



TETÁ REMBIAPO
HA MARANDU
Motenondeha
Ministerio
OBRAS PÚBLICAS
Y COMUNICACIONES

GOBIERNO
NACIONAL

Paraguay
de la gente

Manual de Carreteras del Paraguay



UNIDAD

6

ENSAYOS DE MATERIALES
PARA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

APC
ASOCIACIÓN PARAGUAYA DE CARRETERAS

WORLD ROAD
ASSOCIATION
MONDIALE
DE LA ROUTE
COMITÉ
NACIONAL
PARAGUAYO

Revisión 2019



TETÁ REMBIAPO
HA MARANDU
Motenondeha

Ministerio
OBRAS PÚBLICAS
Y COMUNICACIONES

**GOBIERNO
NACIONAL**

*Paraguay
de la gente*

Manual de Carreteras del Paraguay



UNIDAD

6

**ENSAYOS DE MATERIALES
PARA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS**

Volumen 6.1 - Ensayos de Suelos

APC
ASOCIACIÓN PARAGUAYA DE CARRETERAS

WORLD ROAD
ASSOCIATION
MUNDIAL E
DE LA ROUTE
COMITÉ
NACIONAL
PARAGUAYO

Revisión 2019

INDICE

GLOSARIO	22
CAPITULO 6.1.1. MÉTODOS PRELIMINARES DE DESCRIPCIÓN E INVESTIGACIÓN DE SUELOS.....	32
SECCION 6.1.1.1. DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE SUELOS (PROCEDIMIENTO VISUAL Y MANUAL) (ASTM D2488)	33
6.1.1.1.1. DIFERENCIAS IMPORTANTES ENTRE GRAVAS, ARENAS, LIMOS Y ARCILLAS.....	33
6.1.1.1.2. IDENTIFICACIÓN DE SUELOS FINOS EN EL CAMPO.....	33
6.1.1.1.3. DILATANCIA (REACCIÓN AL AGITADO)	33
SECCION 6.1.1.2. RECOMENDACIONES GENERALES PARA SUELOS Y SUS APLICACIONES COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	36
6.1.1.2.1. OBJETIVO	36
6.1.1.2.2. REQUERIMIENTOS GENERALES	36
6.1.1.2.3. MATERIALES PARA SUBBASE	36
6.1.1.2.4. MATERIALES PARA BASE GRANULAR	37
6.1.1.2.5. MATERIALES PARA CARPETA DE RODADURA	37
6.1.1.2.6. BASE GRANULAR TRATADA CON CEMENTO (GTC)	37
6.1.1.2.7. BASE TRATADA CON CEMENTO (BTC)	37
6.1.1.2.8. BASE ABIERTA LIGADA (BAL)	38
6.1.1.2.9. CONTENIDO DE HUMEDAD	38
SECCION 6.1.1.3. INVESTIGACIÓN DE SUELOS Y ROCAS PARA PROPÓSITOS DE INGENIERÍA (ASTM D420 AASHTO T86).....	39
6.1.1.3.1. INTRODUCCIÓN.....	39
6.1.1.3.2. SIGNIFICADO	39
6.1.1.3.3. EQUIPOS Y MATERIALES	40
6.1.1.3.4. RECONOCIMIENTO DEL AREA DEL PROYECTO	40
6.1.1.3.5. DETERMINACIÓN DEL PERFIL DE SUELOS	41
6.1.1.3.6. PERFIL SUBSUPERFICIAL	43
6.1.1.3.7. PROCEDIMIENTO.....	43
6.1.1.3.8. INFORME	45
CAPITULO 6.1.2. NORMAS Y PROCEDIMIENTOS EN LA PREPARACIÓN, TOMA Y TRANSPORTE DE MUESTRAS	46
SECCION 6.1.2.1. CONSERVACIÓN Y TRANSPORTE DE MUESTRAS DE SUELOS (ASTM D4220)	47
6.1.2.1.1. OBJETIVO	47
6.1.2.1.2. USO Y SIGNIFICADO	47
6.1.2.1.3. EQUIPOS Y MATERIALES	47
6.1.2.1.4. PRECAUCIONES	48
6.1.2.1.5. PROCEDIMIENTO	48
6.1.2.1.6. INFORME	51
6.1.2.1.7. PRECISIÓN	51
SECCION 6.1.2.2. PROCEDIMIENTOS PARA LA PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE SUELOS POR CUARTEO (AASHTO T248).....	52
6.1.2.2.1. OBJETO.....	52
6.1.2.2.2. EQUIPOS.....	52
6.1.2.2.3. SELECCIÓN DEL MÉTODO	53
6.1.2.2.4. PROCEDIMIENTO	53

SECCION 6.1.2.3. OBTENCIÓN DE MUESTRAS PARA PROBETAS DE ENSAYO MEDIANTE TURBOS DE PARED DELGADA (ASTM D1587 AASHTO T207).....	57
6.1.2.3.1. OBJETO	57
6.1.2.3.2. EQUIPOS.....	57
6.1.2.3.3. PROCEDIMIENTO	58
6.1.2.3.4. PREPARACIÓN PARA EMBARQUE	58
6.1.2.3.5. INFORME	59
SECCION 6.1.2.4. PREPARACIÓN EN SECO DE MUESTRAS DE SUELO PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y TERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES FÍSICAS (ASTM D421; ASTM D2217; AASHTO T87).....	61
6.1.2.4.1. OBJETO	61
6.1.2.4.2. EQUIPOS Y MATERIALES	61
6.1.2.4.3. SELECCIÓN DE MUESTRAS	61
6.1.2.4.4. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA LOS ENSAYOS	62
6.1.2.4.5. MUESTRAS PARA EL ENSAYO DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	62
6.1.2.4.6. MUESTRAS PARA ENSAYOS DE LAS CONSTANTES DE SUELOS	62
SECCION 6.1.2.5. PREPARACIÓN DE MUESTRAS HÚMEDAS DE SUELO PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y DETERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES FÍSICAS (ASTM D2217) 63	
6.1.2.5.1. OBJETO	63
6.1.2.5.2. USO Y SIGNIFICADO	63
6.1.2.5.3. EQUIPOS.....	63
6.1.2.5.4. METODO A	64
6.1.2.5.5. METODO B	66
SECCION 6.1.2.6. PERFORACIÓN CON BROCAS DE DIAMANTE PARA INVESTIGACIONES EN EL SITIO (ASTM D2113)	68
6.1.2.6.1. OBJETO	68
6.1.2.6.2. USO Y SIGNIFICADO	68
6.1.2.6.3. EQUIPOS Y MATERIALES	68
6.1.2.6.4. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE RECIPIENTES CON MUESTRAS	71
6.1.2.6.5. PROCEDIMIENTO	72
6.1.2.6.6. PRECISIÓN	74
SECCION 6.1.2.7. MUESTREO DE SUELOS MEDIANTE TUBO CON CAMISA INTERIOR DE ANILLOS (ASTM D3550).....	76
6.1.2.7.1. OBJETO	76
6.1.2.7.2. USO Y SIGNIFICADO	76
6.1.2.7.3. EQUIPOS.....	76
6.1.2.7.4. PROCEDIMIENTO	78
6.1.2.7.5. PRECISIÓN	79
6.1.2.7.6. INFORME	79
SECCION 6.1.2.8. INVESTIGACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS MEDIANTE BARRENAS CON VÁSTAGO HUECO (AASHTO T251)	82
6.1.2.8.1. OBJETO	82
6.1.2.8.2. DEFINICIÓN	82
6.1.2.8.3. EQUIPOS.....	82
6.1.2.8.4. PROCEDIMIENTO	83
SECCION 6.1.2.9. MÉTODO DE PENETRACIÓN NORMAL Y MUESTREO CON TUBO PARTIDO DE LOS SUELOS (ASTM D1586 AASHTO T206)	85
6.1.2.9.1. OBJETO	85
6.1.2.9.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS APLICABLES	85
6.1.2.9.3. USO Y SIGNIFICADO	86
6.1.2.9.4. EQUIPOS Y MATERIALES	86
6.1.2.9.5. INSTALACIÓN DEL EQUIPO DE PERFORACIÓN	88
6.1.2.9.6. PROCEDIMIENTO DE PERFORACIÓN	89
6.1.2.9.7. MUESTREO Y PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO	90

6.1.2.9.8. INFORME	93
6.1.2.9.9. PRECISIÓN	94
SECCION 6.1.2.10. TOMA DE MUESTRAS SUPERFICIALES DE SUELO INALTERADO NLT 203)	96
6.1.2.10.1. OBJETO	96
6.1.2.10.2. EQUIPOS Y MATERIALES	96
6.1.2.10.3. PROC EDIMIENTO	96

CAPITULO 6.1.3.. ENSAYOS RELACIONADOS A LA CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE SUELOS..... 99

SECCION 6.1.3.1. DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE SUELO, ROCA Y MEZCLAS DE SUELO AGREGADO (ASTM D2216)	100
6.1.3.1.1. OBJETO	100
6.1.3.1.2. USO Y SIGNIFICADO	100
6.1.3.1.3. EQUIPOS Y MATERIALES	101
6.1.3.1.4. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	101
6.1.3.1.5. PROCEDIMIENTO	102
6.1.3.1.6. CÁLCULOS	104
6.1.3.1.7. INFORME	105
6.1.3.1.8. OBSERVACIONES	105
6.1.3.1.9. ENSAYO DE HUMEDAD	106
SECCION 6.1.3.2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422 AASHTO T88).....	107
6.1.3.2.1. OBJETO	107
6.1.3.2.2. EQUIPOS Y MATERIALES	107
6.1.3.2.3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	108
6.1.3.2.4. PROCEDIMIENTO	109
6.1.3.2.5. CÁLCULOS	110
SECCION 6.1.3.3. ANÁLISIS GRANUMOMÉTRICO POR MEDIO DEL HIDRÓMETRO (ASTMD422)	114
6.1.3.3.1. OBJETO	114
6.1.3.3.2. EQUIPOS Y MATERIALES	114
6.1.3.3.3. CALIBRACIÓN DEL HIDRÓMETRO	116
6.1.3.3.4. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	118
6.1.3.3.5. PROCEDIMIENTO	118
6.1.3.3.6. CORRECCIÓN DE LAS LECTURAS DEL HIDRÓMETRO	121
6.1.3.3.7. CÁLCULOS	122
6.1.3.3.8. OBSERVACIONES	124
SECCION 6.1.3.4. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS (ASTM D4318 AASHTO T89).....	127
6.1.3.4.1. OBJETO	127
6.1.3.4.2. DEFINICIÓN	127
6.1.3.4.3. EQUIPOS Y MATERIALES	127
6.1.3.4.4. AJUSTE Y CONTROL DEL APARATO DE LÍMITE LÍQUIDO	128
6.1.3.4.5. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO.....	129
6.1.3.4.6. ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA	129
6.1.3.4.7. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	130
6.1.3.4.8. CÁLCULOS	131
6.1.3.4.9. INFORME	132
SECCION 6.1.3.5. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO E INDICE DE PLASTICIDAD (ASTM D4318 AASHTO T90).....	135
6.1.3.5.1. OBJETO	135
6.1.3.5.2. DEFINICIÓN	135
6.1.3.5.3. EQUIPOS Y MATERIALES	135
6.1.3.5.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	136

6.1.3.5.5. PROCEDIMIENTO	137
6.1.3.5.6. CÁLCULOS	138
6.1.3.5.7. PRECISIÓN	139
6.1.3.5.8. REGISTRO DE RESULTADOS	140
6.1.3.5.9. INFORME	140
SECCION 6.1.3.6. DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE CONTRACCIÓN DE LOS SUELOS (ASTM D427; AASHTO T92)	142
6.1.3.6.1. OBJETO	142
6.1.3.6.2. EQUIPOS Y MATERIALES	142
6.1.3.6.3. PRECAUCIONES DE SEGURIDAD	143
6.1.3.6.4. CALIBRACIÓN DEL MOLDE	143
6.1.3.6.5. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	143
6.1.3.6.6. PROCEDIMIENTO	144
6.1.3.6.7. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA MUESTRA.....	146
6.1.3.6.8. CÁLCULOS	147
6.1.3.6.9. INFORME	148
6.1.3.6.10. OBJETO	149
6.1.3.6.11. EQUIPOS Y MATERIALES	149
6.1.3.6.12. CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO	150
6.1.3.6.13. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	151
6.1.3.6.14. PROCEDIMIENTO	152
6.1.3.6.15. CÁLCULOS	153
SECCION 6.1.3.7. MÉTODO PARA DETERMINAR EL EQUIVALENTE DE ARENA (ASTM D2419)	157
6.1.3.7.1. OBJETO	157
6.1.3.7.2. DEFINICIONES	157
6.1.3.7.3. EQUIPOS Y MATERIALES	157
6.1.3.7.4. CONDICIONES GENERALES	159
6.1.3.7.5. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	159
6.1.3.7.6. PROCEDIMIENTO	160
6.1.3.7.7. CÁLCULOS	162
6.1.3.7.8. PRECISIÓN	163
6.1.3.7.9. INFORME	166
SECCION 6.1.3.8. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ORGÁNICO EN SUELOS MEDIANTE PÉRDIDA POR IGNICIÓN (AASHTO T267)	167
6.1.3.8.1. OBJETO	167
6.1.3.8.2. EQUIPOS Y MATERIALES	167
6.1.3.8.3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	168
6.1.3.8.4. PROCEDIMIENTO	168
6.1.3.8.5. CÁLCULOS	170
SECCION 6.1.3.9. PERMEABILIDAD DE SUELOS GRANULARES (CARGA CONSTANTE) (ASTM D2434 AASHTO T215)	171
6.1.3.9.1. OBJETO	171
6.1.3.9.2. EQUIPOS Y MATERIALES	171
6.1.3.9.3. CONDICIONES GENERALES	172
6.1.3.9.4. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	172
6.1.3.9.5. PREPARACIÓN DEL ESPÉCIMEN PARA ENSAYO DE PERMEABILIDAD	174
6.1.3.9.6. PROCEDIMIENTO	175
6.1.3.9.7. CÁLCULOS	176
SECCION 6.1.3.10. DETERMINACIÓN DEL PH DE LOS SUELOS (ASTM G51)	178
6.1.3.10.1. OBJETO	178
6.1.3.10.2. EQUIPOS Y MATERIALES	179
6.1.3.10.3. ENSAYO DEL EQUIPO	179
6.1.3.10.4. CALIBRACIÓN DEL PH-METRO	180
6.1.3.10.5. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	180
6.1.3.10.6. PROCEDIMIENTO	181

6.1.3.10.7. MÉTODO COLORIMÉTRICO USANDO EL JUEGO DE INDICADOR DE CAMPO LA MOTE KENNY	181
6.1.3.10.8. PROCEDIMIENTO COLORIMÉTRICO USANDO EL JUEGO SOILTEST (USADO EN EL ESTADO DE MICHIGAN)	182

SECCION 6.1.3.11. EVALUACIÓN Y DETERMINACIÓN DE SUELOS EXPANSIVOS (ASTM D4546 AASHTO T258)	184
6.1.3.11.1. OBJETO	184
6.1.3.11.2. DETERMINACIÓN DE LA MAGNITUD DE LA EXPANSIÓN	184
6.1.3.11.3. ENSAYO DE EXPANSIÓN CON SOBRECARGA. PROCEDIMIENTO DE PREDICCIÓN	185
6.1.3.11.4. CÁLCULOS	186
6.1.3.11.5. PREDICCIÓN DEL POTENCIAL VERTICAL DE LEVANTAMIENTO (PVL)	186

CAPITULO 6.1.4. ENSAYOS RELACIONADOS A LA COMPACTACIÓN Y RESISTENCIA DE LOS SUELOS..... 193

SECCION 6.1.4.1. ENSAYO DE COMPACTACIÓN CONSIDERANDO FAMILIAS DE CURVAS MÉTODO DE UN PUNTO (AASHTO T272)	194
6.1.4.1.1. OBJETO	194
6.1.4.1.2. DEFINICIONES	194
6.1.4.1.3. EQUIPOS Y MATERIALES	195
6.1.4.1.4. METODO A	195
6.1.4.1.5. METODO B	196
6.1.4.1.6. METODO C	196
6.1.4.1.7. METODO D	197
6.1.4.1.8. CÁLCULOS	198

SECCION 6.1.4.2. RELACIONES PESO UNITARIO-HUMEDAD EN SUELOS – MÉTODO ESTÁNDAR (ASTM D698 AASHTO T99)	199
6.1.4.2.1. OBJETO	199
6.1.4.2.2. EQUIPOS Y MATERIALES	199
6.1.4.2.3. CALIBRACIÓN DEL MOLDE	200
6.1.4.2.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	201
6.1.4.2.5. PROCEDIMIENTO	202
6.1.4.2.6. CÁLCULOS	203
6.1.4.2.7. INFORME	203

SECCION 6.1.4.3. RELACIONES PESO UNITARIO-HUMEDAD EN LOS SUELOS – MÉTODO MODIFICADO (ASTM D422 AASHTO T180)	207
6.1.4.3.1. OBJETO	207
6.1.4.3.2. EQUIPOS Y MATERIALES	207
6.1.4.3.3. CALIBRACIÓN DEL MOLDE	208
6.1.4.3.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	209
6.1.4.3.5. PROCEDIMIENTO	210
6.1.4.3.6. CÁLCULOS	211
6.1.4.3.7. INFORME	211

SECCION 6.1.4.4. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO) (ASTM D1883 AASHTO T193)	215
6.1.4.4.1. OBJETO	215
6.1.4.4.2. EQUIPOS Y MATERIALES	215
6.1.4.4.3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	217
6.1.4.4.4. PROCEDIMIENTO	217
6.1.4.4.5. CÁLCULOS	221
6.1.4.4.6. INFORME	222

SECCION 6.1.4.5. DETERMINACIÓN DEL VALOR DE RESISTENCIA R Y DE LA PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE SUELOS COMPACTADOS (ASTM D2844 AASHTO T190)	227
6.1.4.5.1. OBJETO	227
6.1.4.5.2. EQUIPOS Y MATERIALES	227

6.1.4.5.3. CALIBRACIÓN DEL APARATO DE PRESION-EXPANSION	228
6.1.4.5.4. PREPARACIÓN DEL SUELO	229
6.1.4.5.5. PREPARACIÓN DE LOS ESPECÍMENES DEL SUELO	229
6.1.4.5.6. ENSAYO DE PRESIÓN-EXPANSIÓN	230
6.1.4.5.7. AJUSTE DEL ESTABILÓMETRO.....	231
6.1.4.5.8. VALOR DE RESISTENCIA DE LOS ESPECÍMENES DE ENSAYO	231
SECCION 6.1.4.6. MEDICIONES DE LA PRESIÓN DE POROS (AASHTO T252)	239
6.1.4.6.1. OBJETO	239
6.1.4.6.2. USO Y SIGNIFICADO	239
6.1.4.6.3. EQUIPOS Y MATERIALES	239
6.1.4.6.4. PROCEDIMIENTOS DE INSTALACIÓN	241
6.1.4.6.5. INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS	246
6.1.4.6.6. PROBLEMAS ESPECIALES	246
SECCION 6.1.4.7. CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS (ASTM D2435 AAS- HTO T216)	250
6.1.4.7.1. OBJETO	250
6.1.4.7.2. DEFINICIONES	250
6.1.4.7.3. USO Y SIGNIFICADO	250
6.1.4.7.4. EQUIPOS Y MATERIALES	250
6.1.4.7.5. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	252
6.1.4.7.6. CALIBRACIÓN	253
6.1.4.7.7. DETERMINACIONES PREVIAS AL ENSAYO	253
6.1.4.7.8. PROCEDIMIENTO	254
6.1.4.7.9. CÁLCULOS	256
6.1.4.7.10. INFORME	259
6.1.4.7.11. PRECISIÓN	259
SECCION 6.1.4.8. COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS (ASTM D2166 AASHTO T208).....	262
6.1.4.8.1. OBJETO	262
6.1.4.8.2. EQUIPOS Y MATERIALES	262
6.1.4.8.3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	263
6.1.4.8.4. PROCEDIMIENTO	265
6.1.4.8.5. CÁLCULOS	267
6.1.4.8.6. INFORME	269
6.1.4.8.7. PRECISIÓN	269
SECCION 6.1.4.9. PARÁMETROS DE RESISTENCIA DEL SUELO MEDIANTE COMPRESIÓN TRIAxIAL (ASTM D2850 AASHTO T234).....	271
6.1.4.9.1. OBJETO	271
6.1.4.9.2. EQUIPOS Y MATERIALES	271
6.1.4.9.3. PREPARACIÓN DE PROBETAS	272
6.1.4.9.4. MÉTODO CONSOLIDADO - NO DRENADO (CU)	274
6.1.4.9.5. MÉTODO DEL ESFUERZO TOTAL NO CONSOLIDADO - NO DRENADO (UU)	277
6.1.4.9.6. CÁLCULOS.....	278
6.1.4.9.7. MÉTODO DEL ESFUERZO EFECTIVO NO CONSOLIDADO-NO DRENADO (UU)	279
6.1.4.9.8. MÉTODO DE ENSAYO DRENADO (D)	279
6.1.4.9.9. CÁLCULOS.....	280
6.1.4.9.10. INFORME	281
SECCION 6.1.4.10. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE MÉTODO DE CORTE DIRECTO (CD) (CONSOLIDADO DRENADO) (ASTM D3080 AASHTO T236)	283
6.1.4.10.1. OBJETO	283
6.1.4.10.2. PRINCIPIO DEL MÉTODO	283
6.1.4.10.3. EQUIPOS Y MATERIALES	284
6.1.4.10.4. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS	286
6.1.4.10.5. CALIBRACIÓN	286
6.1.4.10.6. PROCEDIMIENTO	287
6.1.4.10.7. CÁLCULOS.....	290

6.1.4.10.8. INFORME	290
SECCION 6.1.4.11. RESISTENCIA NO DRENADA EN ESPECÍMENES DE ROCAS MEDIANTE COMPRESIÓN TRIAXIAL SIN MEDIR PRESIONES DE POROS (ASTM 2664 AASHTO T 226)	
294	
6.1.4.11.1. OBJETO	294
6.1.4.11.2. EQUIPOS Y MATERIALES	294
6.1.4.11.3. PREPARACIÓN DE LA PROBETA	295
6.1.4.11.4. PROCEDIMIENTO	296
6.1.4.11.5. CÁLCULOS	297
6.1.4.11.6. INFORME	298
SECCION 6.1.4.12. MÓDULO RESILIENTE DE SUELOS DE SUB-RASANTE (AASHTO T274)	
299	
6.1.4.12.1. OBJETO	299
6.1.4.12.2. USO Y SIGNIFICADO	299
6.1.4.12.3. EQUIPOS Y MATERIALES	300
6.1.4.12.4. PREPARACIÓN DE ESPÉCIMENES DE ENSAYO.	302
6.1.4.12.5. PROCEDIMIENTO	312
6.1.4.12.6. CALCULOS	315
6.1.4.12.7. INFORME	315
SECCION 6.1.4.13. DETERMINACIÓN DE LA SUCCIÓN DE UN SUELO CON EL MÉTODO DEL PAPEL DE FILTRO (AASHTO T273)	
323	
6.1.4.13.1. OBJETO	323
6.1.4.13.2. USO Y SIGNIFICADO	323
6.1.4.13.3. DEFINICIONES	323
6.1.4.13.4. EQUIPOS Y MATERIALES	325
6.1.4.13.5. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	325
6.1.4.13.6. PROCEDIMIENTO	325
6.1.4.13.7. CÁLCULOS	326
CAPITULO 6.1.5. ENSAYOS DE VERIFICACIÓN Y MONITOREO "IN SITU" (ENSAYOS DE CAMPO)	
328	
SECCION 6.1.5.1. VERIFICACIÓN DEL PESO UNITARIO DEL SUELO, MÉTODO DEL CONO DE ARENA (ASTM D1556 AASHTO T191)	
329	
6.1.5.1.1. OBJETO	329
6.1.5.1.2. EQUIPOS Y MATERIALES	329
6.1.5.1.3. MANUALES TÉCNICOS	333
6.1.5.1.4. CÁLCULOS	334
SECCION 6.1.5.2. VERIFICACIÓN DEL PESO UNITARIO DEL SUELO EN EL TERRENO, MÉTODO DEL CILINDRO PENETRANTE (AASHTO T204)	
338	
6.1.5.2.1. OBJETO	338
6.1.5.2.2. EQUIPOS Y MATERIALES	338
6.1.5.2.3. PROCEDIMIENTO	340
6.1.5.2.4. CÁLCULOS	341
SECCION 6.1.5.3. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD EN SUELOS MEDIANTE UN PROBADOR CON CARBURO DE CALCIO (SPEEDY) (AASHTO T217)	
352	
6.1.5.3.1. OBJETO	352
6.1.5.3.2. EQUIPOS Y MATERIALES	352
6.1.5.3.3. PROCEDIMIENTO	352
6.1.5.3.4. CÁLCULOS	353
SECCION 6.1.5.4. ENSAYO DE PLACA DE CARGA ESTÁTICA NO REPETIDA, PARA EMPLEAR EN LA EVALUACIÓN Y DISEÑO DE PAVIMENTOS (AASHTO T222)	
356	
6.1.5.4.1. OBJETO	356
6.1.5.4.2. DEFINICIONES	356
6.1.5.4.3. EQUIPOS Y MATERIALES	356

6.1.5.4.4. PROCEDIMIENTO	357
6.1.5.4.5. INFORME	359
6.1.5.4.6. GRÁFICO Y CÁLCULO DE LA RELACIÓN CARGA – DEFORMACIÓN	360
SECCION 6.1.5.5. ENSAYO DE PLACA DE CARGA REPETIDA, PARA EMPLEAR EN LA EVALUACIÓN Y DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (AASHTO T221)	365
6.1.5.5.1. OBJETO	365
6.1.5.5.2. DEFINICIONES	365
6.1.5.5.3. EQUIPOS Y MATERIALES	365
6.1.5.5.4. PROCEDIMIENTO	366
6.1.5.5.5. CÁLCULO Y TRAZADO DE LA CURVA CARGA – DEFLEXIÓN	367
6.1.5.5.6. INFORME	368
SECCION 6.1.5.6. PESO UNITARIO DEL SUELO EN EL TERRENO. MÉTODO DEL BALÓN DE CAUCHO (ASTM D2167 AASHTO T205)	369
6.1.5.6.1. OBJETO	369
6.1.5.6.2. EQUIPOS Y MATERIALES	369
6.1.5.6.3. COMPROBACIÓN DE LA CALIBRACIÓN DEL INDICADOR DEL VOLUMEN ...	370
6.1.5.6.4. PROCEDIMIENTO	371
6.1.5.6.5. CÁLCULOS	372
6.1.5.6.6. INFORME	373
SECCION 6.1.5.7. PESO UNITARIO DEL SUELO Y DEL SUELO-AGREGADO EN EL TERRENO MEDIANTE MÉTODOS NUCLEARES (ASTM 2922 AASHTO T238)	374
6.1.5.7.1. OBJETO	374
6.1.5.7.2. EQUIPOS Y MATERIALES	375
6.1.5.7.3. MÉTODOS DE ENSAYO	376
6.1.5.7.4. CONDICIONES GENERALES	377
6.1.5.7.5. PRECISIÓN	378
6.1.5.7.6. MÉTODO A - RETRODISPERSOR	379
6.1.5.7.7. MÉTODO B – TRANSMISIÓN DIRECTA	380
6.1.5.7.8. MÉTODO C – COLCHÓN DE AIRE	381
6.1.5.7.9. CÁLCULOS	382
6.1.5.7.10. INFORME	383
SECCION 6.1.5.8. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD EQUIVALENTE DE SUELOS EN EL TERRENO (AASHTO T93)	384
6.1.5.8.1. OBJETO	384
6.1.5.8.2. DEFINICIONES	384
6.1.5.8.3. EQUIPOS Y MATERIALES	384
6.1.5.8.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	385
6.1.5.8.5. PROCEDIMIENTO	385
6.1.5.8.6. CÁLCULOS	386
SECCION 6.1.5.9. TASA DE INFILTRACIÓN DE AGUA EN EL TERRENO EMPLEANDO INFILTRÓMETROS DE ANILLO DOBLE (ASTM D3385)	387
6.1.5.9.1. OBJETO	387
6.1.5.9.2. EQUIPOS Y MATERIALES	387
6.1.5.9.3. PREPARACIÓN DEL SITIO DE ENSAYO	388
6.1.5.9.4. PROCEDIMIENTO	388
6.1.5.9.5. CÁLCULOS	390
6.1.5.9.6. INFORME	390
SECCION 6.1.5.10. RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO EN EL TERRENO (CBR "IN SITU") (ASTM D4429)	392
6.1.5.10.1. OBJETO	392
6.1.5.10.2. EQUIPOS Y MATERIALES	392
6.1.5.10.3. PROCEDIMIENTO	394
6.1.5.10.4. CÁLCULOS	396
6.1.5.10.5. INFORME	397

SECCION 6.1.5.11. ENSAYO DE CORTE SOBRE SUELOS COHESIVOS EN EL TERRENO, USANDO LA VELETA (AASHTO T223)	399
6.1.5.11.1. OBJETO	399
6.1.5.11.2. EQUIPOS Y MATERIALES	399
6.1.5.11.3. PROCEDIMIENTO	400
6.1.5.11.4. CÁLCULOS	400
6.1.5.11.5. INFORME	401

SECCION 6.1.5.12. INSTALACIÓN, MONITOREO Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE INCLINÓMETRO DE RECORRIDO PARA TALUDES AASHTO T254)	403
6.1.5.12.1. OBJETO	403
6.1.5.12.2. PARTE I. MÉTODO DE INSTALACIÓN DEL REVESTIMIENTO GUÍA PARA EL INCLINÓMETRO DE TALUDES	403
6.1.5.12.3. PARTE II . MÉTODO DE CONTROLAR EL REVESTIMIENTO GUÍA DE INCLINÓMETRO PARA TALUDES	408
6.1.5.12.4. PARTE III. MÉTODO DE ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS	411

CAPITULO 6.1.6. TATAMIENTO DE SUELOS DISPERSIVOS..... 412

SECCION 6.1.6.1. TRATAMIENTO DE SUELOS DISPERSIVOS	413
6.1.6.1.1. DESCRIPCIÓN.....	413
6.1.6.1.2. DAÑOS EN LOS TERRAPLENES	413
6.1.6.1.3. NATURALEZA DE LOS SUELOS DISPERSIVOS	414
6.1.6.1.4. IDENTIFICACIÓN DE LOS SUELOS DISPERSIVOS	414
6.1.6.1.5. CARACTERÍSTICAS Y MECANISMO DE DAÑOS EN TERRAPLENES DE OBRAS VIALES Y DE TIERRA.	417
6.1.6.1.6. TRATAMIENTO DE TERRAPLENES CONSTRUIDOS CON SUELOS DISPERSIVOS.....	417
6.1.6.1.7. MEDIDAS DE MITIGACIÓN RECOMENDADAS EN OBRAS VIALES.....	418
6.1.6.1.8. RECOMENDACIONES GENERALES	421

SECCION 6.1.6.2. ESTIMACIÓN DE LA PROPORCIÓN DE CAL NECESARIA PARA ESTABILIZAR UN SUELO A PARTIR DE LA MEDIDA DEL PH (ASTM1 D4647)	422
6.1.6.2.1. OBJETO.....	422
6.1.6.2.2. DEFINICIONES.....	422
6.1.6.2.3. EQUIPOS Y MATERIALES.....	423
6.1.6.2.4. RESUMEN DEL MÉTODO	424
6.1.6.2.5. IMPORTANCIA Y USO.....	424
6.1.6.2.6. INFORME DEL ENSAYO	425

SECCION 6.1.6.3. IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE ARCILLAS DISPERSIVAS A PARTIR DEL ENSAYO PINHOLE (ASTM1 D4647 NBR2 14114).....	426
6.1.6.3.1. OBJETO	426
6.1.6.3.2. EQUIPOS Y MATERIALES.....	426
6.1.6.3.3. PREPARACIÓN DEL ESPÉCIMEN	427
6.1.6.3.4. INFORME DEL ENSAYO	429

SECCION 6.1.6.4. EVALUACIÓN DEL GRADO DE DISPERSIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A PARTIR DEL ENSAYO CRUMB (ASTM1 D6572)	431
6.1.6.4.1. OBJETO	431
6.1.6.4.2. EQUIPOS Y MATERIALES.....	432
6.1.6.4.3. PREPARACIÓN DEL ESPÉCIMEN	432
6.1.6.4.4. INFORME DEL ENSAYO	433

SECCION 6.1.6.5. EVALUACIÓN DEL GRADO DE DISPERSIÓN DE ARCILLAS DISPERSIVAS A PARTIR DE ENSAYOS QUÍMICOS (ICOLD BULLETIN 77 NBR2 13603)	435
6.1.6.5.1. OBJETO.....	435
6.1.6.5.2. PREPARACIÓN DEL ESPÉCIMEN	435
6.1.6.5.3. INFORME DEL ENSAYO	436

CAPITULO 6.1.7. MODIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON MEZCLAS DE SUELO – CAL, CON ÉNFASIS EN LA REGIÓN OCCIDENTAL O CHACO..... 437

SECCION 6.1.7.1.RESISTENCIA DE MEZCLAS DE SUELO CAL (AASHTO T220)	438
6.1.7.1.1. OBJETO	438
6.1.7.1.2. EQUIPOS Y MATERIALES	438
6.1.7.1.3. PREPARACIÓN DEL SUELO	439
6.1.7.1.4. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE CAL	440
6.1.7.1.5. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO MÁXIMO Y DE LA HUMEDAD ÓPTIMA.....	440
6.1.7.1.6. COMPACTACIÓN DEL ESPÉCIMEN DE ENSAYO	442
6.1.7.1.7. CURADO PARA LOS ESPECÍMENES DE ENSAYO	442
6.1.7.1.8. SOMETIMIENTO DE LOS ESPECÍMENES DE ENSAYO A CAPILARIDAD	442
6.1.7.1.9. PREPARACIÓN DE LOS ESPECÍMENES PARA ENSAYO	443
6.1.7.1.10. ENSAYO DE ESPECÍMENES	443
6.1.7.1.11. CÁLCULOS	445
6.1.7.1.12. INFORME	446

SECCION 6.1.7.2.DETERMINACIÓN POR TITULACIÓN DEL CONTENIDO DE CAL EN SUELOS TRATADOS CON CAL (AASHTO T232).....	447
6.1.7.2.1. OBJETO	447
6.1.7.2.2. EQUIPOS Y MATERIALES	447
6.1.7.2.3. MATERIALES PARA LOS ESPECÍMENES DE CALIBRACIÓN	448
6.1.7.2.4. CURVA DE CALIBRACIÓN	449
6.1.7.2.5. CURVA DE CORRECCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO	451
6.1.7.2.6. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO PARA LAS MUESTRAS DE CAMPO	451
6.1.7.2.7. CÁLCULOS	452
6.1.7.2.8. PRECAUCIONES	452

SECCION 6.1.7.3.CONTENIDO DE CAL EN MEZCLAS SUELO-CAL NO CURADAS (ASTM D3155)	454
6.1.7.3.1. OBJETO	454
6.1.7.3.2. SIGNIFICADO Y USO	454
6.1.7.3.3. EQUIPOS.....	454
6.1.7.3.4. ENSAYO DE MUESTRAS.....	456
6.1.7.3.5. TITULACIÓN	457
6.1.7.3.6. CÁLCULOS	457
6.1.7.3.7. PRECISIÓN	458

SECCION 6.1.7.4. EXPANSIÓN UNIDIMENSIONAL, CONTRACCIÓN Y PRESIÓN DE LEVANTAMIENTO EN MEZCLAS DE SUELO- CAL (ASTM D3877).....	459
6.1.7.4.1. OBJETO	459
6.1.7.4.2. USO Y SIGNIFICADO	459
6.1.7.4.3. EQUIPOS.....	459
6.1.7.4.4. MUESTREO	460
6.1.7.4.5. PROCEDIMIENTO	461
6.1.7.4.6. ENSAYO DE EXPANSIÓN	462
6.1.7.4.7. ENSAYO DE PERMEABILIDAD	463
6.1.7.4.8. ENSAYOS DE CONTRACCIÓN	463
6.1.7.4.9. CÁLCULOS	464
6.1.7.4.10. GRÁFICAS DE LOS DATOS DE ENSAYO	465
6.1.7.4.11. INFORME	466

SECCION 6.1.7.5.PREPARACIÓN EN EL LABORATORIO DE MEZCLAS DE SUELO-CAL EMPLEANDO UNA MEZCLADORA MECÁNICA (ASTM D3155G).....	468
6.1.7.5.1. OBJETO	468
6.1.7.5.2. USO Y SIGNIFICADO	468
6.1.7.5.3. EQUIPOS Y MATERIALES	468
6.1.7.5.4. PREPARACIÓN DE LA MEZCLA	468

CAPITULO 6.1.8. MODIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON MEZCLAS DE SUELO – CEMENTO, CON ÉNFASIS EN LA REGIÓN OCCIDENTAL O CHACO 470

SECCION 6.1.8.1. MÉTODO PARA DOSIFICAR BASES Y GRAVAS TRATADAS CON CEMENTO.....	471
6.1.8.1.1. OBJETO	471
6.1.8.1.2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	471
6.1.8.1.3. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD OPTIMA Y LA DENSIDAD MÁXIMA ...	472
6.1.8.1.4. PREPARACIÓN DE PROBETAS PARA DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	472
6.1.8.1.5. CURADO DE LAS PROBETAS	473
6.1.8.1.6. ENSAYO DE COMPRESIÓN	473
6.1.8.1.7. FÓRMULA DE TRABAJO	473
SECCION 6.1.8.2.MÉTODO DE CONTROL DE BASES Y GRAVAS TRATADAS CON CEMENTO	474
6.1.8.2.1. OBJETO	474
6.1.8.2.2. MEZCLAS EN PLANTA	474
6.1.8.2.3. MEZCLAS EN SITIO	475
6.1.8.2.4. CURADO	476
SECCION 6.1.8.3.MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE CEMENTO POR TITULACIÓN EN MEZCLAS ESTABILIZADAS CON CEMENTO	477
6.1.8.3.1. OBJETO	477
6.1.8.3.2. EQUIPOS Y MATERIALES	477
6.1.8.3.3. VALIDEZ DEL MÉTODO	478
6.1.8.3.4. MÉTODO 1, TITULACIÓN ACIDO – BASE.....	478
6.1.8.3.5. MÉTODO 2, MÉTODO DE NEUTRALIZACIÓN	480
6.1.8.3.6. REACTIVOS Y PRECAUCIONES.....	481
6.1.8.3.7. MÉTODO DE MUESTREO EN TERRENO.....	482
SECCION 6.1.8.4.MÉTODO PARA EVALUAR EL USO DE ESTABILIZADORES QUÍMICOS (ASTM D4601)	487
6.1.8.4.1. OBJETO	487
6.1.8.4.2. DEFINICIONES	487
6.1.8.4.3. GENERALIDADES SOBRE ESTABILIZADORES QUÍMICOS	488
6.1.8.4.4. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA	488
6.1.8.4.5. INFORMES DEL PROYECTO	490
SECCION 6.1.8.5.RELACIONES HUMEDAD-PESO UNITARIO DE MEZCLAS DE SUELO CEMENTO (ASTM D558).....	492
6.1.8.5.1. OBJETO	492
6.1.8.5.2. EQUIPOS Y MATERIALES	492
6.1.8.5.3. METODO A. EMPLEANDO MATERIAL QUE PASA TAMIZ DE 4,75 MM (NO.4).....	494
6.1.8.5.4. METODO B. EMPLEANDO MATERIAL QUE PASA TAMIZ DE 19,00 MM. (3/4”)	495
6.1.8.5.5. CÁLCULOS	496
6.1.8.5.6. RELACIONES DE HUMEDAD-PESO UNITARIO	497
6.1.8.5.7. INFORME	497
SECCION 6.1.8.6.HUMEDECIMIENTO Y SECADO DE MEZCLAS DE SUELO CEMENTO COMPACTADAS (ASTM D559 AASHTO T135)	499
6.1.8.6.1. OBJETO	499
6.1.8.6.2. EQUIPOS Y MATERIALES	499
6.1.8.6.3. METODO A, EMPLEANDO MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ DE 4,75 MM (NO.4).....	500
6.1.8.6.4. METODO B. EMPLEANDO MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ DE 19,0 MM (3/4”).....	502
6.1.8.6.5. CÁLCULOS	503
6.1.8.6.6. INFORME	504

SECCION 6.1.8.7. PREPARACIÓN EN EL LABORATORIO DE PROBETAS DE SUELO CEMENTO (ASTM D1632)	505
6.1.8.7.1. OBJETO	505
6.1.8.7.2. EQUIPOS Y MATERIALES	505
6.1.8.7.3. PREPARACIÓN DE LOS MATERIALES	506
6.1.8.7.4. PESAJE	507
6.1.8.7.5. MEZCLA	507
6.1.8.7.6. TAMAÑO DE LA PROBETA PARA ENSAYO DE COMPRESIÓN	507
6.1.8.7.7. MOLDEO	508
6.1.8.7.8. CURADO	508
6.1.8.7.9. REFRENTADO	508
6.1.8.7.10. INFORME	509
SECCION 6.1.8.8. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS PREPARADOS DE SUELO CEMENTO (ASTM D1633).....	510
6.1.8.8.1. OBJETO	510
6.1.8.8.2. USO Y SIGNIFICADO	510
6.1.8.8.3. EQUIPOS	511
6.1.8.8.4. ESPECÍMENES DE ENSAYO	511
6.1.8.8.5. PROCEDIMIENTO	512
6.1.8.8.6. CÁLCULOS	512
6.1.8.8.7. PRECISIÓN Y TOLERANCIA	512
6.1.8.8.8. INFORME	513
SECCION 6.1.8.9. CONTENIDO DE CEMENTO EN MEZCLAS FRESCAS DE SUELO CEMENTO (ASTM D2901)	514
6.1.8.9.1. OBJETO	514
6.1.8.9.2. USO Y SIGNIFICADO	514
6.1.8.9.3. EQUIPOS	514
6.1.8.9.4. REACTIVOS	514
6.1.8.9.5. PREPARACIÓN DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN	515
6.1.8.9.6. MUESTREO	517
6.1.8.9.7. PROCEDIMIENTO PARA LA TITULACIÓN	517
6.1.8.9.8. CÁLCULOS	517
6.1.8.9.9. PRECISIÓN	518
SECCION 6.1.8.10. CONTENIDO DE CEMENTO EN MEZCLAS ENDURECIDAS DE SUELO-CE- MENTO (ASTM D806 AASHTO T144).....	520
6.1.8.10.1. OBJETO	520
6.1.8.10.2. EQUIPOS.....	520
6.1.8.10.3. REACTIVOS	520
6.1.8.10.4. MUESTRAS	520
6.1.8.10.5. PROCEDIMIENTO	521
6.1.8.10.6. CÁLCULOS	523
CAPITULO 6.1.9. OTROS MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS	524
SECCION 6.1.9.1. DOSIFICACIÓN Y ENSAYO DE MEZCLAS DE SUELO-EMULSIÓN (NTL 170).....	525
6.1.9.1.1. OBJETO	525
6.1.9.1.2. EQUIPOS Y MATERIALES	525
6.1.9.1.3. PROCEDIMIENTO	527
6.1.9.1.4. CÁLCULOS	529
BIBLIOGRAFÍA	531
REFERENCIAS.....	533

INDICE DE TABLAS

Tabla 6.1_1. Límites de consistencia o de atterberg.....	36
Tabla 6.1_2. Bandas granulométricas para sub base, bases y capas de rodadura	38
Tabla 6.1_3. Tubos de acero de pared delgada para muestras de tamaños apropiados.....	59
Tabla 6.1_4. Tamaños nominales de brocas	74
Tabla 6.1_5. Tamaños nominales de revestimientos.....	75
Tabla 6.1_6. Tamaños nominales de varillas de perforación	75
Tabla 6.1_7. Dimensiones para la extensión de pared delgada de la zapata ()	79
Tabla 6.1_8. Peso de la muestra humedad.....	102
Tabla 6.1_9. Serie de tamices	107
Tabla 6.1_10. Cantidad mínima de muestra para granulometría según tamaño máximo absoluto del suelo	108
Tabla 6.1_11. Valores de profundidad efectiva basados en hidrómetros y cilindros de sedimentación dados	116
Tabla 6.1_12. Periodo de dispersión mínimo	119
Tabla 6.1_13. Agentes defloculantes.....	122
Tabla 6.1_14. Valores de k a ser usados en el cálculo del diámetro de las partículas ..	123
Tabla 6.1_15. Valores del factor “a”, de corrección para diferentes peso específico de partículas de suelo	124
Tabla 6.1_16. Factor “k” para el cálculo del límite líquido (ll)	132
Tabla 6.1_17. Densidad del agua en función de la temperatura	151
Tabla 6.1_18. Manual del usuario del formato de determinación de peso específico .	156
Tabla 6.1_19. Manual del usuario del formato de determinación de equivalente de arena	165
Tabla 6.1_20. Diámetro del cilindro.....	172
Tabla 6.1_22. Límites de consistencia y potencial de cambio volumétrico (pcv)	184
Tabla 6.1_23. Densidad del agua según temperatura	201
Tabla 6.1_24. Tamaño de la muestra de ensayo.....	201
Tabla 6.1_25. Densidad del agua según temperatura	209
Tabla 6.1_26. Tamaño de la muestra de ensayo.....	210
Tabla 6.1_27. Métodos de compactación de AASHTO T-99	216
Tabla 6.1_28. Métodos de compactación de AASHTO T-180	216
Tabla 6.1_29. Tolerancias para el resorte de barra de acero.....	228
Tabla 6.1_32. Densidad del agua según la temperatura.....	331
Tabla 6.1_33. Masa mínima de muestra para determinar la humedad en suelos de tamaño máximo absoluto menor o igual que 50 mm.	333
Tabla 6.1_34. Clasificación de penetrómetros dinámicos portátiles	338
Tabla 6.1_35. Valores típicos de d para distintos materiales.....	341
Tabla 6.1_36. Manual del usuario del formato de determinación del contenido de humedad método del carburo (speedy).....	355
Tabla 6.1_37. Volumen del agua por gramo con base en la temperatura.	370
Tabla 6.1_38. Volumen mínimo del orificio de ensayo y tamaño mínimo de muestra para humedad en base en el tamaño máximo de la partícula	372
Tabla 6.1_39. Dimensiones de la veleta	399
Tabla 6.1_40. Características del agua tipo ii según especificación ASTM D1193	423
Tabla 6.1_41. Requisitos de la cal según especificación ASTM C977	424
Tabla 6.1_42. Criterio adaptado de la NBR 14114	429
Tabla 6.1_43. Cantidad de material para las especificaciones de alibración según el porcentaje de cal	448
Tabla 6.1_44. Ejemplo granulometría de material	472
Tabla 6.1_45. Cantidades de material necesario para confeccionar muestras con un 5% de cemento.....	482
Tabla 6.1_46. Cantidades de material para confección de muestras sin cemento.....	483
Tabla 6.1_47. Titulación.....	483
Tabla 6.1_48. Determinación de las muestras en terreno.....	483
Tabla 6.1_49. Determinación del contenido de cemento método de titulación	484
Tabla 6.1_50. Determinación de las muestras de terreno.....	484
Tabla 6.1_51. Valores promedio de agua retenida	503

INDICE DE FIGURAS

Figura 6.1_1. Equipos y materiales requeridos para el ensayo	52
Figura 6.1_2. Tubo de pared delgada	60
Figura 6.1_3. Muestreador con camisa interior de anillos	81
Figura 6.1_4. Dispositivo de barrena helicoidal con vástago hueco	84
Figura 6.1_5. Equipos y materiales utilizados.....	88
Figura 6.1_6. Definición del número de vueltas del cable y el ángulo para la rotación del malacate a) en sentido contrario a las agujas del reloj y b) en sentido de las agujas del reloj	94
Figura 6.1_7. Muestreador de tubo partido.....	95
Figura 6.1_8. Equipos requeridos.....	101
Figura 6.1_9. Pesado de la muestra	103
Figura 6.1_10. Secado de la muestra húmeda	104
Figura 6.1_11. Pesado de la muestra secada al horno	104
Figura 6.1_12. Formulario tipo, análisis granulométrico – mecánico.....	112
Figura 6.1_13. Formulario tipo, distribución granulométrica.....	113
Figura 6.1_14. Equipos requerido para el ensayo	115
Figura 6.1_15. Detalle del aparato agitador	125
Figura 6.1_16. Detalle vaso del aparato agitador.....	126
Figura 6.1_17. Detalle del aparato agitador de inyección de aire	126
Figura 6.1_18. Aparato casagrande acondicionado.....	129
Figura 6.1_19. Material pasante por el tamiz N° 40.....	129
Figura 6.1_20. Mezclado de material con agua.....	130
Figura 6.1_21. Muestra pastosa y homogénea	130
Figura 6.1_22. Material colocado uniformemente.....	130
Figura 6.1_23. Ranuración de la muestra.....	130
Figura 6.1_24. Conteo de golpes	131
Figura 6.1_25. Corte y retiro del material	131
Figura 6.1_26. Secado de muestra	131
Figura 6.1_27. Aparato de límite líquido	133
Figura 6.1_28. Sección de la ranura en la pasta de suelo antes y después del ensayo acanaladores	134
Figura 6.1_29. Equipos requeridos para el ensayo de límite plástico y límite líquido ..	136
Figura 6.1_30. Material pasante por el tamiz N° 40.....	136
Figura 6.1_31. Mezclado del material con agua.....	137
Figura 6.1_32. Muestra plástica para moldeo	137
Figura 6.1_33. Amasado de la muestra	137
Figura 6.1_34. Elaboración de hebras del material	138
Figura 6.1_35. Hebra del material resquebrajada	138
Figura 6.1_36. Muestra en estado de límite plástico.....	138
Figura 6.1_37. Tarado de la muestra	138
Figura 6.1_38. Muestra extraída del horno conforme al procedimiento S0301	138
Figura 6.1_39. Formato tipo ficha de ensayo, determinación de límite líquido y límite plástico	141
Figura 6.1_40. Equipo y material requerido para el ensayo.....	143
Figura 6.1_41. Mezclado de la muestra.....	144
Figura 6.1_42. Adición de la muestra de suelo en el envase con vaselina	144
Figura 6.1_43. Golpeo del envase con la muestra.....	145
Figura 6.1_44. Eliminación del exceso de material.....	145
Figura 6.1_45. Enrasado del recipiente	145
Figura 6.1_46. Peso de la muestra	146
Figura 6.1_47. Secado de la muestra a temperatura ambiente	146
Figura 6.1_48. Muestra colocada en el horno.....	146
Figura 6.1_49. Muestra extraída del horno	146
Figura 6.1_50. Peso del suelo seco.....	146
Figura 6.1_51. Llenado del envase con mercurio	147
Figura 6.1_52. Muestra enrasada con mercurio.....	147
Figura 6.1_53. Masa de suelo introducida en la probeta con mercurio	147
Figura 6.1_54. Placa de vidrio y determinación del volumen de suelo seco	149
Figura 6.1_55. Equipos y materiales requeridos	150

Figura 6.1_56. Pesada del envase.....	150
Figura 6.1_57. Adición de la muestra al envase	152
Figura 6.1_58. Adición de agua destilada al envase	152
Figura 6.1_59. Extracción del aire atrapado en la muestra	153
Figura 6.1_60. Enrase del envase	153
Figura 6.1_61. Peso del conjunto total.....	153
Figura 6.1_62. Equipos y materiales requeridos	158
Figura 6.1_63. Tamizado de la muestra en tamiz N°4	159
Figura 6.1_64. Horno utilizado en el ensayo	160
Figura 6.1_65. Introducción de la muestra en el horno	160
Figura 6.1_66. Llenado de la probeta con la solución de ensayo	160
Figura 6.1_67. Adición del agregado en la probeta de ensayo.....	160
Figura 6.1_68. Expulsión de las burbujas de aire en la probeta de ensayo.....	160
Figura 6.1_69. Muestras en reposo.....	160
Figura 6.1_70. Equipo agitador con la muestra.....	161
Figura 6.1_71. Extracción y lavado del tapón.....	161
Figura 6.1_72. Lavado de las paredes de la probeta	161
Figura 6.1_73. Introducción del tubo de irrigación al fondo de la probeta	161
Figura 6.1_74. Probetas en reposo.....	162
Figura 6.1_75. Lectura de suspensión	162
Figura 6.1_76. Barra estándar dentro de la probeta	162
Figura 6.1_77. Lectura del sedimento de arena	162
Figura 6.1_78. Fig1 probeta graduada, fig2. Pisón, fig3. Sifón	164
Figura 6.1_79. Equipos requeridos para el ensayo.....	168
Figura 6.1_80. Extracción del horno de muestra seca.....	168
Figura 6.1_81. Conjunto de muestra pesada.....	169
Figura 6.1_82. Introducción del crisol en la mufla	169
Figura 6.1_83. Extracción de la muestra de la mufla.....	169
Figura 6.1_84. Muestra en el desecador	169
Figura 6.1_85. Muestra seca pesada en el crisol.....	169
Figura 6.1_86. Permeámetro de carga constante.....	177
Figura 6.1_87. Aparato para la evacuación y saturación de los especímenes	177
Figura 6.1_88. Aparato para medir la presión según lambe.....	189
Figura 6.1_89. Relación de vacíos vs log de la carga	190
Figura 6.1_90. Relación entre el i_p y el cambio volumétrico.....	190
Figura 6.1_91. Gráfico de potencial de levantamiento vertical vs carga	191
Figura 6.1_92. Gráfico de potencial de levantamiento vertical vs carga	192
Figura 6.1_93. Familia de curvas, método de un punto	198
Figura 6.1_94. Molde 100mm de diámetro nominal.....	204
Figura 6.1_95. Molde 150mm de diámetro.....	205
Figura 6.1_96. Formulario tipo	206
Figura 6.1_97. Molde 100mm de diámetro nominal.....	212
Figura 6.1_98. Molde 150mm de diámetro.....	213
Figura 6.1_99. Formulario tipo	214
Figura 6.1_100. Equipos y materiales requeridos	217
Figura 6.1_101. Inserción del disco dentro del molde	218
Figura 6.1_102. Ensamblado del collarín	218
Figura 6.1_103. Colocación del papel de filtro	218
Figura 6.1_104. Enrase del material	219
Figura 6.1_105. Extracción del disco espaciador.....	219
Figura 6.1_106. Colocación de papel de filtro	219
Figura 6.1_107. Inversión del molde	219
Figura 6.1_108. Colocación de disco de perforación.....	220
Figura 6.1_109. Aparato cbr	223
Figura 6.1_110. Corrección de curvas tensión – penetración	224
Figura 6.1_111. Cbr densidad seca.....	224
Figura 6.1_112. Formulario tipo	225
Figura 6.1_113. Formulario tipo	226
Figura 6.1_114. Cara del pisón de compactación.....	232
Figura 6.1_115. Compactador por amasado de california.....	233
Figura 6.1_116. Compactador por amasado de california.....	234

Figura 6.1_117. Dispositivo para indicar la exudación	235
Figura 6.1_118. Isco de bronce fosforado	236
Figura 6.1_119. Dispositivos para presión-expansión y accesorios	236
Figura 6.1_120. Estabilómetro de HVEEM	237
Figura 6.1_121. Accesorios del estabilometro	237
Figura 6.1_122. Diagrama para corregir los valores de r en un espécimen con altura de 63 mm	238
Figura 6.1_123. Piezómetro abierto tipo casagrande.....	248
Figura 6.1_124. Piezómetro cerrado tipo neumático	248
Figura 6.1_125. Piezómetros eléctricos.....	249
Figura 6.1_126. Piezómetro cpr.....	249
Figura 6.1_127. Equipo de consolidación	252
Figura 6.1_128. Especimen a examinar	254
Figura 6.1_129. Inundación de carga	254
Figura 6.1_130. Consolidómetro	255
Figura 6.1_131. Procesos de cargas.....	255
Figura 6.1_132. Toma de lectura	255
Figura 6.1_133. Disminución de carga.....	255
Figura 6.1_134. Detalles del montaje de ensayo de consolidación típico	260
Figura 6.1_135. Formas habituales de odómetros, a) de anillo rígido, b) de anillo flotante	261
Figura 6.1_136. Odómetro especial que permite medir presiones laterales	261
Figura 6.1_137. Equipos requeridos para el ensayo	263
Figura 6.1_138. Instrumentos necesarios para preparación de muestras para el ensayo	265
Figura 6.1_139. Lectura de la altura inicial.....	265
Figura 6.1_140. Lectura del diámetro	265
Figura 6.1_141. Pesada de la muestra.....	265
Figura 6.1_142. Probeta colocada en el disco espaciador.....	266
Figura 6.1_143. Marcado del disco espaciador	266
Figura 6.1_144. Velocidad de aplicación de carga.....	266
Figura 6.1_145. Probeta deformada (ocurrencia de falla).....	266
Figura 6.1_146. Toma de las lecturas reportadas por el ensayo	267
Figura 6.1_147. Pesada de la muestra ensayada.....	267
Figura 6.1_148. Esquema de un ensayo de compresión incofinada.....	270
Figura 6.1_149. Deformación unitaria vs. Esfuerzo	270
Figura 6.1_150. Sección de una cámara triaxial típica.....	282
Figura 6.1_151. Equipo de corte directo	285
Figura 6.1_152. Preparación de la muestra.....	287
Figura 6.1_153. Instalación de la caja de corte	287
Figura 6.1_154. Colocación de puente de carga sobre la muestra	287
Figura 6.1_155. Saturación de muestra con agua	288
Figura 6.1_156. Colocación de carga en muestra.....	288
Figura 6.1_157. Toma de lectura	288
Figura 6.1_158. Separación de los marcos de corte	288
Figura 6.1_159. Desmontaje de la muestra.....	289
Figura 6.1_160. Muestra secada en el horno	289
Figura 6.1_161. Detalles del ensayo y la caja de corte directo.....	291
Figura 6.1_162. Formulario tipo	292
Figura 6.1_163. Esfuerzo de corte vs. Deformación horizontal	293
Figura 6.1_164. Esfuerzo normal vs. Esfuerzo cortante.....	293
Figura 6.1_165. Cámara triaxial con tldv interiores y celdas de carga.....	316
Figura 6.1_166. Cámara triaxial con tldv exteriores y celdas de carga	316
Figura 6.1_167. Detalle de la abrazadera tldv	317
Figura 6.1_168. Dispositivo de calibración del anillo de carga	318
Figura 6.1_169. Aparato para compactación estática	319
Figura 6.1_170. Aparato para compactación vibratoria de suelos no cohesivos.....	320
Figura 6.1_171. Módulo resiliente para suelos granulares.....	321
Figura 6.1_172. Gráfico aritmético de resultados del ensayo de módulo de resiliente.....	322
Figura 6.1_173. Gráfico logarítmico de resultados del ensayo de módulo resiliente... ..	322
Figura 6.1_174. Curva succión humedad papel de filtro whatman N° 42	326

Figura 6.1_175. Curva succión humedad papel de filtro Schleicher and Schuell N° 589 cinta blanca	327
Figura 6.1_176. Esquema de cono convencional	335
Figura 6.1_177. Esquema de macro-cono	336
Figura 6.1_178. Formato tipo, densidad de terreno.....	337
Figura 6.1_179. Formulario tipo, cono de penetración dinámica portátil, datos de terreno y correlación con el cbr	344
Figura 6.1_180. Curva cdcp representación del número de golpes en la profundidad.....	345
Figura 6.1_181. Representación de la variación del índice de penetración con la profundidad.....	345
Figura 6.1_182. Curva de balance estructural.....	346
Figura 6.1_183. Curva de balance estándar	346
Figura 6.1_184. Cono de penetración dinámica, esquema general	347
Figura 6.1_185. Cono de penetración dinámica	348
Figura 6.1_186. Cono de penetración dinámica.....	349
Figura 6.1_187. Cono de penetración dinámica.....	350
Figura 6.1_188. Cono de penetración dinámica.....	351
Figura 6.1_189. Curva de calibración (típica)	355
Figura 6.1_190. Corrección curva presión – deformación.....	363
Figura 6.1_191. Corrección de ku por deformación de placa.....	363
Figura 6.1_192. Equipo de ensayo de placa de carga estática.....	364
Figura 6.1_193. Esquema del aparato de balón de caucho.....	373
Figura 6.1_194. Equipos requeridos.....	385
Figura 6.1_195. Pesada de la muestra.....	386
Figura 6.1_196. Secado de la muestra húmeda	386
Figura 6.1_197. Construcción del infiltrómetro.....	391
Figura 6.1_198. Detalle de instalación de anillos y tubo mariotte	391
Figura 6.1_199. Equipos y materiales requeridos	394
Figura 6.1_200. Preparación de la superficie de ensayo	394
Figura 6.1_201. Instalación del anillo de carga.....	394
Figura 6.1_202. Instalación de los diales de carga.....	395
Figura 6.1_203. Personal integrado en el ensayo.....	396
Figura 6.1_204. Determinación de la humedad y peso unitario	396
Figura 6.1_205. Instalación típica del ensayo en el terreno	397
Figura 6.1_206. Conjunto de elementos que componen el aparato	397
Figura 6.1_207. Corrección de la curva esfuerzo vs. Penetración	398
Figura 6.1_208. Geometría de las veletas	402
Figura 6.1_209. Área de verificación de daños en terraplenes de suelos dispersivos (en rojo).....	414
Figura 6.1_210. Ensayo de dispersión	415
Figura 6.1_211. Relación de porcentaje de na y tds medidos en laboratorio con la prueba pinhole.	416
Figura 6.1_212. Relación entre la dispersividad (susceptibilidad a la erosión coloidal) en relación con los ensayos de pinhole.	416
Figura 6.1_213. Integración de los resultados de los ensayos químicos de las obras enumeradas anteriormente (Ramírez, 2014)	418
Figura 6.1_214. Caso 1. Daño no tolerable.....	419
Figura 6.1_215. Caso 2. Daño tolerable.....	420
Figura 6.1_216. Caso 3. Daño nulo.....	420
Figura 6.1_217. Dibujo esquemático del equipo de pinhole.....	426
Figura 6.1_218. Esquema del montaje general del ensayo pinhole.	428
Figura 6.1_219. Especímenes de suelos elaborados para el ensayo crumb y sus respectivas asignaciones del grado de dispersión.....	433
Figura 6.1_220. Esquema del aparato utilizado para la obtención del extracto de saturación de la muestra de suelo.....	435
Figura 6.1_221. Cantidades de cal para la estabilización de sub-rasantes y bases.....	446
Figura 6.1_222. Consolidómetro de anillo fijo	467
Figura 6.1_223. Ejemplo de curva carga – expansión.....	467
Figura 6.1_224. Método de neutralización y titulación.....	485
Figura 6.1_225. Método de neutralización y titulación.....	486

Figura 6.1_226. Molde cilíndrico	498
Figura 6.1_227. Molde de cilindro de suelo cemento	509
Figura 6.1_228. Distribución de la variación en el resultado del ensayo en 122 e specímenes.....	513

INTRODUCCIÓN

El presente Volumen está referido a **Suelos y agregados**, dentro del Tomo 6 “NORMAS PARA MATERIALES Y ENSAYOS DE MATERIALES”, correspondiente a las normas y requisitos esenciales para la determinación de los materiales a incorporar como parte de los diferentes elementos que son utilizados en obras viales encaradas por el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, en la República del Paraguay, así como a los sistemas para diseñar mezclas de materiales para que cumplan con esos requisitos, a los procedimientos a que se debe ajustar la extracción de muestras representativas, a los métodos que se deben seguir para ensayarlas en el laboratorio y a los métodos para determinar “in situ” las propiedades y características de los materiales y de las obras a ser ejecutadas y del glosario de términos más comunes.

El contenido de este volumen está constituido por normas y procedimientos que no deben cambiarse bajo ninguna circunstancia. En especial, los ensayos de laboratorio deben ajustarse exactamente a procedimientos y criterios que se indican. Cualquier alteración de los mismos, obliga a anular el resultado obtenido, pues imposibilita su comparación con otras especificaciones y resultados obtenidos de otros ensayos.

Las normas están referidas en capítulos que abarcan todos los ensayos de suelos relacionados a su utilización en obras viales; **los métodos preliminares de descripción, procedimientos de preparación, toma y transporte de muestras, clasificación y caracterización, compactación y resistencia, verificación y monitoreo de campo, modificación y estabilización de suelos con mezclas de suelo cal, cemento y otros estabilizadores principalmente para su utilización en la región occidental del país.** El contenido de este manual es una recopilación de normas ya establecidas y desarrolladas por organismos especializados. En el título de cada método se incluyó el nombre de las normas base.

Cada norma de ensayo correspondiente incluye detalles del **objeto, equipos y materiales, extracción y preparación de la muestra, procedimientos, cálculos, precisión – repetitividad y reproducibilidad – observaciones, sesgo, figuras y notas.** Algunos ensayos más importantes también cuentan con detalles específicos en la parte final de este volumen.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

A

Acopio. - Acumulación planificada de materiales destinados a la construcción de una obra.

Aditivos (estabilización química de suelos). - Productos de origen natural o químico que se mezclan con los suelos con el propósito de estabilizarlos. Normalmente producen una cementación, aumentan la capacidad de soporte y la impermeabilización.

Agua Libre (suelos). - Agua presente en un suelo que se puede evacuar por la acción de la gravedad, mediante un sistema de drenaje subterráneo.

Análisis Hidrométrico (suelos). - Método para determinar el tamaño de las partículas más pequeñas de un suelo (normalmente menores que 0,08 mm), basado en la velocidad de sedimentación en un líquido.

Aparato Casagrande. Taza de bronce con una masa de 200 ± 20 g, montada en un dispositivo de apoyo fijado a una base de plástico duro de una **resiliencia** tal que una bolita de acero de 8 mm de diámetro, dejada caer libremente desde una altura de 25 cm, rebote entre un 75 y un 90%.

Arcilla. - Suelo de granos finos (compuesto por partículas menores a 5 micrones), que posee alta plasticidad dentro de ciertos límites de contenido de humedad y que, secado al aire, adquiere una resistencia importante.

Arena. - Material resultante de la desintegración, molienda o trituración de la roca, cuyas partículas pasan por el tamiz de 5 mm y son retenidas por el de 0,08 mm.

Asentamiento de Suelos. - Descenso vertical de la superficie del terreno o del terraplén, debido a la consolidación o fallas del suelo.

B

Base Granular. - Ver Base no Ligada.

Base no Ligada. - Base conformada exclusivamente por una mezcla de suelos, que habitualmente cumplen con ciertos requisitos en cuanto a granulometría, límites de Atterberg, capacidad de soporte y otros.

Base Tratada con Cemento (BTC). - Los materiales para BTC deberán cumplir con lo establecido en SO701, a excepción de las partículas chancadas, cuyo porcentaje deberá ser mayor que 50% y de la resistencia a la compresión, que debe ser de 4,5 MPa, con una dosis mínima de 5% de cemento.

Bloque. - Fragmento de roca mayor a 300 mm.

Bolón. - Fragmento de roca entre 80 y 300 mm.

Broca. - Dispositivo metálico construido en acero, de forma tubular, con corona de corte diamantada y habitualmente refrigerado por agua, que se emplea para cortar testigos. Existen de diferentes diámetros y longitudes, para diversos usos y requerimientos.

C

Calicata. - Exploración que se hace en cimentaciones de edificios, muros, caminos, etc., para determinar, identificar y clasificar los materiales constituyentes de los suelos de fundación, a través de estratigrafía y ensayos.

Índice de Soporte de California (CBR Por sus siglas en ingles) .- El índice CBR es la relación, expresada en porcentaje, entre la presión necesaria para hacer penetrar un pistón de 50 mm de diámetro en una masa de suelo compactada en un molde cilíndrico de acero, a una velocidad de 1,27 mm/min., para producir deformaciones de hasta 12,7 mm (1/2") y la que se requiere para producir las mismas deformaciones en un material chancado normalizado, al cual se le asigna un valor de 100%.

Clínker.- Producto constituido en su mayor parte por silicatos de calcio hidráulico, que se obtiene por calcinación hasta la fusión (1400 – 1500 °C) de una mezcla proporcionada de minerales calizos y arcillosos.

Coefficiente de Curvatura de un Suelo. - Coeficiente que evalúa la regularidad de la curva granulométrica, la cual representa la distribución por tamaño de las partículas de una muestra de suelo. Este coeficiente se determina como:

, en que D_{xx} = tamaño según curva granulométrica para el cual pasa X % del material.

eficiente de Uniformidad de un Suelo. - Coeficiente que se emplea para saber el tipo de graduación de un suelo: Este coeficiente se determina como:

, en que D_{xx} = Tamaño según curva granulométrica para el cual pasa X % del material.

Cohesión (suelo). - Fuerza de unión entre las partículas de un suelo, cuya magnitud depende de la naturaleza y estructura del mismo. En los suelos cohesivos la estructura depende del contenido de minerales arcillosos presentes y de las fuerzas que actúan entre ellos.

Compacidad de un Suelo. - Grado de compactación o densidad natural de un suelo no cohesivo, que depende del acomodo alcanzado por las partículas de éste.

Compactación (suelo). - Operación mecanizada para reducir el índice de huecos de un suelo y alcanzar con ello la densidad deseada.

Compresibilidad de un Suelo. - Deformación que experimenta un suelo producto de la relación variable que experimentan las fases de que está compuesto. Esta deformación no siempre es proporcional al esfuerzo aplicado, cambiando con el tiempo y con el medio.

Compresión. - Esfuerzo a que está sometido un cuerpo por la acción de dos fuerzas opuestas que tienden a disminuir su volumen.

Cono de Arena. - Es un aparato medidor de volumen, provisto de una válvula cilíndrica de 12,5 mm de abertura, que controla el llenado de un cono de 6" de diámetro y 60° de ángulo basal. Un extremo termina en forma de embudo y su otro extremo se ajusta a la boca de un recipiente de aproximadamente 5 l de capacidad. La válvula debe tener topes que permitan fijarla en su posición completamente cerrada o completamente abierta. El aparato debe llevar una placa base.

Consistencia de un suelo. - Grado de adherencia entre las partículas del suelo y su resistencia a fuerzas que tienden a deformarlo o romperlo. Se describe por medio de términos como: blanda, media, firme, muy firme y dura.

Consolidación. - Reducción de los índices de vacíos de un suelo, a consecuencia de la expulsión del agua y aire intersticiales, mediante la aplicación de cargas durante un lapso determinado.

Cordón (suelos). - Acopio de material granular, dispuesto longitudinalmente en la faja de un camino, de sección aproximadamente trapezoidal y cuyas dimensiones dependen del espesor compactado exigido a la capa a extender.

Cuarteo. - Procedimiento empleado para reducir el tamaño original de una muestra de suelo o agregado pétreo, cuyo objetivo es obtener una muestra representativa del material y de un tamaño acorde a los requerimientos del ensayo a realizar.

Curva de Saturación. - Curva que relaciona la densidad seca de un suelo con la humedad de saturación de éste, para una densidad de partículas sólidas dada.

D

Deflexión (suelos). - El descenso vertical de una superficie debido a la aplicación de una carga sobre ella.

Densidad (suelos). - **Cociente** entre la masa de un suelo y su volumen a una temperatura determinada. Se expresa normalmente en kg/m^3 .

Densidad Compactada Húmeda. - Densidad de un suelo compactado, que se determina dividiendo la masa húmeda por su volumen.

Densidad Compactada Seca. - Densidad de un suelo compactado, que se determina dividiendo la masa seca por su volumen.

Densidad de Partículas Sólidas. - Cociente entre la masa sólida de un suelo y el volumen sólido del mismo, siendo el volumen sólido la diferencia entre el volumen total y la suma de los volúmenes líquidos y gaseosos.

Densidad Máxima (Suelos). - Densidad de un suelo en el estado más denso que se puede obtener aplicando el ensayo normalizado.

Densidad Máxima Compactada Seca. - Corresponde a la mayor densidad que puede alcanzar un suelo al ser compactado a la humedad óptima. Se determina mediante el **Método 6.1.4.2**.

Densidad Mínima (Suelos). - Densidad de un suelo en el estado más suelto que se puede obtener aplicando el ensayo normalizado.

Densidad Neta. - Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material pétreo más el volumen de los poros inaccesibles.

Densidad Relativa. - Grado de compacidad de un suelo con respecto a los estados más sueltos y más densos obtenidos mediante procedimientos de laboratorio normalizados. Ver **6.1.4.3**.

Dosímetro. - Aparato o dispositivo que mide dosis de radiactividad, que se usa cuando se emplean métodos nucleares para determinar humedad y densidad.

E

Empréstito. - Volumen de material que se excava para suplir la deficiencia o insuficiencia del suministrado por los cortes.

Entumecimiento de un suelo. - Aumento del volumen de los suelos con la humedad. También se le llama expansión y les ocurre a las arenas y, en modo muy especial, a las arcillas.

Equivalente de Arena. - Porcentaje de arena propiamente tal con respecto al total de arena y de impurezas coloidales floculadas, particularmente arcillosas, húmicas y eventualmente ferruginosas, presentes en un pétreo fino (bajo tamiz 5 mm).

Esfericidad de una Partícula (Suelos). - Es la relación entre el diámetro de una esfera de igual volumen que la partícula y su largo.

Esponjamiento (suelos). - Aumento de volumen que experimenta un suelo al ser removido de su estado natural.

Esponjamiento (arenas). - Aumento aparente de un volumen dado de arena cuando aumenta su humedad libre.

Estabilización de Suelos. - Mejoramiento de las propiedades físicas y/o mecánicas de un suelo mediante procedimientos mecánicos y/o físico – químicos.

Estabilización Mecánica del Suelo. - Mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de un suelo mediante procedimientos mecánicos.

Estabilización Química del Suelo. - Mejoramiento de las propiedades físicas y/o mecánicas de un suelo mediante la incorporación de un compuesto químico.

Estabilizador de Suelos. - Producto químico, natural o sintético que, por su acción y/o combinación con el suelo, mejora una o más de sus propiedades de desempeño.

Estrato. - Masa de suelo en forma de capa de espesor más o menos uniforme.

G

Grado de saturación. - Se dice que un suelo está saturado cuando el agua ocupa la totalidad de sus huecos. El grado de saturación es el Cociente entre el volumen de agua y el volumen total de vacío. Se expresa en porcentaje.

H

Huecos. - Espacios vacíos entre las partículas de un pétreo.

Humedad de Saturación. - Porcentaje de humedad para el cual un suelo presenta todos sus vacíos llenos con agua y su grado de saturación es por tanto de 100%. La humedad de saturación varía de un suelo a otro dependiendo de su densidad de partículas sólidas, para un nivel de densificación dado.

Humedad Óptima. - Porcentaje de humedad para el cual un suelo sometido a una energía de compactación determinada presenta su máxima densidad (DMCS).

Humedad. - Cociente entre la masa de agua presente en un suelo y su masa seca. Se expresa en porcentaje.

I

Índice de Consistencia (suelos). - Es la diferencia entre el límite líquido y la humedad (natural) de un suelo, dividida por el Índice de Plasticidad de éste.

Índice de Grupo. - Índice utilizado en el Sistema AASHTO de clasificación de suelos para efectuar la evaluación en cada grupo. Su valor depende del porcentaje que pasa por 0,075 mm, del Límite Líquido y del Índice de Plasticidad del Suelo.

Índice de Huecos. - Relación entre el volumen de vacíos y el volumen sólido de un suelo. Se llama también relación de vacíos.

Índice de Plasticidad. - Diferencia numérica entre el Límite Líquido y el Límite Plástico de un suelo.

Índice Líquido (de Liquidez). - Se define el Índice de Liquidez de un suelo como la razón entre el porcentaje de Humedad Natural menos Límite Plástico y el Índice de Plasticidad. Es decir, cuando la Humedad Natural es igual al Límite Líquido, el Índice de Liquidez es igual a 1.

L

Laja. - Partícula pétreo en que la razón o Cociente entre las dimensiones máximas y mínima, referida a un prisma rectangular circunscrito, es mayor que 5.

Límite de Contracción. - Humedad máxima de un suelo para la cual una reducción de la humedad no origina una disminución de volumen.

Límite Líquido. - Humedad, expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados líquido y plástico. Corresponde a la humedad necesaria para que una muestra de suelo remoldeado, depositada en la taza de bronce de la máquina Casagrande y dividida en dos porciones simétricas separadas 2 mm entre sí, fluyan y entren en contacto en una longitud de 10 mm, aplicando 25 golpes.

Límite Plástico. - Humedad expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados plástico y semisólido. Corresponde a la humedad necesaria para que bastones cilíndricos de suelo de 3 mm de diámetro se disgreguen en trozos de 0,5 a 1 cm de largo y no puedan ser reamasados ni reconstituidos.

Limo. - Suelo de grano fino con poca o ninguna plasticidad que en estado seco tiene apenas la cohesión necesaria para formar terrones fácilmente friables. El tamaño de sus partículas está comprendido entre 0,005 mm y 0,08 mm.

M

Macro-cono de Arena (suelos). - Es un aparato medidor de volumen, utilizado para el control de densidad de terreno, construido proporcionalmente a una escala mayor y que utiliza la misma válvula que el cono convencional. A diferencia de este último, el macro-cono controla el llenado de un cono de 12" de diámetro y su recipiente tiene una capacidad aproximada de 35 l. (Ver Figura 6.1_177)

Material Inadecuado. - Suelo no apto para servir los propósitos de un camino. En general, este término se utiliza para designar los suelos de fundación de terraplenes que no cumplen con los requisitos especificados.

Módulo de Reacción. - Cociente entre la presión aplicada por medio de una placa rígida y la reacción o deflexión producida.

Muestra de Laboratorio. - Cantidad mínima de material necesario para realizar los ensayos de laboratorio requeridos.

Muestra Inalterada. - Muestra extraída sin alterar las condiciones naturales del suelo.

Muestra Perturbada. - Muestra de suelo extraída o reconstituida artificialmente, en donde se modifica una o más propiedades respecto de su estado natural.

N

Napa Freática. - Capa de agua libre subterránea presente en un determinado suelo.

P

Partículas Desmenuzables. - Partículas contenidas en los pétreos que pueden desmenuzarse con la presión de los dedos.

Perfiles de Refracción Sísmica. - Determinación, mediante una serie de detectores o geófonos en línea, del tiempo de viaje de ondas compresionales originadas en una fuente explosiva. Permite determinar espesores de estratos y la velocidad de propagación de las ondas sísmicas en ellos. Este método se utiliza principalmente en la prospección de túneles y para determinar la escalabilidad de suelos y rocas.

Permeabilidad de un Suelo. - Propiedad de los suelos o capas granulares de un pavimento de permitir el paso del agua a través de ellas. Se mide mediante ensayo y se expresa como coeficiente de permeabilidad. Es un indicador de la capacidad drenante del suelo o capa granular.

Peso Específico. - Cociente entre la masa de un material y la masa de un volumen igual de agua a 4 °C. Es adimensional.

Picnómetro. - Recipiente de vidrio calibrado que se emplea para determinar la densidad de partículas sólidas de suelos conformados por partículas menores que 5 mm.

Placa de Carga. - Ensayo en que un suelo, de acuerdo a un procedimiento determinado, se somete a diversos estados de carga aplicados a través de placas rígidas, registrándose la deflexión producida en ellos.

Planiformidad de una Partícula. - Relación entre el ancho y el espesor de una partícula de suelo.

Poroso Accesible. - Poroso permeable o abierto.

Poroso Inaccesible. - Poroso impermeable o cerrado.

Porosidad. - Cociente entre el volumen de vacíos y el volumen total de suelo. Se expresa en porcentaje.

Punto de Ablandamiento. - Es la menor temperatura a la que una muestra suspendida en un anillo horizontal de dimensiones especificadas y colocada dentro de un baño de agua o glicerina, es forzada a fluir 25 mm por el peso de una bola de acero especificada debido a incrementos de la temperatura, a una velocidad prescrita.

R

Redondez de una Partícula. - Es la medida de la agudeza de sus vértices y se define como el Cociente entre el radio promedio de los vértices y aristas y el radio de la esfera máxima inscrita.

Retracción de un Suelo. - Disminución del volumen de un suelo húmedo o saturado, debido a su desecación.

Roca Ígnea. - Rocas de origen profundo, resultado del enfriamiento y cristalización de la masa fundida, el magma.

Roca Metamórfica. - Tienen su origen en rocas ya existentes que, sometidas a transformaciones químicas o al calor y la presión en el interior de la corteza terrestre, han sufrido una metamorfosis química, mineralógica o física.

Roca Sedimentaria. - Rocas procedentes de productos de erosión que se han depositado en capas generalmente muy compactas (sedimentos) sobre el suelo o, más comúnmente, en el fondo del mar.

S

Secado hasta Masa constante. - Límite de secado en que dos pesadas sucesivas, separadas por 1 hora de secado al horno, difieren en un porcentaje igual o inferior al 0,1% de la menor masa determinada.

Sedimentación. - Formación de sedimentos a partir de partículas suspendidas en el agua.

Segregación. - Separación de ciertas partículas de un material o mezcla, durante su transporte o colocación.

Sobre-tamaño. - Partículas de un suelo de mayor tamaño que el máximo especificado.

Solubilidad. - Propiedad de una sustancia que le permite disolverse en un líquido.

Sonda. - Equipo para perforar y extraer muestras.

Sondaje. - Operación de perforación del suelo para obtener muestras representativas de los distintos estratos. En los proyectos viales este tipo de exploración se utiliza en el estudio de

fundaciones de estructuras y en el estudio de estratos de compresibilidad importante, situados bajo el nivel de la napa freática. Los suelos finos exentos de grava pueden ser bien estudiados mediante sondajes.

Subbase Granular. - Capa constituida por un material de calidad y espesor determinados y que se coloca entre la sub-rasante y la base.

Sub-rasante. - Plano superior del movimiento de tierras, que se ajusta a requerimientos específicos de geometría y que ha sido conformada para resistir los efectos del medio ambiente y las sollicitaciones que genera el tránsito. Sobre la sub-rasante se construye el pavimento y las banquetas.

Suelo bien Graduado. - Suelo conformado por partículas de diferentes tamaños y cuya curva granulométrica es continuo y suave.

Suelo Cemento. - Suelo estabilizado con cemento para mejorarle sus propiedades.

Suelo de Fundación. - Ver Sub-rasante.

Suelo Uniforme. - Suelo en que la mayoría de las partículas tienen dimensiones similares y queda representado por una curva granulométrica empinada.

T

Talud. - Tangente del ángulo que forma el paramento de un corte con respecto a la vertical.

Tamizado. - Operación que consiste en separar por tamaño las partículas de un agregado, mediante tamices.

Tensión Capilar. - Fuerza originada por la tensión superficial de un líquido y que hace que ascienda por un tubo capilar.

Tensión Superficial. - Si sobre la superficie de un líquido se traza una línea cualquiera, la tensión superficial es la fuerza superficial normal a dicha línea por unidad de longitud. La tensión superficial explica el fenómeno de ascensión de un líquido en tubos capilares. Se expresa en dina/cm o erg/cm².

Terraplén. - Obra construida empleando suelos apropiados, debidamente compactados, para establecer la fundación de un pavimento.

Testigo. - Muestra cilíndrica aserrada, extraída de pavimentos de hormigón o de asfaltos terminados y/o de elementos de hormigón estructural, cuyo propósito es verificar que los diferentes parámetros de diseño (densidad, espesor, resistencia, etc.) cumplan con las especificaciones de la obra.

Testiguera. - Aparato para extraer testigos.

Textura de un Suelo. - Grado de finura y uniformidad del suelo detectado mediante el tacto, y se describe con términos tales como, harinoso, suave, arenoso, áspero, según la sensación percibida (determinación organoléptica).

Trabajabilidad. - Facilidad con que una muestra puede ser elaborada, distribuida, conformada y terminada.

Trabazón. - Disposición o acomodo de las partículas gruesas de un agregado que da forma a una estructura estable.

Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA). - Valor promedio aritmético de los volúmenes diarios de flujo vehicular para todos los días del año, previsible o existente en una sección dada de la vía.

Triaxial. - Los ensayos triaxiales se usan para determinar la resistencia al corte y el ángulo de fricción de un suelo a través de relaciones tensión-deformación de suelos bajo diferentes condiciones de drenaje.

Turba. - Suelos sedimentarios, compuestos principalmente por materia orgánica, parcialmente descompuesta, que se ha acumulado bajo condiciones de excesiva humedad.

CAPITULO 6.1.1.

MÉTODOS PRELIMINARES DE DESCRIPCIÓN E INVESTIGACIÓN DE SUELOS

SECCION 6.1.1.1.

DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE SUELOS (PROCEDIMIENTO VISUAL Y MANUAL) (ASTM D2488)

6.1.1.1.1. DIFERENCIAS IMPORTANTES ENTRE GRAVAS, ARENAS, LIMOS Y ARCILLAS

GRAVAS (>2mm)

Los granos no se apelmazan, aunque estén húmedos, debido a las pequeñas tensiones capilares.

Cuando el gradiente hidráulico es mayor a 1, de produce en ellas flujo turbulento.

ARENAS (ENTRE 0,06 Y 2mm)

Los granos se apelmazan si están húmedos.

No se suele producir en ellas flujo turbulento.

ARENAS (ENTRE 0,06 Y 2mm)

Partículas visibles, en general no plásticas.

Terrenos secos tienen una ligera cohesión, se reducen a polvo fácilmente entre los dedos.

Fácilmente erosionadas por el viento.

Los asentamientos finalizan al acabarse la construcción.

LIMOS (ENTRE 0,02 Y 0,06 mm)

Partículas invisibles y algo plásticas

Los terrenos secos tienen cohesión apreciable, pero se reducen a polvo con los dedos

Difícilmente erosionados por el viento

Los asentamientos suelen continuar después de acabada la construcción.

LIMOS (ENTRE 0,02 Y 0,06 mm)

No suelen tener propiedades coloidales.

Para tamaños mayores a 0,002 mm se hace dada vez mayor proporción de minerales no arcillosos.

Tacho áspero. Se secan con relativa rapidez y no se pegan a los dedos.

Los terrones secos tienen cohesión apreciable, pero se reducen a polvo con los dedos.

ARCILLAS (<0,002 mm)

Tiene propiedades coloidales

Consisten en su mayor parte de minerales arcillosos.

Tacho suave. Se secan lentamente y se pegan a los dedos.

Los terrones secos se pueden partir, pero no se pueden reducir a polvo con los dedos.

6.1.1.1.2. IDENTIFICACIÓN DE SUELOS FINOS EN EL CAMPO

Para la identificación de suelos finos del suelo en campo se utiliza muestra de suelo con fracciones que pasen el tamiz de 0,425 mm (N° 40).

6.1.1.1.3. Dilatancia (Reacción al agitado)

Posteriormente a quitar las partículas mayores del tamiz de 0,425 mm (N° 40), se prepara una pastilla de suelo húmedo de aproximadamente 10 cm³, debiendo añadirse un poco de agua de manera de tener el suelo suave pero no pegajoso.

Colocar la pastilla en la palma y agitar horizontalmente, golpeando vigorosamente varias veces contra la otra mano. Una reacción positiva consiste en la aparición de agua en la superficie de la pastilla, la cual cambia adquiriendo una apariencia de hígado y se vuelve lustrosa. Cuando la pastilla se oprime entre los dedos, el agua y el lustre desaparecen de la superficie, la pastilla se vuelve tiesa y finalmente se agrieta o desmorona. La rapidez de la aparición del agua durante el agitado y de su desaparición durante la opresión sirve para identificar el carácter de los finos de los suelos.

- a) De reacción rápida, cuando el proceso descrito acontece muy rápidamente (ejemplos: arena fina, arena fina limosa, grava limosa).
- b) De reacción lenta, cuando el proceso descrito acontece muy lentamente (ejemplos: limo arcilloso, limos, arena arcillosa).
- c) Sin reacción alguna, cuando el proceso descrito no se presenta (ejemplos: arcilla limosa, arcilla).

Resistencia en estado seco (característica al rompimiento)

Se moldea un cilindro de suelo de 2,5 cm de diámetro por 2,5 cm de altura hasta alcanzar una consistencia de masilla. Se deja secar la pastilla totalmente en un horno, al sol o al aire y se prueba su resistencia rompiéndola y desmoronándola entre los dedos. Esta resistencia es una medida de la fracción coloidal que contiene el suelo. La resistencia en estado seco aumenta con la plasticidad.

- a) Sin resistencia en estado seco, cuando el suelo seco no se descompone prácticamente (ejemplos: gravas, arenas, mezclas de gravas y arenas).
- b) Baja resistencia, cuando el suelo seco se desintegra en pequeños pedazos (ejemplos: limos, mezclas de limos y arenas finas).
- c) Alta resistencia en estado seco, cuando es altamente desintegrable, (ejemplos: arcillas, arcillas limosas, arcillas con bajo contenido de finos arenosos).

Tenacidad (consistencia cerca del límite plástico)

Se moldea un espécimen de 10 cm³ hasta alcanzar la consistencia de masilla, la muestra se rola a mano sobre una superficie lisa, hasta hacer un rollito de 3mm, se amasa y se vuelve a rolar varias veces hasta que se ponga el espécimen tieso, donde pierde su plasticidad y se desmorona cuando alcanza su límite plástico.

- a) Plasticidad baja, cuando se rola e inmediatamente se desmorona (ejemplos: limos, arenas arcillosas).
- b) Plasticidad media, cuando se rola el suelo y el rollito al ser presionado con los dedos se deshace inmediatamente (ejemplos: mezclas de arcillas y limos, arenas arcillosas).
- c) Plasticidad elevada, cuando se rola el suelo y al ser presionado el rollito no se quiebra ante una presión del dedo fuerte (ejemplo: arcilla).

EXAMEN VISUAL DE MUESTRAS

PLANILLA S0101_1 EXAMEN VISUAL DE MUESTRAS

⁽¹⁾ OBRA:							
⁽²⁾ USO:		⁽³⁾ N.º DE CAMPO:			⁽⁴⁾ FECHA:		
⁽⁵⁾ PROCEDENCIA:					⁽⁶⁾ N.º DE SOLICITUD DE SERVICIO:		
⁽⁷⁾ MUESTRA	⁽⁸⁾ UBICACION	⁽⁹⁾ PROF.	⁽¹⁰⁾ N.º DE LAB.	⁽¹¹⁾ DESCRIPCION			
REALIZADO POR:				REVISADO POR:			

MANUAL DEL USUARIO DEL FORMATO DE ENSAYO

⁽¹⁾ OBRA: Se debe colocar el nombre del trabajo o proyecto a ejecutar
⁽²⁾ USO: Se debe colocar la fecha en que se realiza el examen visual
⁽³⁾ N.º DE CAMPO: Es la identificación que se da a cada muestra recolectada
⁽⁴⁾ FECHA: Se debe indicar cuál será o es uso del material a ensayar
⁽⁵⁾ PROCEDENCIA: Lugar de donde proviene la muestra
⁽⁶⁾ N.º DE SOLICITUD DE SERVICIO: Se debe colocar el N.º de solicitud de servicio con la cual se contrató el ensayo
⁽⁷⁾ MUESTRA: Indica el número de cada muestra recolectada
⁽⁸⁾ UBICACIÓN: Determinación del sitio (Coordenada, progresiva, otros)
⁽⁹⁾ PROFUNDIDAD: Es la distancia que existe desde la superficie hasta el punto donde se tomó la muestra.
⁽¹⁰⁾ N.º DE LABORATORIO: Es el número de identificación que se le da a la muestra al llegar al laboratorio
⁽¹¹⁾ DESCRIPCION: Se debe anotar todas las características de la muestra.

SECCION 6.1.1.2.

RECOMENDACIONES GENERALES PARA SUELOS Y SUS APLICACIONES COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

6.1.1.2.1. OBJETIVO

Estas especificaciones definen las calidades y graduaciones de mezclas de arena - arcillas; gravas o escorias seleccionadas; arenas o material triturado proveniente de pétreos o escorias o cualquier combinación de estos materiales, para ser utilizados como subbases, bases y capas de rodadura. Estos requerimientos son aplicables únicamente a materiales que tienen densidades netas entre 2.000 y 3.000 Kg. /m³ y absorciones y graduaciones características.

6.1.1.2.2. REQUERIMIENTOS GENERALES

Los áridos gruesos, retenidos sobre tamiz 4,75mm (N°4), deben ser partículas resistentes, durables, constituidas de fragmentos de roca, grava o escorias. Materiales que se quiebran con los ciclos alternados de hielo -deshielo y humedad – sequedad, no deben ser usados.

Los áridos finos, que pasan por tamiz 4,75mm (N°4), deben estar constituidos por arenas naturales o trituradas y por partículas minerales que pasan por tamiz 0,075mm (N°200).

Las fracciones que pasan por tamiz 0,075 mm (N° 200) no deberán ser mayores que los dos tercios de la fracción que pasa por tamiz 0,425 mm (N° 40). Los límites de consistencia de la fracción que pasa por tamiz 0,475 mm estarán conformes a lo indicado en la **Tabla 6.1_ 1**.

Todo el material deberá estar libre de materias orgánicas y terrones de arcillas. La graduación de los materiales deberá estar conforme con los requerimientos de la **Tabla 6.1_ 2**.

Tabla 6.1_1. LÍMITES DE CONSISTENCIA O DE ATTERBERG

	Límite Líquido	Índice de Plasticidad
Subbase	Max. 35	Max. 8
Base Estabilizada	Max. 35	Max. 6
Carpeta de Rodadura	Max. 35	5-10

6.1.1.2.3. MATERIALES PARA SUBBASE

Los materiales para subbase deberán cumplir con los requerimientos estipulados en “Requerimientos generales” y en “Materiales para subbase” y con la graduación TM-50a de la **Tabla 6.1_ 2**.

En cuanto a las propiedades mecánicas, el material deberá tener un soporte CBR mayor o igual a 40% y la fracción gruesa deberá tener una resistencia al desgaste, medida por el ensayo de Los Ángeles de no más de 40%.

6.1.1.2.4. MATERIALES PARA BASE GRANULAR

Los materiales para base granular (estabilización hidráulica) cumplirán con los requerimientos indicados en “Requerimientos generales” y en “Materiales para subbase”. Las granulometrías deberán ajustarse a una de las siguientes bandas: TM-50b, TM-50c o TM-25 de la **Tabla 6.1_2**; el porcentaje de chancado, no deberá ser menor que 50%.

Cuando el material se use como base para tratamiento superficial doble, el contenido mínimo de chancado será de 70%, su tamaño máximo absoluto será de 40 mm y su Índice de Plasticidad máximo será de 4%, salvo que el proyecto estipule otro valor, debidamente justificado, el que en ningún caso podrá exceder el 6 %.

En cuanto a las propiedades mecánicas, el material deberá tener un soporte CBR 80%; la fracción gruesa deberá tener una resistencia al desgaste, medida por el ensayo de Los Ángeles, de no más de 35%. En caso de tratamiento superficial doble, el soporte deberá ser CBR 100%.

Nota1: Cuando se emplea como subbase de pavimento de hormigón, el soporte deberá ser CBR 50%.

6.1.1.2.5. MATERIALES PARA CARPETA DE RODADURA

Cuando se prevea que la carpeta de rodadura va a quedar expuesta por varios años, sin una protección asfáltica, el material deberá cumplir con los requerimientos de “Requerimientos generales” y de “Materiales para carpeta de rodadura”, con un contenido mínimo de chancado de 50% y con la banda TM-40c.

Nota 2: De acuerdo a circunstancias locales, previo estudio, se podrán variar el fino bajo 0,08 mm y los límites de consistencia.

En cuanto a propiedades mecánicas, el material deberá tener un soporte CBR 60%. En zonas donde se permite efectuar el ensayo sin inmersión, este valor deberá ser del 80%. La fracción gruesa deberá tener una resistencia al desgaste, medida por el ensayo de Los Ángeles, de no más de 30%.

6.1.1.2.6. BASE GRANULAR TRATADA CON CEMENTO (GTC)

Los materiales para GTC, deberán cumplir con los requerimientos de “Materiales para base granular” y con una de las siguientes bandas granulométricas: TM-50c con tamaño máximo absoluto de 40mm o TM-25. Los materiales podrán ser sólo seleccionados, siempre que cumplan con una resistencia característica a la compresión a 7 días de 2,5 Mpa.

6.1.1.2.7. BASE TRATADA CON CEMENTO (BTC)

Los materiales para BTC, deberán cumplir con lo establecido en “Base tratada con cemento (BTC)”, a excepción de las partículas chancadas, cuyo porcentaje deberá ser mayor que 50% y de la resistencia a la compresión, que debe ser de 4,5 MPa, con una dosis mínima de 5% de cemento.

6.1.1.2.8. BASE ABIERTA LIGADA (BAL)

Los materiales deberán cumplir con los requisitos del punto “Requerimientos generales” y con la banda granulométrica TM-40a. Las partículas deben ser 100% chancadas y tener una resistencia al desgaste, medida por el ensayo de Los Ángeles, no mayor que 35%.

6.1.1.2.9. CONTENIDO DE HUMEDAD

Todos los materiales contendrán una humedad igual o ligeramente mayor que la óptima, necesaria para asegurar la densidad de diseño requerida.

Tabla 6.1_2. BANDAS GRANULOMÉTRICAS PARA SUB BASE, BASES Y CAPAS DE RODADURA

TAMIZ		TM-50a	TM-50b	TM-50c	TM-40a	TM-40b	TM-40c	TM-25
(mm)	Alternativo							
50	2"	100	100	100				
37,5	1 ½"	-	70-100	-	100	100	100	
25	1"	55-100	55-85	70-100	70-100	80-100	80-100	100
19	¾"	-	45-75	60-90	50-80	-	-	70-100
9,5	3/8"	30-75	35-65	40-75	25-50	50-80	50-80	50-80
4,75	N° 4	20-65	25-55	30-60	10-30	35-65	35-65	35-65
2,36	N° 8	-	-	-	5-15	-	-	-
2	N° 10	10-50	15-45	15-45	-	25-50	25-50	25-50
0,425	N° 40	5-30	5-25	10-30	0-5	10-30	10-30	10-30
0,075	N° 200	0-20	0-10	0-15	0-3	5-15	5-15	5-15

SECCION 6.1.1.3.

INVESTIGACIÓN DE SUELOS Y ROCAS PARA PROPÓSITOS DE INGENIERÍA (ASTM D420 AASHTO T86)

6.1.1.3.1. INTRODUCCIÓN

El muestreo e identificación de materiales del subsuelo, implica técnicas complejas acompañadas de procedimientos e interpretaciones diferentes, las cuales están influenciadas por condiciones geológicas y geográficas, por el propósito de la investigación y por los conocimientos, experiencia y entrenamiento del Ingeniero.

Esta norma proporciona métodos para el muestreo e investigación de suelos y rocas con base en procedimientos normales, mediante los cuales pueden determinarse las condiciones de distribución del suelo, de la roca y del agua freática.

Una investigación consistente y procedimientos adecuados de muestreo del suelo y de la roca, facilitarán la correlación de los respectivos datos con propiedades ingenieriles del suelo como plasticidad, permeabilidad, peso unitario, compresibilidad, resistencia y gradación; y de la roca como resistencia, estratigrafía, estructura y morfología.

6.1.1.3.2. SIGNIFICADO

Un estudio adecuado del suelo y de la roca, proporciona la información pertinente para decidir sobre uno o más de los siguientes puntos.

- a) Localización tanto vertical como horizontal de la obra propuesta.
- b) Localización y evaluación del material de préstamo, escogencia del material seleccionado de cantera o localización de la fuente local de materiales de construcción, para su empleo como áridos para la vía o para las estructuras, para materiales de filtro o para la protección de taludes.
- c) Necesidad de cualquier tratamiento o drenaje de la sub-rasante o de la fundación del terraplén.
- d) Necesidad de técnicas especiales para la excavación y el drenaje.
- e) Desarrollo de investigaciones subsuperficiales detalladas para estructuras específicas.
- f) Investigaciones de estabilidad de taludes en cortes y terraplenes.
- g) Necesidad de identificación de áreas que requieren especial protección del medio ambiente.
- h) Necesidad de controlar problemas de construcción.

La investigación subsuperficial del suelo deberá proporcionar muestras de suelo y roca suficientemente grandes y de calidad tal, que permitan determinar la clasificación del suelo o de la roca o el tipo mineralógico, o ambos, y las propiedades de ingeniería pertinentes al diseño propuesto.

6.1.1.3.3. EQUIPOS Y MATERIALES

El tipo de equipo requerido para una investigación sub-superficial depende de la naturaleza del terreno y de la utilización propuesta para los datos.

La Supervisión determinará cuál es el método más apropiado y el equipo dentro del listado incluido aquí para la exploración y muestreo.

- a) Barrenos Manuales, para depósitos superficiales de suelo.
- b) Barrenos y Taladros Rotatorios Motorizados, con puntas adecuadas, muestreadores y tubos saca-testigos para la investigación y muestreo tanto de rocas como de suelos.
- c) Los aparatos geofísicos utilizados para la investigación subsuperficial pueden incluir:
 - Instrumentos Sísmicos, con recepción simple o múltiple mediante geófonos, de señales originadas por golpes de martillo, explosivos u otras fuentes de energía.
 - Aparato de resistividad de Suelos, para medir la resistencia del suelo o roca al paso de una corriente continua o alterna.
 - Aparatos Nucleares, para medir humedad y peso unitario de suelos o rocas.
- d) Muestreadores de Turba, similares al muestreador Davis para investigar áreas compuestas por suelos orgánicos.
- e) Herramientas Manuales Pequeñas, tales como llaves de tubo y palas, constituyen parte del equipo necesario.
- f) Cajas de Cierre Hermético, para humedad de muestras, de 118-237 cm³ (aproximadamente de 4 a 8 onzas) de capacidad, de vidrio, metal o plástico, que puedan sellarse; además, recipientes herméticos o bolsas de tejido cerrado, libres de material contaminante, de manera que no haya pérdida de partículas finas y que tengan una capacidad de por lo menos 16 Kg. (35 lb.); también cajas apropiadas para muestras de núcleos de roca. Una lona de 2 x 2 m (6' x 6'), puede usarse para transportar una muestra de suelo a granel para su examen en el laboratorio.
- g) Los siguientes accesorios son igualmente necesarios: Brújulas, Inclínómetro, Nivel de Mano, Libreta de Campo, Cámara Fotográfica, Estacas y una cinta de 20 o de 30 m.
- h) Ácido Clorhídrico, normal diluido (HCL, 1 + 7) en un frasco de 1 onza con gotero, para la determinación de carbonatos al identificar minerales en rocas y suelos.
- i) Instrumentación In Situ, para medir Asentamientos y Movimientos del Terreno.

6.1.1.3.4. RECONOCIMIENTO DEL AREA DEL PROYECTO

Antes de iniciar cualquier programa de campo, se debe recopilar, estudiar y evaluar, toda la documentación técnica disponible: mapas topográficos, fotografías aéreas, mapas geológicos de la República del Paraguay, imágenes satelitales, mapas de litologías regionales, mapas de suelos para ingeniería e informes que cubran el área del proyecto. Igualmente deben estudiarse, cuando los haya, informes de investigaciones subsuperficiales de proyectos cercanos o adyacentes.

Es necesario tener en cuenta que aun cuando los mapas e informes anteriores sean obsoletos y de valor limitado a la luz del conocimiento presente, una comparación de lo viejo con lo nuevo, a menudo revela información valiosa e inesperada.

Los mapas agrológicos e informes de suelos de fecha reciente, pueden ayudar al Ingeniero para establecer la amplitud de las características del suelo a profundidades entre 0,9 m y 4,5 m (3 a 15 pies), para cada tipo de suelo mostrado en los mapas.

Cada tipo de suelo tiene un perfil que lo distingue debido al material de origen (roca madre), al relieve, a las condiciones climáticas y a la vegetación. Estas propiedades pueden ayudar a identificar los diferentes tipos de suelos, cada uno de los cuales pueden requerir análisis y tratamiento específico; a menudo se encuentran propiedades similares de ingeniería, donde existen características similares para el perfil del suelo. Los cambios en las propiedades del suelo en áreas adyacentes indican a menudo cambios en el material de origen o en el relieve.

En áreas donde los datos descriptivos son incompletos debido a la escasez de mapas geológicos o de suelos deberán estudiarse los suelos y rocas en zonas de cortes abiertos, en la vecindad de la obra y anotar los diferentes perfiles de suelos y rocas.

Donde se desee un mapa preliminar que cubra el área del proyecto, puede prepararse con base en mapas elaborados con la ayuda de fotografías aéreas, que muestren las condiciones del terreno. La distribución de los depósitos de suelos y rocas predominantes, que probablemente se encontrarán durante la investigación, podrán mostrarse empleando datos obtenidos de mapas geológicos y de reconocimiento del terreno. Expertos en la interpretación de fotografías aéreas pueden deducir muchos datos del subsuelo a partir del estudio de fotografías en blanco y negro, a color y de rayos infrarrojos, debido a que condiciones similares de suelo o roca, o ambas, generalmente tienen patrones parecidos en fotografías aéreas de regiones con clima o vegetación similares.

Este mapa preliminar puede transformarse en otro con más detalles de ingeniería, localizando las perforaciones de ensayo, las calicatas y barrenos de muestreo y precisando mejor los límites determinados con la exploración detallada del subsuelo.

6.1.1.3.5. DETERMINACIÓN DEL PERFIL DE SUELOS

Un perfil general de un área de suelo o roca, o ambos, está definido únicamente en el sitio del pozo o sondeo, o en el corte abierto examinado. Un perfil detallado de suelos deberá desarrollarse únicamente donde la relación continua entre profundidades y afloramientos de los diferentes tipos de suelo y roca, sea económicamente justificable para el proyecto en cuestión.

Puede complementarse esta fase de la investigación mediante registros gráficos de suelo y de roca, observados en paredes de excavaciones o de áreas de cortes, o mediante registros gráficos de perforaciones de ensayo, o de ambos, e interpolando luego entre estos registros mediante el empleo de relaciones geológicas y de ingeniería con otros datos de suelos y rocas pertinentes al área. La separación en esta clase de investigaciones dependerá de la complejidad geológica del área, y de la importancia de la continuidad del suelo y de la roca con respecto al diseño. Las perforaciones, deberán ser de suficiente profundidad para revelar los datos de ingeniería requeridos que permitan el análisis de los renglones enunciados en “significado” para cada proyecto. Se debe tener en cuenta la información correspondiente a los sondeos se puede determinar de la siguiente manera:

Perfil: información puntual de un sondeo o perforación.

Sección: información extrapolada entre dos o más sondeos o perforaciones.

Corte: información real o específica – no extrapolada – en una sección.

Pueden emplearse métodos geofísicos de exploración para complementar los datos de las perforaciones y afloramientos, y para interpolar entre los mismos. Los métodos sísmicos y de re-

sistividad eléctrica pueden resultar particularmente valiosos, cuando se presentan diferencias bien definidas en las propiedades de materiales subsuperficiales contiguos.

El método de refracción sísmica es especialmente útil para determinar la profundidad a la cual se halla la roca o en sitios donde se encuentren estratos cuya densidad aumenta con la profundidad.

El método de resistividad eléctrica es igualmente útil para determinar la profundidad de la roca, evaluando formaciones estratificadas donde un estrato más denso descansa sobre uno menos denso, y en la investigación de canteras de arena-grava o de otros materiales de préstamo.

Las investigaciones geofísicas pueden ser una guía útil para programar los sitios de las calicatas y de perforaciones.

La profundidad de las calicatas o perforaciones para carreteras, aeropuertos, o áreas de estacionamiento, deberá ser al menos de 1,5 m por debajo del nivel proyectado para la sub-rasante, pero circunstancias especiales pueden aumentar esa profundidad. Los sondeos para estructuras o terraplenes deberán llevarse por debajo del nivel de influencia de la carga propuesta, determinado mediante un análisis subsuperficial de transmisión de esfuerzos.

Donde el drenaje pueda ser afectado por materiales permeables, acuíferos o materiales impermeables que lo puedan obstaculizar, las perforaciones deberán prolongarse suficientemente dentro de estos materiales para determinar las propiedades geológicas y de ingeniería, relevantes con el diseño del proyecto.

En todas las zonas de préstamo, las perforaciones deberán ser suficientes en número y profundidad, para permitir un cálculo confiable de las cantidades requeridas de material.

Los registros de perforaciones para cada proyecto se efectuarán de manera sistemática y deberán incluir:

- a) Descripción de cada sitio o área investigada, con cada pozo, sondeo o calicata localizada claramente (horizontal y verticalmente) con referencia a algún sistema establecido de coordenadas o a algún sitio permanente.
- b) Perfil o columna estratigráfica de cada pozo, sondeo o calicata, o de una superficie de corte expuesta, en la cual se muestre claramente la descripción de campo y localización de cada material encontrado, mediante símbolos o palabras.
- c) Las fotografías en colores de testigos de roca, muestras de suelos, y estratos expuestos, pueden ser de gran utilidad para el Ingeniero. Cada fotografía deberá identificarse con fecha y un número o símbolo específico.
- d) La identificación de los suelos deberá basarse en los métodos para la clasificación de los suelos y de los suelos-agregados para construcción de carreteras, en el método sobre descripción mediante procedimientos manuales y visuales, o en la de identificación de rocas **ASTM C 294**.
- e) Las zonas acuíferas, drenaje subterráneo y profundidad del nivel freático hallado en cada perforación, calicata o barreno.
- f) Los resultados de ensayos en sitio (in-situ), donde se requieran, como los de penetración o los de veleta a que se hace referencia en "Muestreo" de "Perfil Sub-superficial" u otros ensayos in-situ para determinar propiedades de suelos o rocas.
- g) Porcentaje de recuperación del testigo extraído mediante la perforación con brocas de diamante y, cuando sea necesaria, estimación de la Designación Cualitativa de la Roca (RQD).

6.1.1.3.6. PERFIL SUBSUPERFICIAL

Los perfiles del subsuelo se deben dibujar únicamente con base en perforaciones reales de ensayo, calicatas o datos de los cortes. La interpolación entre dichos sitios deberá hacerse con extremo cuidado y con la ayuda de toda la información geológica disponible, anotando claramente, que tal interpolación o continuidad asumida de estratos, es meramente tentativa. En ningún caso, deberán hacerse extrapolaciones.

Muestreo

Obténganse muestras representativas de suelo o de roca, o de ambos, de cada material que sea de importancia para el diseño y la construcción. El tamaño y tipo de la muestra requerida depende de los ensayos que se vayan a efectuar y del porcentaje de partículas gruesas en la muestra.

Nota 1: *El tamaño de las muestras alteradas, en bruto, puede variar a discreción de la Supervisión, pero se sugieren, para algunos propósitos, las siguientes cantidades, para la mayoría de los materiales.*

Clasificación visual: 0,028 a 0,45 kg.

Análisis granulométrico y constantes del suelo-agregado: 0,45 a 2,3 kg.

Ensayo de compactación y granulometría de suelos: 9 a 18 kg.

Producción de áridos o ensayo de propiedades: 45 a 90 kg.

Identifíquese cuidadosamente cada muestra con la respectiva, perforación o calicata y con la profundidad a la cual fue tomada. Colóquese una identificación dentro del recipiente o bolsa, ciérrase en forma segura, protéjase del manejo rudo y márquese exteriormente con una identificación apropiada. Guárdense muestras para la determinación de la humedad natural en recipientes sellados para evitar pérdidas de la misma.

Cuando el secado de muestras puede afectar la clasificación y los resultados de los ensayos, protéjanse para minimizar la pérdida de humedad.

Deberán tomarse muestras de suelo y agua para determinar la acidez, el pH y el contenido de compuestos metálicos del material, cuando pueda esperarse que causen un cambio inaceptable en su medio ambiente. El tamaño de la muestra no deberá ser menor de 2,3 kg.

6.1.1.3.7. PROCEDIMIENTO

1. Los procedimientos recomendados para el muestreo en el sitio, la identificación y los ensayos son los siguientes:

a) Calicatas y trincheras: Excavaciones a cielo abierto, hasta la profundidad deseada, tomando las precauciones necesarias para evitar el desprendimiento de material de las paredes que pueda afectar la seguridad del trabajador o contaminar la muestra que se espera obtener.

b) Investigación y Muestreo del Suelo mediante Barrenos. Este método se refiere al empleo de barrenos distintos al de vástago hueco, para la investigación de suelos y muestreo, donde se puedan utilizar muestras alteradas. El procedimiento es útil para la determinación del nivel freático. La profundidad con esta clase de barreno está limitada por las condiciones agua-suelo, las características del suelo y el equipo empleado.

c) Método de Penetración y Muestreo de Suelos con el Tubo Partido. Describe un procedimiento para obtener muestras y medir la resistencia del suelo a la penetración de un muestreador normalizado.

d) Método de penetración cónica estática (CPT), Norma ASTM D 3441.

e) Método para Muestreo de Suelos con Tubo de Pared Delgada. Describe un procedimiento para recobrar muestras de suelo relativamente inalteradas, adecuadas para ensayos de laboratorio.

f) Método para la Perforación con Broca de Diamante para investigaciones del Sitio. Cubre un procedimiento para recuperar muestras intactas de roca y de ciertos suelos demasiado duros.

g) Método de corte con Veleta en Suelo Cohesivo. Para medir in-situ la resistencia al corte de suelos cohesivos blandos, mediante la rotación de una veleta de cuatro hojas en un plano horizontal.

h) Investigación y Muestreo de Suelos con Barreno de Vástago Hueco. Este método, describe procedimientos que utilizan un barreno especialmente diseñado para facilitar el muestreo en el sitio.

2. La investigación del suelo y la roca comprenderá las etapas siguientes:

a) Revisión de cualquier información disponible sobre la historia geológica y la formación de la roca o del suelo, o de ambas, sobre las condiciones del nivel freático en el sitio y en la vecindad inmediata.

b) Determinación de las profundidades del nivel freático y del material de fundación firme, bien, sea roca o suelos de adecuada capacidad de soporte.

c) Investigación en el sitio de los materiales superficiales y del subsuelo mediante perforaciones de percusión y lavado, rotación, barrenos manuales o mecánicos de espiral, calicatas y métodos geofísicos.

d) Identificación del suelo y de los tipos de roca en el terreno con registros de la profundidad a la cual se presentan y de la localización de sus discontinuidades estructurales.

e) La recuperación de muestras representativas alteradas para ensayos de clasificación del suelo o de la roca, y de los materiales locales de construcción. Estas deberán complementarse con especímenes adecuados para la determinación de las propiedades requeridas pertinentes a la investigación.

f) Una evaluación del comportamiento de instalaciones existentes en la vecindad inmediata del sitio propuesto, con respecto al material de fundación y el medio ambiente.

g) Instrumentación en el sitio para medir movimientos por medio de inclinómetro, placa de asentamiento, etc.

Clasificación del material

Las muestras para ensayos de suelos y de rocas deberán enviarse al laboratorio para los siguientes métodos de identificación y clasificación.

a) Clasificación de Suelos y de Mezclas de Suelo Agregado para la Construcción de Carreteras.

b) Clasificación de Suelos para fines de ingeniería.

c) Nomenclatura Descriptiva. Esta es una breve y útil descripción de las rocas y minerales más comunes, tal como se encuentran en la naturaleza (ASTM C 294).

Interpretación de los resultados

Interprétense los resultados de una investigación, únicamente en términos de lo encontrado realmente y realícense esfuerzos para recoger e incluir todos los datos de investigaciones anteriores, en la misma área. La extrapolación de datos en áreas locales no investigadas, puede hacerse de manera tentativa, únicamente cuando se conozca que existe geológicamente una disposición subsuperficial uniforme del suelo y de la roca. Las propiedades ingenieriles de los suelos y rocas de proyectos importantes, no deberán predecirse solamente con base en la simple identificación o clasificación en el terreno, sino que deberán comprobarse mediante ensayos de laboratorio y de terreno.

Las recomendaciones de parámetros de diseño deben ser formuladas únicamente por ingenieros o geólogos, especializados en suelos y fundaciones o por ingenieros de carreteras familiarizados con los problemas comunes en dichas áreas. Los conceptos de Mecánica de Suelos y de Rocas, y de geomorfología, deben combinarse con un conocimiento de la ingeniería estructural o del pavimento, para lograr una aplicación cabal de los resultados de la exploración de suelos y rocas. Un estudio más detallado que el descrito, puede ser necesario antes de que puedan efectuarse recomendaciones para el diseño.

6.1.1.3.8. INFORME

El informe de investigación subsuperficial deberá incluir:

a) Localización del área investigada en términos pertinentes al proyecto. Esto puede incluir esquemas o fotografías aéreas en las cuales se localizan las perforaciones y zonas de muestreo, así como detalles topográficos para la determinación de los diferentes suelos y rocas, tales como, contornos, lechos de corrientes, depresiones, acantilados, etc. En cuando sea posible, inclúyase en el informe un mapa geológico, perfiles, secciones y otros del área investigada.

b) Inclúyanse también copias de los registros de perforaciones y, calicatas de ensayo y resultados de los ensayos de laboratorio.

CAPITULO 6.1.2.

NORMAS Y PROCEDIMIENTOS EN LA PREPARACIÓN, TOMA Y TRANSPORTE DE MUESTRAS

SECCION 6.1.2.1. | CONSERVACIÓN Y TRANSPORTE DE MUESTRAS DE SUELOS (ASTM D4220)

6.1.2.1.1. OBJETIVO

Este método establece métodos para la conservación de las muestras inmediatamente después de obtenidas en el terreno, así como para su transporte y manejo.

Puede implicar, igualmente, el manejo y transporte de muestras de suelos contaminadas con materiales que ofrecen riesgo y de muestras que pueden estar sometidas a cuarentena.

6.1.2.1.2. USO Y SIGNIFICADO

El empleo de los diferentes métodos descritos en este método, depende del tipo de muestras obtenidas, del tipo de ensayo y de las propiedades de ingeniería requeridas, de la fragilidad y sensibilidad del suelo, y de las condiciones climáticas. En todos los casos, el objeto primordial es el de preservar las condiciones propias de cada muestra.

Los métodos aquí descritos fueron inicialmente desarrollados para muestras de suelo que han de ensayarse para obtener las propiedades de ingeniería; sin embargo, ellos también pueden aplicarse a muestras de suelo o de otros materiales, para otros fines.

Los tipos de materiales y de recipientes requeridos, dependen de las condiciones y requerimientos enunciados para los grupos A a D y también del clima, del medio de transporte y de la distancia.

6.1.2.1.3. EQUIPOS Y MATERIALES

- a) Parafina para sellado, puede ser: parafina, cera microcristalina, cera de abejas, o una combinación de las mismas.
- b) Discos de metal, de alrededor de 2 mm (1/16") de espesor y con un diámetro ligeramente menor que el diámetro interno del tubo, saca muestra o anillo, y para utilizarlos conjuntamente con parafina, tapas y cinta, o ambos.
- c) Discos de madera, encerados previamente, de 25 mm (1") de espesor y con un diámetro ligeramente menor que el diámetro interior del saca muestra o el del tubo.
- d) Cinta, ya sea plástica a prueba de agua, adhesiva de fricción, o de pegar tubos.
- e) Estopa de algodón, para emplear con parafina en capas alternadas
- f) Tapas, ya sean plásticas, de caucho o de metal, para colocar en los extremos de los tubos de pared delgada, saca muestra con anillos, junto con cinta o parafina
- g) Empacadores, empleados para sellar los extremos de la muestra, dentro de los tubos de pared delgada.

Nota 1: *Se prefieren empaques de plástico dilatables. Los empaques dilatables metálicos sellan igualmente bien; sin embargo, en almacenamientos a largo plazo, pueden causar problemas de corrosión.*

h) Frascos, de boca ancha, con tapa y anillo de caucho o tapa con un papel sellante, y de un tamaño adecuado para recibir confortablemente la muestra, comúnmente de 250 ml, 500 ml, y 1.000 ml.

i) Bolsas, ya sean plásticas, de fique, fibra, lona, etc.

j) Empaque. Material para proteger contra vibraciones y choques.

k) Aislamiento, ya sea polietileno expandido, burbujas plásticas o del tipo de espuma, que resista cambios de temperatura perjudiciales para el suelo.

l) Cajas, para el transporte de muestras de bloque cúbico y elaboradas con tablas de 13 a 19 mm ($\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$ ") de espesor.

m) Cajas cilíndricas, un poco más largas que los tubos de pared delgada.

n) Cajas para transporte, de construcción apropiada para protección contra choques y vibraciones.

Nota 2: *Deben observarse las limitaciones de longitud, embalaje y peso para el transporte comercial.*

o) Material para la identificación. Incluye los elementos necesarios, tales como rótulos y marcadores para identificar adecuadamente la (s) muestra (s).

6.1.2.1.4. PRECAUCIONES

La preservación y el transporte de muestras de suelos pueden implicar el contacto con materiales, equipos, u operación, que conllevan algún riesgo. Es de responsabilidad de quien utilice este método, consultar y establecer medidas de seguridad y sanidad apropiadas y determinar la posibilidad de aplicar limitaciones reglamentarias antes de su empleo.

Instrucciones especiales, descripciones, y marcas en las cajas, deben incluirse en cualquier muestra que pueda contener materiales radioactivos, tóxicos o contaminantes.

6.1.2.1.5. PROCEDIMIENTO

1. Para todas las muestras. Identifíquense apropiadamente las muestras con membretes, rótulos y marcas, antes de transportarlos, en la siguiente forma:

- a) Nombre o número de la obra, o ambos.
- b) Fecha del muestreo.
- c) Muestra/número y localización de la perforación.
- d) Profundidad o elevación, o ambas.
- e) Orientación de la muestra.

f) Instrucciones para transporte especial o manejo en el Laboratorio, o ambas, incluyendo la forma como debe quedar colocada la muestra.

g) Datos del ensayo de penetración si son aplicables.

2. Transpórtense muestras en cualquier clase de caja mediante cualquier medio de transporte disponible. Si se transportan comercialmente, el recipiente sólo necesita cumplir con las exigencias mínimas de la agencia transportadora y con los restantes requisitos para asegurarse contra la pérdida de la muestra.

Grupo A

3. Estas muestras deberán conservarse y transportarse en recipientes o empaques sellados a prueba de humedad, todos los cuales deberán ser de espesor y resistencia suficientes para evitar su rotura.

Los recipientes o empaques pueden ser bolsas plásticas, frascos de vidrio o de plástico (suponiendo que sean a prueba de agua), tubos de pared delgada, y anillos. Las muestras cúbicas y cilíndricas pueden envolverse en membranas plásticas adecuadas, en papel de aluminio, o ambas (**Véase Nota 3**) y cubrirse con varias capas de parafina, o sellarse con varias capas de estopa y parafina.

4. Estas muestras pueden enviarse mediante cualquier medio disponible de transporte. Pueden remitirse como fueron preparadas o colocarse en recipientes más grandes, como costales, cajas de cartón o de madera, o canecas.

Nota 3: *Algunos suelos pueden perforar el papel de aluminio, debido a corrosión. En tales casos, evítese entonces el contacto directo.*

5. Bolsas plásticas. Las bolsas plásticas deberán colocarse tan ajustadamente como sea posible alrededor de la muestra, expulsando todo el aire posible. El plástico deberá ser de 0,076 mm (0.003") o más grueso para evitar escapes.

6. Frascos de vidrio o de plástico. Si las tapas de los frascos no están selladas con anillos de caucho o con papel parafinado, las tapas deberán sellarse con parafina o con cinta aislante.

7. Tubos de pared delgada:

a) Empaques ensanchables. El método preferido para sellar los extremos de las muestras dentro de los tubos es con empaques plásticos que pueden dilatarse.

b) Discos parafinados. Para un sellamiento a corto plazo, la parafina es aceptable; a largo plazo (más de 3 días), deben emplearse ceras microcristalinas o combinadas con 15% de cera de abejas o resinas para una mejor adherencia a la pared del tubo y para reducir la contracción. Varias capas delgadas de parafina son mejores que a una capa gruesa. El espesor final deberá ser de 10 mm (0.4").

c) Tapas de los extremos. Las tapas en los extremos de metal, caucho o de plástico, deberán sellarse con cinta. Para almacenamiento a largo plazo (más de 3 días), deberán también parafinarse, aplicando dos o más capas.

d) Estopa de algodón y parafina. Capas alternadas (un mínimo de dos de cada una) de estopa y parafina, pueden emplearse para sellar cada extremo del tubo y para estabilizar la muestra.

Nota 4: *Cuando sea necesario, deberán colocarse separadores o material adecuado de empaque, o ambos, antes de sellar los extremos del tubo, para proporcionar el confinamiento debido.*

8. Alineadores o camisas delgadas de anillos: Véanse los literales c) y d) anteriores.
9. Muestras expuestas.

Grupo B

10. Las muestras cilíndricas, cúbicas u otras muestras envueltas en plástico, como polietileno y polipropileno u hojas delgadas de papel de estaño o aluminio, etc., deberán protegerse posteriormente con un mínimo de tres capas de parafina.
11. Las muestras cilíndricas y cubos envueltos en estopa y parafina, deberán sellarse con un mínimo de tres capas de cada una, colocadas alternadamente.
12. Las muestras en cajas de cartón deben empacarse en tal forma, que la parafina pueda vaciarse completamente alrededor de la muestra. Generalmente, deberán envolverse las muestras en plástico o en papel de estaño o de aluminio, antes de parafinarse.

Grupo C

13. Estas muestras deben preservarse y sellarse en empaques como se indica en el aparte "Grupo B". Adicionalmente, deberán protegerse contra choques, vibraciones y extremo calor o frío.
14. Las muestras transportadas por el personal del muestreo o del Laboratorio, o en la cabina de un vehículo automotor, necesitan colocarse solamente en cajas de cartón o en empaques similares, dentro de los cuales las muestras selladas encajen ajustadamente, evitando golpes, volcamientos, caídas, etc.
15. Para los demás métodos de transporte de muestras, incluyendo buses, encomiendas, camiones, barco, avión, etc., será necesario colocar las muestras selladas en cajas de madera, de metal, o de otro tipo adecuado, que proporcionen amortiguación o aislamiento.
16. El material de amortiguación (aserrín, caucho, polietileno, espuma de uretano, o material de resiliencia similar) deberá empacar completamente cada muestra. La amortiguación entre las muestras y las paredes de las cajas deberán tener un espesor mínimo de 25 mm (1"). Un espesor mínimo de 50 mm (2") deberá proporcionarse sobre el piso de la caja.
17. Cuando sea necesario, las muestras deberán remitirse en la misma posición como fueron tomadas. Por otra parte, pueden proporcionarse condiciones especiales, tales como, drenaje controlado o confinamiento suficiente del suelo, o una combinación de éstas.

Grupo D

18. Deberán cumplir los requerimientos del grupo C más los siguientes:
19. Las muestras deberán manejarse manteniendo la misma orientación con que fueron muestreadas, inclusive durante el transporte, mediante marcas adecuadas sobre la caja de embarque.
20. Para todos los medios de transporte privado o comercial, el cargue, transporte y descargue de las cajas, deberán supervisarse en cuanto sea posible por una persona calificada. (Ingeniero de suelos, inspector, laboratorista o persona designada por el director de proyecto).

Cajas para empaque

Las siguientes características deben incluirse en el diseño de la caja de empaque para los grupos C y D.

- a) Debe poderse volver a usar.
- b) Debe construirse en tal forma que la muestra pueda conservarse en todo momento, en la misma posición que cuando se hizo el muestreo.
- c) Deberá incluirse suficiente material de empaque para amortiguar y/o aislar los tubos de los efectos adversos de vibración y choque.
- d) Deberá incluirse suficiente material aislante para evitar excesivos cambios de temperatura.
- e) Cajas de madera. Es preferible la madera al metal.- Puede emplearse lámina exterior que tenga un espesor de 13 a 19 mm ($\frac{1}{2}$ " a $\frac{3}{4}$ "). La tapa deberá ir abisagrada y cerrada con aldaba, y asegurada con tornillos.
- f) Los requerimientos de amortiguación se dan en el aparte "Grupo C".
- g) Para protección contra variaciones excesivas de temperatura, toda la caja deberá forrarse con un aislamiento de espesor mínimo de 50 mm (2").

Cajas metálicas para despacho: Las cajas metálicas para despachos deberán tener incorporado material de amortiguación y aislante. Alternativamente, el efecto de amortiguación podrá lograrse con un sistema de suspensión de resorte o mediante cualquier otro medio que proporcione protección similar.

Otros Recipientes: Pueden emplearse también cajas construidas con material de fibra de plástico o cartón reforzado.

6.1.2.1.6. INFORME

Los datos obtenidos en el campo deberán registrarse e incluirán lo siguiente:

- a) Nombre o número de la obra, o ambos.
- b) Fecha (s) del muestreo.
- c) Muestra/número (s) del sondeo y sitio (s).
- d) Profundidad (es) o elevación (es), o ambos.
- e) Orientación de la muestra.
- f) Posición del nivel freático, si lo hubiera.
- g) Método de muestreo y datos del ensayo de penetración, si fueren aplicables.
- h) Dimensiones de la muestra.
- i) Descripción del suelo (basado en la identificación visual de los Suelos).
- j) Nombres del Inspector/cuadrilla, Ingeniero de suelos, Jefe del Proyecto, etc.
- k) Condiciones Climáticas.
- l) Observaciones Generales.

6.1.2.1.7. PRECISIÓN

Este método únicamente proporciona información general y cualitativa, por lo cual no es aplicable una proposición general de precisión.

SECCION 6.1.2.2. | PROCEDIMIENTOS PARA LA PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE SUELOS POR CUARTEO (AASHTO T248)

6.1.2.2.1. OBJETO

Mediante estos procedimientos, se pueden dividir las muestras de suelos obtenidas en el campo, para obtener porciones que sean representativas y que tengan los tamaños adecuados para los diferentes ensayos que se necesite desarrollar.

Hay procedimientos manuales y mecánicos; de acuerdo con el tamaño de la muestra de campo y el de la muestra requerida, se pueden aplicar los métodos que se describen más adelante.

6.1.2.2.2. EQUIPOS

Cuarteador metálico para separación mecánica. Tendrá un número par de ductos de ancho igual, que no será menor de ocho (8) para suelos con partículas gruesas, o de doce (12) para suelos finos, los cuales descargan alternadamente a cada lado del muestrador. El ancho mínimo de cada ducto será aproximadamente cincuenta por ciento (50 %) mayor que la partícula más grande de la muestra que se va a cuartear.

Estos se consiguen comúnmente con tamaños adecuados para partículas menores de 37,5 mm (1½"). Para materiales finos, el cuarteador debe tener ductos de 13 mm (½") de ancho para muestras con tamaño máximo de 9,5 mm (3/8").

El cuarteador está dotado de dos (2) recipientes, colocados uno a cada lado, para recibir las dos mitades de las muestras que pasan a través de él. También estará equipado con una tolva o recipiente de bordes rectos, el cual debe tener un ancho igual o ligeramente menor que el ancho total del conjunto de ductos, por el cual la muestra cae a una velocidad controlada hacia los ductos, sin restricciones o pérdidas de material.

Rectángulo de lona, hule o tela plástica de 2,0 m x 2,5 m.

Palas, cucharones, palustres y cucharas de diverso tamaño y forma.

Escobas y cepillos.

Regla enrasadora.



Figura 6.1_1. Equipos y Materiales Requeridos para el Ensayo

6.1.2.2.3. SELECCIÓN DEL MÉTODO

Dentro de los procedimientos para la preparación de muestras por cuarteo, se aplican los siguientes métodos:

Método A

Cuarteo manual sobre muestras que pesan más de 10 kg, que se encuentran relativamente secas.

Método B

Cuarteo manual sobre muestras que pesan menos de 10 kg.

Método C

Utilizando los cuarteadores mecánicos cuando se trata de muestras que están más secas que a condición de “saturadas superficialmente secas”; o muestras de áridos que previamente al cuarteo se secan a temperaturas inferiores a las establecidas para los ensayos a que se someterán.

6.1.2.2.4. PROCEDIMIENTO

Método A

Cuarteo manual de muestras de gran tamaño.

1. Cuarteo de muestras que pesan más de 50 Kg.:

Se coloca la muestra traída del campo, sobre una superficie dura, limpia y nivelada, donde no se pierda, ni se le adicione material.



Colocación de la Muestra



Mezclado del Material

Se mezcla el material completamente, volteándolo con pala, unas tres veces; después de la última mezcla se va conformando una pila cónica, colocando cada palada en el centro, de modo que el suelo rueda hacia la base por todas las direcciones.

Cuando no se disponga de una superficie nivelada y limpia, la muestra se coloca sobre un rectángulo de lona, hule o tela plástica.

A continuación, se aplanar la pila en forma cuidadosa hasta tener un espesor uniforme y un diámetro definido, de forma tal, que cada cuarto de círculo contenga material con todos los tamaños originales de la muestra.

El diámetro de la pila aplanada, debe ser aproximadamente entre 6 u 8 veces el espesor de la capa material.



Formación de una Pila en forma de Cono



Muestra Aplanada

Se divide la muestra aplanada en cuatro (4) partes iguales, utilizando una regla o tubo y se retiran dos partes diagonalmente opuestas, incluyendo el material más fino, usando una escoba o cepillo, si es necesario.



Separación de la Muestra con Regla



Separación de la Muestra en 4 partes

El material, que queda se vuelve a mezclar tomando paladas alternativamente de cada una de las dos cuartas partes que quedaron. Se repite el proceso de cuarteo hasta que la muestra quede reducida al tamaño deseado.



Separación en 2 Porciones Opuestas



Muestra Cuarteada

2. Cuarteo de muestras que pesan entre 10 Kg. y 50 Kg.: Se deposita la muestra sobre la lona y se mezcla elevando alternativamente las esquinas de ésta, tirando hacia la muestra como si se tratara de doblar la lona diagonalmente. Se aplana y continúa el proceso como en el caso anterior.

Método B

3. Cuarteo manual de muestras que pesan menos de 10 kg.

Se coloca la muestra traída del campo sobre una superficie dura no absorbente, limpia y nivelada; se mezcla totalmente y se forma una pila cónica miniatura, con ayuda de un palustre o cucharón. Se aplana el cono apretándolo con el palustre.



Mezclado del Material

Formación de una Pila Cónica

Aplanado del Material

Una vez se logre un espesor uniforme y una figura regular, se cuarteo el material cortándolo por diámetros normales entre sí para tener cuatro porciones iguales, de las cuales se descartan dos diagonalmente opuestas. Se repite el proceso hasta obtener la muestra del tamaño deseado.



Separación de la Muestra en 4 Partes

Selección de 2 Porciones Opuestas

Método C

4. Cuarteo Mecánico

Se utiliza para cuartear suelos finos y gruesos y áridos finos y gruesos.

La muestra que llega del campo una vez se encuentre a las condiciones de humedad adecuadas, se coloca en una bandeja plana o en la tolva del cuarteador distribuida uniformemente de extremo a extremo, de forma que el material cuando pase por los ductos caiga aproximadamente en igual cantidad por cada uno.



Colocación de la Muestra



Muestra Agregada al Cuarteador



Distribución Uniforme de la Muestra

La rata a la cual se descarga el material debe ser tal, que permita el flujo libre a través de los ductos sin obstrucciones hasta los recipientes.



Descarga del Material

El material de un recipiente, nuevamente se descarga a través del cuarteador y se reserva el del otro para obtener muestras para otros ensayos. Repítase el proceso tantas veces como sea necesario para obtener la muestra del tamaño deseado.



Porciones de Muestra Obtenida



Repetición del Proceso



Muestra Cuarteada

SECCION 6.1.2.3. | OBTENCIÓN DE MUESTRAS PARA PROBETAS DE ENSAYO MEDIANTE TURBOS DE PARED DELGADA (ASTM D1587 AASHTO T207)

6.1.2.3.1. OBJETO

Este método establece la forma de obtención de muestras relativamente inalteradas de suelos para probetas de ensayo, en el cual se emplea un tubo metálico de pared delgada.

Existen en general dos (2) tipos de sacamuestras que usan tubos de pared delgada: de tubo abierto y de pistón. Los muestreadores de pistón son mejores y pueden ser usados en casi todos los suelos. El método descrito se aplica igualmente a ambos, ya que los requisitos de los tubos de pared delgada son los mismos para los tipos de probetas obtenidas por los dos métodos.

6.1.2.3.2. EQUIPOS

A. EQUIPO DE PERFORACIÓN

Puede emplearse cualquier equipo de perforación que proporcione un orificio limpio antes de la inserción del tubo de pared delgada cuidando de que no perturbe al suelo muestreado y de que pueda efectuarse una penetración continua y rápida.

B. TUBOS DE PARED DELGADA

Los tubos de pared delgada de 50,8 a 127 mm (2" a 5") de diámetro exterior deben ser elaborados de un material que tenga una resistencia mecánica adecuada y características anti-corrosivas satisfactorias (**Figura 6.1_ 2**). Para obtener la debida resistencia a la corrosión, los tubos pueden llevar un recubrimiento adecuado. Si se especifica, pueden emplearse tubos de tamaños diferentes.

Los tubos serán de una longitud entre 5 y 10 veces el diámetro para penetración en arenas y entre 10 y 15 veces el diámetro para penetración en arcillas. Los tubos serán cilíndricos y suaves sin filos ni ralladuras y estarán limpios y libres de oxidación y polvo. Se permiten tubos sin costura o soldados, pero en este último caso las soldaduras no se deben proyectar en la costura.

El borde cortante será maquinado como se muestra en la **Figura 6.1_ 2** y estará libre de muescas. La relación de la luz interior estará entre 0,5 y 3%. Las dimensiones adecuadas de los tubos de muestreo de pared delgada están indicadas en la **Tabla 6.1_ 3**.

La cabeza de acople deberá estar provista de dos agujeros con diámetro mínimo de 9,52 mm (3/8") para el montaje. Deberá proporcionarse un área de ventilación mínima de 3,9 cm² (0,6 pulg.) por encima de la válvula de retención (cheque).

C. PARAFINA SELLANTE

La parafina sellante que se vaya a emplear no deberá tener una contracción apreciable, ni permitir la evaporación de las muestras; se preferirán las parafinas microcristalinas. Antes del sellado con parafina y para proporcionar un mejor cierre de ambos extremos del tubo, se recomienda usar discos delgados de acero o de cobre amarillo que tengan un diámetro ligeramente menor que el interior del tubo. Se requiere, además, estopilla de algodón y cinta impermeabilizada o parafinado.

D. EQUIPO Y ACCESORIOS

Rótulos, hojas de datos, contenedores de embarque y otros elementos menores necesarios.

6.1.2.3.3. PROCEDIMIENTO

Hasta la profundidad del muestreo, el orificio se debe limpiar usando el método preferido que asegure que no se perturba el material que se vaya a muestrear. En arenas saturadas y limos, se deberá sacar lentamente la punta, broca o corona del taladro en uso para prevenir que el suelo se afloje alrededor del orificio. Se deberá mantener el nivel de agua en el orificio a un nivel mayor o igual que el nivel de aguas freáticas (NAF).

No se permitirá el uso de puntas, brocas o coronas con descarga de fondo, pero podrán emplearse con orificios de descarga lateral. Para la limpieza de la perforación, no está permitida la utilización de chorro a través de un muestreador de tubo abierto.

Con el tubo de muestreo apoyado sobre el fondo de la perforación y con el nivel del agua a la misma altura o por encima del NAF (Nivel de aguas freáticas), se penetra el tubo en el suelo mediante un movimiento continuo y rápido sin impacto ni torsión. En ningún caso, el tubo será empujado más allá de la longitud prevista para la muestra del suelo. Es necesario dejar un margen de aproximadamente 75 mm (3") de longitud de muestra para recortes y desperdicios.

Cuando los suelos sean tan duros que el empuje no haga penetrar el muestreador suficientemente para una adecuada recuperación, y cuando la recuperación mediante empuje en arenas sea pobre, se puede usar un martillo para hincar el muestreador. En tal caso, debe anotarse el peso, la altura y el número de golpes. Antes de halar el tubo, es necesario girarlo al menos dos (2) revoluciones para cortar la muestra en el fondo.

Los procedimientos de muestreo se deben repetir en intervalos no mayores de 1,5 m (60") en estratos homogéneos y en cada cambio de estrato.

6.1.2.3.4. PREPARACIÓN PARA EMBARQUE

Después que se haya extraído el muestreador, se debe medir y anotar la longitud de la muestra dentro del tubo y la longitud penetrada.

A continuación, deberá removerse el material perturbado en el extremo superior del tubo antes de aplicar la parafina y se medirá la longitud de la muestra nuevamente luego de remover al menos 25 mm (1") de suelo de su extremo inferior. Después de insertar sendos discos impermeabilizantes, se sellarán ambos extremos del tubo con parafina aplicada, en forma tal que se evite su penetración en la muestra.

Cuando los tubos se vayan a transportar, se protegerán los extremos para prevenir el rompimiento de los sellos. Es aconsejable colocar estopilla de algodón alrededor de los extremos después del sellado y sumergirlos varias veces en la parafina fundida.

Deberán adherirse rótulos a los tubos con la identificación del trabajo, la localización de la perforación, el diámetro y el número de muestra, la profundidad, la penetración y la longitud recuperada. Deberá hacerse, igualmente, una descripción cuidadosa del suelo, anotando su composición, estructura, consistencia, color y grado de humedad. Se deberán rotular por duplicado los números del tubo y del sondeo.

Los tubos siempre se deberán almacenar a la sombra en un lugar fresco. Las muestras para embarque deben empacarse adecuadamente para reducir el efecto de choques, vibraciones y alteraciones.

Usando suelo removido de los extremos del tubo se debe hacer una descripción cuidadosa dando la composición, condición, color y, si fuere posible, su estructura y consistencia.

6.1.2.3.5. INFORME

Los datos obtenidos en los sondeos deberán registrarse en el campo e incluirán lo siguiente:

- a) Nombre y localización de la obra.
- b) Fechas del comienzo y terminación del sondeo.
- c) Número y coordenadas del sondeo, si se dispone de ellas.
- d) Elevación (cota) de la superficie, si se dispone de ella.
- e) Número y profundidad de la muestra.
- f) Método de avance del muestreador, longitudes de penetración y de recuperación.
- g) Tipo y tamaño del muestreador.
- h) Descripción del suelo.
- i) Espesor de la capa o estrato de suelo.
- j) Profundidad del nivel de aguas freáticas (NAF); de pérdida de agua; de cabeza artesiana; y la hora en que fue hecha la lectura.
- k) Tipo y marca del equipo de perforación.
- l) Tamaño del revestimiento, profundidad de la perforación.
- m) Nombres del personal (Ingeniero, inspector, operario y ayudantes).
- n) Informe de tiempo y labores.

Tabla 6.1_3. TUBOS DE ACERO DE PARED DELGADA PARA MUESTRAS DE TAMAÑOS APROPIADOS.

Diámetro exterior			
mm	50,8	76,2	127
pulg.	2	3	5
Espesor de pared			
Bwg	18	16	11
mm	1,24	1,65	3,05
pulg.	0,0049	0,065	0,120
Longitud del tubo			
m	0,91	0,91	0,91

pulg.	36	36	36
Espacio libre			
Porcentaje	1%	1%	1%

Los 3 (tres) diámetros que aparecen en la **Tabla 6.1_3**, son indicados con propósitos de normalización y no significan que los tubos de muestreo de diámetro intermedio o mayores no sean aceptables. Las longitudes mostradas para los tubos son ilustrativas. Las longitudes convenientes deberán determinarse de manera que se ajusten a las condiciones del campo.

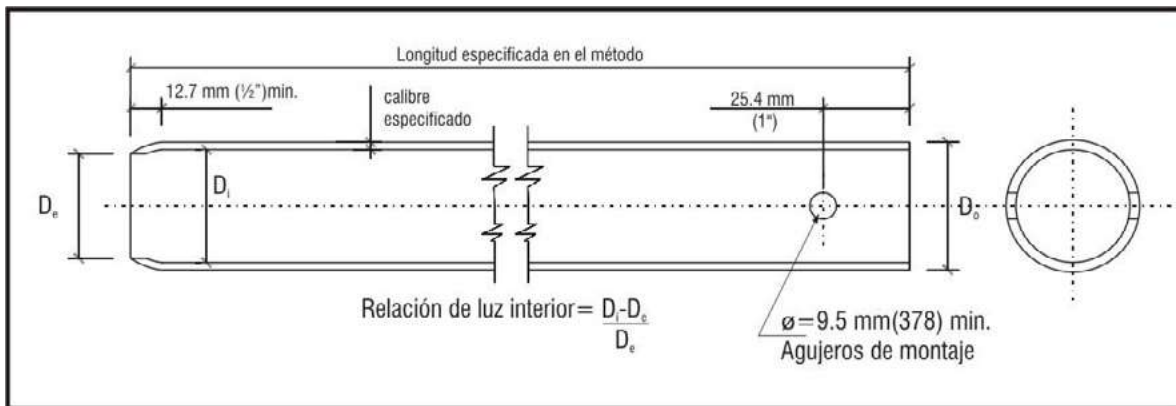


Figura 6.1_2. TUBO DE PARED DELGADA

SECCION 6.1.2.4. PREPARACIÓN EN SECO DE MUESTRAS DE SUELO PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y DETERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES FÍSICAS (ASTM D421; ASTM D2217; AASHTO T87)

6.1.2.4.1. OBJETO

Este método se refiere a la preparación en seco de las muestras de suelos, tal como se reciben del terreno para el análisis granulométrico y para la determinación de las constantes del suelo, cuando se necesite conocer estas características de muestras secadas al aire, o cuando se sabe que el sistema de secado no influye sobre los resultados.

6.1.2.4.2. EQUIPOS Y MATERIALES

1. Balanza con precisión de 0,1 g.
2. Mortero y su pisón forrado en caucho para disgregar las partículas del suelo.
3. Tamices de:

4,75	mm	(N° 4)
2,0	mm	(N° 10)
425	µm	(N° 40)
75	µm	(N° 200)

4. Cuarteador de muestras.

6.1.2.4.3. SELECCIÓN DE MUESTRAS

Las muestras del suelo tal como se reciben del terreno, deben ser secadas completamente en el aire (o en el horno a una temperatura no mayor de 38 °C (100 °F)). Los grumos o terrones deben ser entonces disgregados completamente en el mortero con un pisón forrado en caucho. Una muestra representativa de la cantidad requerida para ejecutar los ensayos deseados será entonces seleccionada por el método de cuarteo **S0202**. Las cantidades del material requerido para ejecutar los ensayos individuales son las siguientes:

- **Análisis granulométrico**

De los materiales que pasan el tamiz de 2 mm (N°10) se requieren las siguientes cantidades para el análisis mecánico: 115 g para suelos arenosos y 65 g para suelos limosos o arcillosos.

- **Ensayos para determinar constantes de los suelos**

Para los ensayos físicos se requiere material que pasa el tamiz de 425 µm (N°40) en una cantidad de 220 g distribuidos como sigue:

a)	Límite líquido	100 g
b)	Límite plástico	15 g
c)	Humedad centrifuga equivalente	10 g
d)	Factores de contracción	30 g
e)	Ensayos de comprobación	65 g

6.1.2.4.4. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA LOS ENSAYOS

La porción de la muestra secada al aire y seleccionada para el propósito de los ensayos debe ser pesada, anotándose dicho valor como el peso de la muestra total de ensayo sin corrección de la humedad higroscópica. La muestra de ensayo debe separarse sobre el tamiz de 2 mm (N°10).

La porción retenida en dicho tamiz, deberá ser apisonada en el mortero para disgregar los grumos o terrones. Los suelos así desintegrados serán separados entonces en dos fracciones, tamizándolos en el tamiz de 2 mm (N°10).

La fracción retenida después del segundo tamizado, será lavada para sacarle los materiales finos, secados y pesados. Este peso será anotado como el peso del material grueso. El material grueso, después de ser lavado y secado, será tamizado en el tamiz de 4,75 mm (N°4) anotándose el peso retenido en éste.

6.1.2.4.5. MUESTRAS PARA EL ENSAYO DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

La fracción que pasa el tamiz de 2 mm (N°10) en ambas operaciones de tamizado, será completamente mezclada y cuarteada para tomar una porción aproximadamente de 115 g para suelos arenosos y aproximadamente de 65 g para suelos limosos o arcillosos para el análisis mecánico.

6.1.2.4.6. MUESTRAS PARA ENSAYOS DE LAS CONSTANTES DE SUELOS

La porción sobrante del material que pasa el tamiz de 2 mm (N°10) será entonces separada tamizándola con el tamiz de 425 μm (N°40). La fracción retenida en dicho tamiz no será usada.

La fracción que pasa el tamiz de 425 μm (N°40) será utilizada para la determinación de las constantes físicas de suelo.

SECCION 6.1.2.5. PREPARACIÓN DE MUESTRAS HÚMEDAS DE SUELO PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y DETERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES FÍSICAS (ASTM D2217)

6.1.2.5.1. OBJETO

Este procedimiento se aplica para la preparación de muestras de suelo con la humedad con que son recibidas del campo, para el análisis granulométrico y para la determinación de las constantes físicas del suelo.

El método "A" se ha desarrollado para el secado de las muestras de campo a una temperatura que no exceda de 60 °C (140 °F), haciendo inicialmente la separación a la humedad de la muestra, sobre el tamiz de 2,0 mm (N°10), o de 425 µm (N°40) o de ambos, si así se requiere, y después secándola a una temperatura que no supere los 60 °C (140 °F). El método "B" estipula que la muestra se mantendrá a una humedad igual o mayor del contenido natural de agua.

El procedimiento que deba emplearse, deberá estar indicado en la especificación del material que se va a ensayar. Si esto no está definido, aplíquense los requisitos del método "B".

6.1.2.5.2. USO Y SIGNIFICADO

El Método "A" se emplea para preparar muestras de suelos, para ensayos de plasticidad y análisis granulométrico, cuando las partículas de grano grueso de la muestra son blandas y fácilmente pulverizables, o cuando las partículas finas son muy cohesivas y ofrecen resistencia a desprenderse de las partículas gruesas.

Algunos suelos nunca pierden su humedad en forma natural, y cuando son secados pueden cambiar notoriamente sus características. En estos casos, si se desea conocer su gradación natural y las características de plasticidad, dichos suelos deberían ser enviados al Laboratorio en recipientes sellados y procesados conforme al Método "B" de este procedimiento.

Los valores del límite líquido y del Índice de Plasticidad obtenidos de muestras con su humedad natural generalmente, pero no siempre, son iguales o algo mayores que los valores determinados de muestras semejantes de suelos secos. En el caso de los suelos orgánicos de grano fino, hay una caída brusca en la plasticidad, debido al proceso de secado en horno.

6.1.2.5.3. EQUIPOS

1. Balanza, con precisión de 0,1 g.
2. Mortero con pisón cubierto de caucho, capaz de disgregar los grumos o agregaciones de partículas.
3. Tamices, de 2 mm (N°10) y de 425 µm (N°40) de malla cuadrada, de acuerdo con la especificación.

4. Cuarteador.

5. Aparatos para secado: horno termostáticamente controlado para usar con una temperatura de 60 °C (140 °F) o menos y 110 °C (230 °F); lámpara de rayos infrarrojos, secador de aire caliente, u otros aparatos capaces de secar muestras de suelos.

6. Equipo auxiliar: Bandejas de 305 mm (12") de diámetro y 75 mm (3") de profundidad; recipiente capaz de prevenir pérdida de humedad de la muestra; embudo con filtro y papel de filtro.

6.1.2.5.4. METODO A**A. PROCEDIMIENTO**

7. Se seca la muestra de suelo recibida del campo, usando uno de los siguientes procesos: (1) al aire a la temperatura ambiente (2) en horno a una temperatura que no exceda de 60°C (140°F), ó (3) utilizando otro aparato calentador que no eleve la temperatura de la muestra por encima de 60 °C (140 °F).
8. Se machaca completamente cualquier grumo o aglomerado de partículas, usando el mortero con su pisón cubierto de caucho.

Nota 1: Cuando la muestra contenga partículas de lutitas blandas, areniscas u otro material débil, debe tenerse mucho cuidado para evitar una excesiva reducción de tamaños.

9. Se escoge una muestra representativa por cualquiera de los métodos de cuarteo descritos en el **Método 6.1.2.2.**

El tamaño de dicha muestra deberá ser suficiente para efectuar el ensayo de análisis granulométrico del material retenido en el tamiz de 2 mm (N°10) y suministrar una cantidad adecuada de material que pasa el tamiz de 425 µm (N°40) para los ensayos de las constantes del suelo.

Las cantidades de material para los ensayos individuales son las siguientes:

a) Análisis granulométrico del material retenido en el tamiz de 2,0 mm (N°10)

Suelos con gravas	4.000 a 10.000 g
Suelos arenosos	1.500 g
Suelos limosos o arcillosos	400 g

b) Análisis granulométrico del material que pasa el tamiz de 2,0 mm (N°10)

Suelos arenosos	115 g
Suelos limosos o arcillosos	65 g

c) Métodos para determinar constantes físicas del suelo.

Límite líquido	100 g
Límite plástico	15 g
Humedad centrifuga equivalente	10 g

Factores de contracción	30 g
Ensayos de comprobación	65 g

B. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO

10. Para análisis granulométrico:

a) Se pesa la porción seleccionada y se anota este valor como “peso de la muestra total sin corrección por humedad higroscópica”. Se separa este material en dos porciones utilizando el tamiz de 2 mm (N°10). Se deja a un lado la porción pasante para combinarla más tarde con el material adicional.

b) Se deposita el material retenido en el tamiz de áridos sobre una bandeja; se cubre con agua y se deja remojar hasta que los grumos o agregados de partículas se ablanden. Después que se ha empapado, se lava el material sobre tamiz de 2 mm (N°10) de la siguiente forma. Se coloca un tamiz de 2 mm (N°10) desocupado sobre la base de una bandeja limpia y se vierte el agua con que se remojó la muestra sobre el tamiz. Se añade agua suficiente para que el nivel de la superficie quede aproximadamente 12.7 mm (½”) por encima de la malla.

c) Se traslada el material empapado al tamiz en porciones cuyo peso no exceda de 0,45 kg (1 lb) revolviéndolo con los dedos mientras se agita el tamiz. Se desintegra o amasa cualquier terrón que no se haya empapado; se alza el tamiz por encima del agua y se completa el lavado utilizando una pequeña cantidad de agua limpia. Se deposita el material lavado en otra bandeja y se continúa el proceso con otra porción, hasta que se lave todo.

d) Se seca el material retenido sobre el tamiz de 2 mm (N°10) a una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F). Se vuelve a tamizar, añadiendo el material pasante por el tamiz de 2 mm (N°10), al que se separó conforme a lo señalado en el numeral 10.a). Se deja a un lado el material retenido, para utilizarlo en el ensayo de análisis granulométrico.

e) Se aparta el agua con que se lavó el material y se deja reposar por varias horas o hasta que las partículas se depositen en el fondo de la bandeja.

f) Se decanta con una pipeta o sifón lo mejor que sea posible. Si no se precipitan las partículas, toda el agua debe evaporarse. Séquese el suelo remanente en la bandeja a una temperatura que no supere los 60 °C (140 °F). El suelo seco se pulveriza con el mortero u otro aparato, y se junta con el obtenido de acuerdo con el numeral 10.a).

g) Alternativamente, después que el material empapado se haya lavado, se pasa la mayor cantidad del agua que queda en la bandeja, por un embudo con filtro. El suelo húmedo retenido se regresa a la bandeja y se seca a una temperatura que no pase de los 60 °C (140 °F). El suelo seco se utiliza como se indica en el literal anterior.

11. Para determinación de las constantes físicas del suelo.- En este caso, se debe proceder como se ha indicado en el “Procedimiento” de “Método A”, pero se utilizará el tamiz de 425 µm (N°40), en lugar del tamiz de 2 mm (N°10).

Nota .2: *En algunas zonas es posible que los cationes de las sales que tiene el agua corriente cambien con los cationes naturales de los suelos, y esto altera significativamente el valor de las constantes de los suelos cuando dicha agua es empleada para remojar y lavar las muestras. A menos que se sepa con certeza que esta clase de cationes no está presente en el agua corriente, debe emplearse para este ensayo agua destilada o desmineralizada.*

Cuando el suelo contenga sales solubles, el agua de lavado debe recogerse y evaporarse y retornar a la muestra de suelo las sales que se obtengan.

C. MUESTRAS DE ENSAYO

12. Manteniendo separada cada porción de la otra, se mezclan totalmente todas las partes obtenidas del material que pasa el tamiz de 2 mm (N°10) y del material que pasa el tamiz de 425 μm (N°40). Por cuarteo manual o mecánico, se escogen y pesan las muestras señaladas en el punto "Procedimiento" del Método A, según sean necesarias.

6.1.2.5.5. METODO B

A. MUESTRAS

Las muestras de acuerdo con este procedimiento, deben ser enviadas del campo al laboratorio, en recipientes sellados y deben contener toda su humedad natural. Obviamente, las muestras que tengan solamente partículas que pasan el tamiz de 2 mm (N°10) pueden ser sometidas al análisis granulométrico sin un lavado previo sobre dicho tamiz. Igualmente, las muestras que contengan únicamente partículas que pasan por el tamiz de 425 μm (N°40), se usarán para determinar las constantes del suelo, sin lavado previo.

B. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO

13. Para análisis granulométrico:

a) Se escoge y pesa una porción representativa que se estime que tenga 50 g de partículas que pasan por el tamiz de 2 mm (N°10), para suelos limosos o arcillosos, ó 100 g para suelos arenosos.

b) Para muestras que contengan partículas que no pasan por el tamiz de 2 mm (N°10) y para las cuales se necesita hacer el análisis granulométrico, se escoge y pesa una muestra representativa que, en forma estimada, contenga las cantidades de partículas de las porciones pasante y retenida sobre el tamiz de 2 mm (N°10). Se determina el contenido de humedad a $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9 \text{ }^\circ\text{F}$), utilizando una muestra auxiliar.

c) Se remoja la muestra húmeda y se lava sobre el tamiz de 2 mm (N°10) como se describió en el numeral 10.b). Después del lavado, se seca el material retenido en un horno a la temperatura de $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9 \text{ }^\circ\text{F}$), se pesa y se guarda para el análisis granulométrico. Si el volumen del agua de lavado y el suelo es muy grande para utilizar el procedimiento de sedimentación, se evapora el exceso de agua: (1) por exposición al aire a temperatura ambiente, (2) calentándola en horno a una temperatura que no exceda de $110 \text{ }^\circ\text{C}$ ($230 \text{ }^\circ\text{F}$) o (3) por ebullición. Sin importar el método de evaporación utilizado, deben tenerse en cuenta las siguientes precauciones: (1) Revuélvase la lechada de vez en cuando para evitar que un anillo de suelo seco se forme sobre la pared del recipiente de evaporación, y (2) déjese enfriar la muestra a la temperatura ambiente, antes de ensayarla.

14. Para la determinación de las constantes del suelo: Se escoge una porción representativa de la muestra húmeda, estimando que contenga suficientes partículas pasantes por el tamiz de 425 μm (N°40) como para tener las cantidades requeridas para determinar las constantes físicas del suelo.

Se remoja dicha porción y se lava sobre el tamiz de 425 μm (N°40) como se describió en el numeral 12. Se reduce el contenido de agua del material hasta que alcance una consistencia de masilla (que permita entre 30 y 35 caídas de la cápsula en el ensayo del límite líquido), pero nunca inferior a su humedad natural. La disminución del contenido de agua del suelo puede obtenerse como sigue: (1) por exposición al aire a temperatura ambiente, (2) calentándolo en un horno a temperatura por debajo de $110 \text{ }^\circ\text{C}$ ($230 \text{ }^\circ\text{F}$), (3) por ebullición, o (4) filtrándola a través de un embudo filtro. Durante la evaporación y el enfriamiento se remueve la muestra a

menudo, suficientemente como para evitar el sobre secamiento del borde o de la superficie. Se enfría la muestra a la temperatura ambiente antes de ensayarla.

Para suelos que contengan sales solubles, utilícese un método de reducción de la cantidad de agua, que no elimine las sales de la muestra. La muestra preparada debe protegerse en un recipiente que pueda usarse hasta que se efectúen los ensayos.

SECCION 6.1.2.6. | PERFORACIÓN CON BROCAS DE DIAMANTE PARA INVESTIGACIONES EN EL SITIO (ASTM D2113)

6.1.2.6.1. OBJETO

Este método describe el equipo y procedimiento para perforación con brocas de diamante, con el fin de obtener núcleos de roca y de algunos suelos que no pueden ser muestreados mediante los métodos usuales por ser demasiado duros. Mediante este método, se busca obtener datos para el diseño de fundaciones con propósitos de Ingeniería, antes que para la exploración de minerales y de minas.

6.1.2.6.2. USO Y SIGNIFICADO

Esta práctica es empleada para obtener especímenes de núcleos que reflejen las condiciones en el sitio del material y de su estructura y que sean apropiados para la determinación de las propiedades físicas normales de ensayo y para la verificación de la integridad estructural.

6.1.2.6.3. EQUIPOS Y MATERIALES

1. Equipo de perforación, con potencia adecuada, que pueda proporcionar rotación, alimentación y retracción por medios hidráulicos o mecánicos a las varillas (tubería) de perforación.
2. Bomba de fluidos o compresor de aire, que pueda producir volumen y presión suficientes para el diámetro y la profundidad del hueco que va a ser perforado.
3. Tubos toma muestras como sean requeridos:
4. Tubo sencillo, diseño WG: Consiste en un tubo de acero hueco, con una cabeza enroscada en un extremo para atornillar la varilla o tubo de perforación, y con una conexión de rosca en el otro, para acoplar una pareja de escariador y broca al conjunto. Es normal incluir un retenedor de núcleos localizado dentro de la broca, pero puede omitirse.
5. Tubo doble giratorio, diseño WG: Consiste en un conjunto de dos tubos concéntricos de acero unidos y acoplados en el extremo superior por medio de una bola o de un eslabón de rodamientos de modo que gire el tubo exterior sin que cause la rotación del interior. El extremo superior del tubo exterior, o cabeza removible, está roscado para atornillar la varilla o tubo de perforación. Una conexión roscada es proporcionada en el extremo inferior del tubo exterior para acoplar el escariador y la broca. Normalmente, se incluye un retenedor de núcleos dentro de la broca, pero puede omitirse.
6. Tubo doble giratorio, diseño WT: Es esencialmente lo mismo que el tubo doble giratorio, diseño WG, excepto que el diseño WT es de tubos con paredes más delgadas, tiene un área anular reducida entre los tubos, y toma núcleos de tamaño mayor en una perforación del mismo diámetro. El retenedor de núcleos está localizado dentro de la broca nucleadora.

7. Tubo doble giratorio, diseño WM: Es similar al tubo doble giratorio, diseño WG, excepto que el tubo interior esta roscado en su extremo más bajo para empalmar con una portaretenedor de núcleos que efectivamente prolongue el tubo interior dentro de la broca perforadora, disminuyendo así la exposición del núcleo al fluido de perforación.

Un retenedor de núcleos está contenido dentro del pequeño tubo porta retenedor de núcleos mencionado.

8. Tubo doble giratorio, diseño Diámetro Grande: Es similar al tubo doble giratorio diseño WM, pero de diámetro más grande. Se encuentra disponible en tres tamaños, así:

Tamaño del núcleo x Tamaño de perforación

69,85 mm (2 ¾") x 98,4 (3 ")

101,6 mm (4") x 139,7 (5 ½")

152,4 (6") x 196,8 (7 ¾")

Todos los tres tamaños constan de una válvula esférica para controlar el fluido y solo los dos tamaños mayores cuentan con un tubo de desperdicios para recoger partículas gruesas y ayudar a mantener limpio al agujero.

El empleo de este diseño está reservado generalmente a trabajos de investigación muy detallados o cuando otros métodos no obtienen la recuperación adecuada.

9. Tubo doble giratorio, con tubo interior retráctil (Método Wire-line): en este diseño el tubo interior, después de tomar la muestra, puede ser recobrado hasta la superficie, y un tubo interior vacío puede ser retornado hasta el fondo de perforación a través del interior de la tubería, evitándose así el proceso de extracción y penetración de la tubería en cada toma de muestra.

El conjunto de tubo interior consta además de: porta retenedor y retenedor de núcleos en un extremo; cabeza removible, acople giratorio, mecanismo de suspensión y dispositivo de cierre para ajustar o liberar el conjunto, en el otro extremo.

El dispositivo de cierre del tubo interior se encaja en un receso localizado en la pared interior del tubo exterior, pero de forma tal que el tubo exterior pueda rotar sin que cause giro al tubo interior, el cierre pueda accionarse y el conjunto del tubo interior pueda subirse mediante un apropiado control desde la superficie.

El tubo exterior está roscado para el acople de varillas o tubos de perforación de diámetros grandes e internamente configurado para recibir el dispositivo de cierre del tubo interior en un extremo y con rosca en el otro, para un escariador y broca, o broca solamente.

10. Tubos interiores partidos longitudinalmente. En oposición a los tubos interiores cilíndricos convencionales, éstos permiten la inspección y un acceso al núcleo mediante la remoción simple de una de las dos mitades. No están estandarizados, pero se dispone de ellos para mucha toma muestras, incluyendo gran parte de los tipos de tubos interiores retráctiles.

11. Brocas toma núcleos.

Deberán ser de los siguientes tipos:

- con diamantes montados en la superficie,
- impregnadas con partículas de diamante,
- con inserción de pequeñas piezas o franjas de carburo de tungsteno,

- recubiertas con diferentes materiales endurecedores de superficie y
- con dientes de sierra de material endurecido.

Se escogerán los tipos que sean apropiados para la formación de suelo o roca en la cual se va a tomar la muestra con aprobación de la Interventora. El material de la matriz de la broca, la forma de su corona, el tipo de vías de agua, así como la localización y el número de éstas, el tamaño de los diamantes y los quilates de estos, así como los materiales que forman la cara de la broca, deberán ser para propósitos generales a menos que se apruebe de otra manera.

Los tamaños nominales de algunas brocas se muestran en la **Tabla 6.1_4**.

12. Rimas o escariadores. Deberán:

- tener diamantes montados en la superficie,
- estar impregnadas con partículas de diamante,
- tener insertadas pequeñas tiras de carburo de tungsteno o salpicaduras,
- estar revestidas con diferentes tipos de materiales endurecedores de superficie o,
- ser lisas, como sea necesario, para la formación de la cual se va a tomar la muestra.

13. Retenedores de núcleos

Los retenedores del tipo de anillo ya sean lisos o rugosos, deberán permanecer disponibles y en buenas condiciones, junto con sus respectivas portas retenedoras o con las extensiones de tubo interior, o con las zapatas de tubo interior. Los retenedores del tipo dedo o canasta, junto con cualquier clase de adaptadores necesarios, deberán encontrarse en la obra y estar disponibles para su empleo con cada toma núcleos, si así se exige.

14. Revestimientos

- La tubería de hincar o revestimiento guía, deberá ser de peso normal (clase 40), extra pesado (clase 80), doble extra pesado (clase 160) o de diseño W de junta lisa, como sea exigido, según la naturaleza del suelo o el método de perforación. Los tubos de hincada o revestimiento W deberán ser de tamaño suficiente para que pueda pasar el tomanúcleos de mayor tamaño que se vaya a emplear, y deberá hincarse hasta roca o hasta manto firme, a una elevación por debajo de formaciones sensibles al agua. Una zapata guía dura debe emplearse como borde cortante y como dispositivo de protección de la rosca en el fondo de la tubería de hincada o del revestimiento. El diámetro interior de la zapata de hincada deberá ser suficientemente grande para permitir el libre paso de las herramientas que se pretende emplear. La zapata y el revestimiento deberán hallarse libres de obstrucciones, resaltos o torceduras.
- **Revestimiento**

Cuando sea necesario revestir a través de formaciones ya penetradas por el hueco de perforación o cuando no se haya hincado tubería de revestimiento, deberá proporcionarse revestimiento auxiliar que se ajuste al hueco y permita el empleo del tomamuestras siguiente más pequeño. En la **Tabla 6.1_5** se muestran tamaños normales de revestimientos telescópicos. Las brocas para tubería de revestimiento tienen una obstrucción en su interior y no permitirán el paso de la tubería de revestimiento de tamaño más pequeño subsiguiente.

Empléese una zapata de revestimiento, si se requiere el uso de tramos telescópicos adicionales.

15. Camisa de Revestimiento

Puede emplearse tubería plástica o metálica para encamisar un revestimiento existente de diámetro grande. Las camisas empleadas así, no deberán hincarse y tener cuidado de mantener un verdadero alineamiento en toda la longitud de la camisa.

16. Barrena con vástago hueco.

Puede emplearse barrena de vástago hueco como revestimiento para la toma de núcleos.

17. Barras (tubos) de Perforación.

18. Barras de perforación de acero tubular, normalmente empleadas para lavado, y para transmitir rotación y fuerzas de retracción, desde la máquina de perforación al tomanúcleos. Los tamaños de las varillas de perforación se encuentran normalizados como se muestra en la **Tabla 6.1_6**.

19. Barras de perforación de diámetro grande, empleadas con toma núcleos de tubo interior retráctil no están normalizadas y deberán suministrarse específicamente para él toma muestras.

20. Barras de perforación compuestas, fabricadas específicamente a partir de dos o más materiales, tratando de proporcionar propiedades especiales, tales como, peso liviano y no conductividad eléctrica.

21. Barras de perforación no magnéticas, fabricadas con materiales no ferrosos como el aluminio o el cobre y empleadas principalmente para perforaciones en trabajos topográficos. Algunas varillas no magnéticas tienen roscas del lado izquierdo para su empleo adicional en levantamientos topográficos. No existen normas para varillas no magnéticas.

22. Equipo Auxiliar

Deberá proporcionarse cuando sea requerido para el trabajo e incluirá: brocas de rodillos (triconos), brocas de arrastre (paletas), brocas cortadoras (pala), rompedoras de piedra (punta aguda), brocas cola de pescado, llaves para tubos, llaves de cadena, equipo de lubricación, cajas para muestras y dispositivos para marcar. Otros elementos recomendables incluyen rompedores de núcleos, estopa para limpieza de varillas, herramientas para extracción, tamiz de mano o coladera.

6.1.2.6.4. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE RECIPIENTES CON MUESTRAS

Las cajas deberán construirse de madera o de otro material durable para la protección y el almacenamiento de los núcleos, mientras se llevan del sitio de la perforación al laboratorio o a otro sitio de procesamiento. Todas las cajas de núcleos deberán proveerse con separadores longitudinales; los núcleos recobrados deberán disponerse a la manera de un libro, que pueda ser leído de izquierda a derecha y de la parte superior al fondo, dentro de los separadores longitudinales.

Los bloques espaciadores o tapones, deberán marcarse e insertarse en la columna del núcleo dentro de los separadores, para indicar el comienzo de cada recorrido. El punto del comienzo del almacenamiento de cada caja de núcleos está en la esquina superior izquierda. La esquina superior izquierda de una caja de núcleos con bisagras es la esquina izquierda, cuando la bisagra se halla en el lado apartado de la caja y la caja está levantada del lado derecho. Todas las cajas abisagradas de núcleos deberán estar permanentemente marcadas por fuera, indicando la tapa y el fondo. Todas las demás clases de cajas de núcleos deberán marcarse permanente-

mente en su exterior para indicar la tapa y el fondo y, adicionalmente, estar permanentemente marcadas interiormente para indicar la esquina superior izquierda del fondo con las letras SI, o con una marca de pintura roja no menor de unos seis (6) centímetros cuadrados. La tapa o los ajustes de la tapa para las cajas de núcleos, deben ser de calidad tal, que eviten la mezcla de los núcleos en caso de golpes o de manejo rudo de la caja durante el transporte.

El transporte de muestras desde el sitio de la perforación hasta el laboratorio u otro sitio de procesamiento deberá realizarse en cajas para núcleos durables, y empacadas tal manera, que queden aisladas de choques o de impactos por el transporte en terreno rugoso o sin cuidado.

Los núcleos después de los ensayos iniciales o de la inspección en el laboratorio o en otro sitio de procesamiento, deberán guardarse en cajas de cartón o en cajas similares menos costosas, con los requisitos de espacio y marcas de identificar especificados en el numeral 23.

Deberán agregarse bloques espaciadores adicionales o tapones si fuere necesario al tiempo del almacenamiento, para explicar la pérdida de núcleos. Los núcleos deberán almacenarse durante un período de tiempo especificado, pero normalmente no deberán desecharse antes de la conclusión del proyecto para el cual fueron tomados.

6.1.2.6.5. PROCEDIMIENTO

23. Úsense procedimientos de perforación para toma de núcleos, cuando las formaciones halladas sean demasiado duras como para utilizar métodos normales de muestreo de suelos. Una penetración igual o menor de 25,4 mm (1") para 50 golpes de acuerdo con el **Método** 6.2.2.9. u otros criterios establecidos por la Interventora, deberán indicar que los métodos normales de muestreo de suelos, no son aplicables.

a) Penétrese el revestimiento hasta el manto de roca o formación firme, para evitar la destrucción del agujero y para eliminar la pérdida del fluido de perforación. Nivélase la superficie de la roca o de la formación dura en el fondo del revestimiento, empleando si fuere necesario, las brocas adecuadas. Podrá omitirse el revestimiento si el agujero de perforación se mantiene abierto sin revestimiento.

b) Comiencese la perforación empleando una toma muestras de tubo doble giratorio de tamaño N u otro tipo aprobado. Continúese la perforación de los núcleos hasta que ocurra un bloqueo de los mismos o hasta que la longitud neta del toma muestras haya sido perforada. Remuévase el tomamuestras del hueco y desármese si fuere necesario, para extraer el núcleo. Vuélvase a armar y retórnese el tomamuestras al hueco. Reiníciase la toma de los núcleos.

c) Colóquese el núcleo recobrado en la caja de núcleos con el extremo superior (superficie) del núcleo, en la esquina izquierda de la caja como se describe en el numeral 23. Continúese el almacenamiento de núcleos con marcadores y espaciadores apropiados, así como con los bloques descritos en dicho numeral. Envuélvase los núcleos friables o blandos, y los que se alteren con la pérdida de humedad, en bolsas plásticas, o recúbranse con parafina, o ambos, si así lo exige la Interventora. Empléense bloques espaciadores debidamente marcados, para indicar cualquier vacío notorio en un núcleo recobrado que puede indicar un cambio o un vacío en la formación. Colóquense las piezas y fragmentos en la misma forma como se presentarían en la naturaleza.

d) Deténgase la perforación de núcleos cuando se encuentren materiales blandos que produzcan menos del 50% de recuperación. Si fuere necesario, obténganse muestras de suelos blandos. Reiníciase la perforación con brocas, cuando materiales de rechazo como los descritos en el numeral 27, se encuentren de nuevo.

24. La estructura sub superficial, incluyendo la inclinación de los estratos, la ocurrencia de grietas, fisuras, cavidades y áreas fracturadas, se hallan entre los renglones más importantes que deben ser detectados y descritos. Téngase especial cuidado de obtener y registrar la información acerca de estos hechos. Si las condiciones no permiten el avance continuo de la perforación de núcleos, el hueco deberá cementarse y perforarse nuevamente o, escarificarse y revestirse, o revestir y avanzar con el tomamuestras menor subsiguiente, como sea requerido.
25. El lodo de perforación o las técnicas de inyección, deben ser aprobadas, antes de su empleo.

26. Compatibilidad del equipo.

- a) Cuando quiera que sea posible, los saca muestras y barras de perforación, deberán seleccionarse del mismo tamaño de la letra correspondiente para asegurar su eficiencia máxima (*Véanse las Tablas 6.1_4 y 6.1_6*).
- b) Nunca deberá usarse una combinación de bomba, barras de perforación, y toma-muestras, que produzcan una velocidad ascendente de agua clara en el hueco, menor de 37 m/min. (120 pies/min.).
- c) No debe emplearse una combinación de compresor de aire, varilla de perforación y toma-muestras, que produzcan una velocidad ascendente de aire limpio en el hueco, menor de 915 m/min. (3.000 pies/min.).

A. REGISTRO DE LAPERFORACIÓN

27. El registro de la perforación deberá incluir lo siguiente:

- a) Identificación del Proyecto, número de la perforación, sitio, fechas de iniciación y terminación, y nombre del operador del equipo.
- b) Elevación del nivel superficial de la perforación.
- c) Elevación o profundidad del nivel de agua y variaciones de nivel, incluyendo las fechas y tiempos cuando fueron medidos.
- d) Elevación o profundidad a la cual se perdió el retorno del fluido de la perforación.
- e) Tamaño, tipo y diseño del toma muestras empleado. Tamaño, tipo y conjunto de broca y rima empleado. Tamaño, tipo y longitud de todo el revestimiento empleado. Descripción de cualquier movimiento de este último.
- f) Longitud de penetración de cada toma muestras y longitud o porcentaje, o ambos, del núcleo recobrado.
- g) Descripción del material recobrado en cada recorrido, efectuado por el ingeniero a cargo, o en su defecto, por el inspector de perforación, o por el operador del equipo.
- h) Descripción de la estructura sub superficial, incluyendo la inclinación de los estratos, juntas, cavidades, fisuras y cualquier otra observación efectuada por el ingeniero, que pueda aportar datos sobre la formación en estudio.
- i) Profundidad, espesor y naturaleza aparente del relleno de cada cavidad o veta blanda encontrada, incluyendo opiniones sobre la apariencia del interior del tubo cuando se pierde el núcleo.
- j) Cualquier cambio en el carácter del lodo de perforación.

- k) Información sobre mareas y corrientes cuando la perforación esté próxima a una masa de agua que va a ser afectada.
- l) Tiempo de perforación en min/m (min/pie) y presión de la broca en kg-m (lb-pie) por cm^2 (pulg^2) cuando sea aplicable.
- m) Anotaciones sobre el carácter de la perforación, esto es, si resultó blanda, lenta, fácil, suave, etc.

6.1.2.6.6. PRECISIÓN

Esta práctica no produce datos numéricos: por lo tanto, no es aplicable un criterio de precisión y exactitud.

Tabla 6.1_4. TAMAÑOS NOMINALES DE BROCAS

BROCAS									
Brocas series W									
Tipo	Diámetro exterior		Diámetro interior		Identificador de acoplador		Masa por pies	Vías de agua por pulg.	Tipo de vía de agua
	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm			
RW	1,094	27,8	0,719	18,3	0,406	10,3	1,4	4	Regular
EW	1,375	34,9	0,938	22,2	0,437	12,7	2,7	3	Regular
AW	1,750	44,4	1,250	31	0,625	15,9	4,2	3	Regular
BW	2,125	54	1,500	44,5	0,750	19	6,1	3	Regular
NW	2,625	66,7	2,000	57,4	1,380	34,9	7,8	3	Regular
HW	3,500	88,9	3,062	77,8	2,375	60,3	9,5	3	Regular
Brocas series WJ									
AWJ	1,75	44,5	1,43	36,4	0,63	16,1	3,6	5	Taper
BWJ	2,13	54	1,81	46	0,75	19,3	5,0	5	Taper
NWJ	2,63	66,7	2,25	57	1,13	28,8	6,0	4	Taper
KWJ	2,88	73	2,44	61,9	1,38	34,9		4	Taper
HWJ	3,50	88,9	2,88	73,1	1,75	44,5		4	Taper
Estándar antiguo									
E	1,313	33,3	0,844	21,4	0,438	11,1		3	Regular
A	1,625	41,3	1,266	28,6	0,563	14,3		3	Regular
B	1,906	48,4	1,406	35,7	0,625	15,9		5	Regular
N	2,375	60,3	2,000	50,8	1,000	25,4		4	Regular

Tabla 6.1_5. TAMAÑOS NOMINALES DE REVESTIMIENTOS

DCDMA Revestimientos										
Tamaño	Diámetro exterior		Diámetro interior series W		Diámetro interior series X		Galones por 100 pies	Masa por pies	Vías de agua por pulgada	
	pulg.	mm	pulg.	mm	pulg.	mm			Series W	Series X
RW, RX	1,44	36,5	1,20	30,5	1,20	30,2	5,7	1,8	5	8
EW, RX	1,81	46,0	1,50	38,1	1,63	41,3	9,2	2,8	4	8
AW, AX	2,25	57,2	1,91	48,1	2,00	50,8	14,8	3,8	4	8
BW, BX	2,88	73,0	2,38	30,3	2,56	65,1	23,9	7,0	4	8
NW, NX	3,50	88,9	3,00	76,2	3,19	81,0	36,7	8,6	4	8
HW, HX	4,50	114,3	4,00	100,0	4,13	104,8	65,3	11,3	4	5
PW, PX	5,50	139,7	5,00	127,0	5,13	130,2		14,0	3	5
SW, SX	6,63	168,3	6,00	152,4	6,25	158,8		16,0	3	5
UW, UX	7,63	193,7	7,00	177,8	7,19	182,6			2	4
ZW, ZX	8,63	219,1	8,00	203,2	8,19	208,0			2	4

Tabla 6.1_6. TAMAÑOS NOMINALES DE VARILLAS DE PERFORACIÓN

Varillas de perforación								
Tamaño	Diámetro exterior		Diámetro interior		Galones por 100 pies	Masa por pies	Vías de agua por pulgada	Tipo de vía de agua
	pulg.	mm	pulg.	mm				
AQWLA	1,750	44,5	1,375	34,90	7,70	3,3	4	Taper
AXWLB	1,813	46,0	1,500	38,10	9,18	2,8	4	Regular
BQWLA	2,188	55,6	1,812	46,00	13,40	4,0	3	Taper
BXWLB	2,250	57,2	1,906	48,40	14,82	3,8	4	Regular
NQWLA	2,750	69,9	2,675	60,30	23,00	5,2	3	Taper
NXWLB	2,875	73,0	2,391	60,70	23,30	6,8	3	Regular
HQWLA	3,500	88,9	3,062	77,80	38,20	7,7	3	Taper
HXWLB	3,500	88,9	3,000	76,20	36,72	8,7	3	Regular
PQWLA	4,625	117,5	4,062	103,20				
CPWLB	4,625	117,5	4,000	101,60				

SECCION 6.1.2.7.

MUESTREO DE SUELOS MEDIANTE TUBO CON CAMISA INTERIOR DE ANILLOS (ASTM D3550)

6.1.2.7.1. OBJETO

Este método se refiere a un procedimiento para obtener muestras representativas de suelos para su identificación y otros ensayos de laboratorio, mediante el empleo de un tubo muestreador. En aquellos casos en los cuales se haya establecido que la muestra es de calidad satisfactoria, esta práctica proporciona especímenes para ensayos de corte y consolidación, que pueden emplearse directamente en el aparato de ensayo sin recortarlos previamente.

Algunos tipos de suelos pueden aumentar o perder compresibilidad o su resistencia al corte en forma apreciable, o ambas, como consecuencia del muestreo. En casos como éstos, deberán efectuarse ensayos de comparación, para valorar el efecto de la alteración de la muestra sobre la compresibilidad y la resistencia.

Este método no está destinado a ser empleado como ensayo de penetración; sin embargo, la fuerza requerida para lograr la penetración o la cuenta correspondiente al número de golpes del muestreador, cuando sea necesario su hincamiento, se recomienda como información suplementaria.

6.1.2.7.2. USO Y SIGNIFICADO

Este procedimiento se utiliza donde la condición del suelo y la resistencia al avance del muestreador, no permiten el empleo de un tubo de pared delgada (**Método 6.1.2.3.**) y donde la formación no facilite la toma de núcleos con brocas de diamante.

6.1.2.7.3. EQUIPOS

A. EQUIPO DE PERFORACIÓN

Puede emplearse cualquier equipo de perforación que proporcione un hueco razonablemente limpio, antes de la introducción del muestreador y que no altere el suelo que se vaya a muestrear. Sin embargo, en ningún caso se permiten barrenas con descarga de fondo. Son admisibles barrenas con descarga lateral.

B. DISPOSITIVO DE PESA PARA LA HINCA

Puede emplearse cualquier dispositivo que produzca una penetración en el intervalo de 1 a 65 golpes por metro. (1 a 20 golpes por pie). En cuanto sea posible, los suelos deberán muestrearse mediante empuje y no hincada (véase el "Procedimiento").

Conjunto de tubo con camisa interior de anillo, para el muestreo. Deberá consistir de una zapa, muestreador y tubo de desperdicios.

Muestreador con camisa interior de anillos

Los especímenes de ensayo deberán obtenerse empleando una pieza adecuada o un tubo encamisado en su interior, con anillos removibles. Estos anillos serán de paredes delgadas, deberán cumplir con los requerimientos de tamaño de los aparatos de laboratorio empleados, y deberán encajar ajustadamente dentro del muestreador, sin juego libre perceptible en ninguna dirección. El muestreador deberá estar dividido en secciones que permitan el acople de las que sean necesarias. Cada sección deberá diseñarse en tal forma que la adición o la remoción de secciones, no aflojen, ni permita movimiento, ni afecte adversamente de otro modo, la retención de los anillos dentro del muestreador.

El muestreador y los anillos deberán estar libres de protuberancias, dientes, ralladuras, polvo y corrosión. Se recomienda que el muestreador contenga por lo menos seis anillos para proporcionar muestras para los diferentes ensayos.

C. TUBO DE DESPERDICIOS

Deberá suministrarse un tramo de tubo o cabezote superior para desperdicios, que pueda removerse del muestreador en el campo, con espacio suficiente para el suelo originalmente alterado del fondo del hueco. La longitud de dicho tubo deberá ser al menos de tres veces su diámetro interior, el cual deberá ser igual o ligeramente mayor que el diámetro interior, de los anillos.

Se requiere un suplemento, válvula de cheque y uno o más agujeros de ventilación. El diseño de estos dispositivos es opcional.

D. ZAPATA

Deberá ser trabajada a máquina como se muestra en la **Figura 6.1_3**. El interior de la zapata ensamblada con el muestreador encamisado con anillos, deberá ser liso, pulido y uniforme. La longitud de la extensión de pared delgada deberá ser igual a tres veces el diámetro de su abertura, pero no deberá exceder de 203 mm (8"). La relación de la luz libre interior estará entre 0,5% y 3,0% (véase la **Figura 6.1_3** para la fórmula de la relación de la luz libre interior). El espesor de la extensión de la pared delgada deberá estar de acuerdo con la **Tabla 6.1_7**. La extensión de la pared delgada de la zapata, deberá ser de sección completamente redonda.

No deberán emplearse zapatas que por cualquier causa dejen de ser redondas. Si la extensión de pared delgada de la zapata se deforma durante el muestreo, no deberá emplearse la muestra obtenida para ensayos como los de resistencia al corte, en los cuales la alteración del suelo es un factor importante.

La extensión de pared delgada de la zapata no es adecuada para suelos duros o que tengan grava.

En tales casos, es necesaria para la penetración, una zapata similar a la del tipo especificado en el **Método 6.1.2.9**. Sin embargo, el empleo de este tipo de zapata, puede dar lugar a excesiva alteración del suelo, de manera que éste no sería adecuado para determinaciones de consolidación, de corte, o de ninguna de éstas.

E. EXTRACTOR DE MUESTRAS

Los anillos llenos con el material, deberán removerse del muestreador, empujándolos hacia afuera o alternativamente mediante el uso del tubo partido. El disco del extractor deberá tener por lo menos 13 mm (0,5") de espesor, y se apoyará completamente contra los anillos con muestra, en todos los puntos. Deberá deslizarse fácilmente dentro del barril muestreador, sin apretujar y sin juego libre.

F. RECIPIENTES PARA ANILLOS LLENOS CON ESPECÍMENES

Deberán ajustar estrechamente, estar herméticamente sellados (a prueba de agua), y ser rígidos de manera que no permitan movimiento de los anillos llenos con muestra. No deberán ser corrosivos.

G. EQUIPO MISCELÁNEO

Incluye una prensa para tubo, llaves de tubo, espátulas, cepillos para limpieza, baldes, trapos, formatos, cajas para transportar muestras, etc. Deberá disponerse de agua para la limpieza del equipo.

6.1.2.7.4. PROCEDIMIENTO

Límpiese el agujero hasta la profundidad de muestreo deseado, empleando cualquier método que se prefiera y que asegure que no alterará el material que se vaya a muestrear.

En arenas y limos saturados, levántese lentamente la barrena de perforación para evitar que se afloje el suelo alrededor del hueco. Cuando se emplee revestimiento, no deberá llevarse éste por debajo de la profundidad de muestreo. El agua o el líquido de perforación, deberá mantenerse en todo momento hasta o por encima del nivel natural freático; es preferible mantener lleno el hueco.

Manténgase un registro cuidadoso de la penetración de la barrena y de la profundidad del muestreador para asegurarse que el suelo que está siendo muestreado, es el suelo original en el fondo del hueco, y que no está contaminado por el suelo que cae de los lados del mismo. Si hay alguna tendencia apreciable de caída de suelo de los lados al fondo del hueco, úsese agua, lodo de perforación o revestimiento, para evitar que esto suceda. El proceso de inyectar a través de un muestreador de tubo abierto y muestrear luego cuando se alcanza la profundidad, no deberá permitirse. No se admitirá el empleo de barrenas de descarga de fondo.

Ármese el dispositivo de muestreo y bájese cuidadosamente dentro del hueco. Con el borde cortante de la zapata descansando sobre el suelo y con el nivel de agua a la profundidad del nivel freático o por encima de éste, empújese el muestreador mediante un movimiento continuo y sin hacerlo girar.

Empújese el mecanismo de tal manera que todos los recortes, el lodo, y el suelo alterado por la operación de penetrar, queden en el barril de desperdicios; en ningún caso, sin embargo, debe empujarse el conjunto a una profundidad mayor que la longitud total de la zapata, del muestreador y del barril de desechos. Téngase cuidado de que no se pierda nada de la muestra, por operación inadecuada de la válvula de cheque.

Cuando los suelos sean tan duros que no puedan penetrarse fácilmente por empuje, empleando procedimientos de campo generalmente aceptables, y donde la recuperación por empuje en arenas sea pobre, úsese un martillo para hincar el conjunto de muestreo. En este caso, registre el peso del martillo, la altura de caída y el número de golpes.

Desármese cuidadosamente el dispositivo de muestreo, de manera que se disminuya la alteración de la muestra en cuanto sea posible. Recórtense los flujos de suelo con los extremos del barril muestreador, y remuévase el espécimen (consistente del suelo más los anillos). Deslícese el recipiente sobre los anillos llenos con el espécimen y cúbranse ambos extremos.

Téngase la certeza de que no hay movimiento de los anillos llenos con el espécimen dentro del recipiente, y de que el espécimen no fue alterado mientras era removido del barril y colocado en el recipiente. Márquese el recipiente de manera adecuada. Si el suelo en el extremo del anillo no resalta sobre éste, después de remover la zapata, no debe emplearse el suelo del anillo

del fondo, para ensayos diferentes a los de clasificación y contenido de agua. Si la parte superior del anillo o de los anillos contienen vacíos, depresiones o cualquier material distinto del suelo que se está muestreando, no debe emplearse el suelo de este anillo (o de los anillos) con fin alguno. No se permitirá llenar depresiones en los extremos de los anillos con suelo adicional, debiendo descartarse las muestras que parezcan cuestionables o dudosas.

Examínese el suelo remanente en la zapata en cuanto a estructura, consistencia, color y condición. Regístrense estas informaciones e inclúyanse en el informe.

-El suelo que queda en la zapata es relativamente inalterado y puede ser adecuado por consiguiente, para diferentes ensayos de laboratorio.

6.1.2.7.5. PRECISIÓN

Como este método no produce datos numéricos que puedan repetirse, no es aplicable a la misma una proposición de precisión y tolerancias. **Tabla 6.1_7.**

Tabla 6.1_7. Dimensiones para la Extensión de Pared Delgada de la Zapata (1)

Diámetro exterior			
mm	50,8	76,2	102
pulg.	2	3	4
Espesor de la pared			
BWG	18	16	11
mm	1,24	1,65	3,05
pulg.	0,049	0,065	0,120

6.1.2.7.6. INFORME

Los datos obtenidos en cada perforación deberán registrarse en el terreno y deberán contener lo siguiente:

- Nombre y localización de la obra.
- Fecha de la perforación y horas de iniciación y conclusión.
- Número y localización de la perforación.
- Cota de la superficie del terreno, si se dispone de ella.
- Número y profundidad de la muestra.
- Método de avance del muestreador, penetración y longitudes recobradas.
- Descripción y tamaño del muestreador.
- Descripción del suelo (véase el **Método 6.1.1.1.**).
- Espesor de la capa.

1 Los tres diámetros indicados en esta tabla se indican con fines de normalización. Los espesores de las paredes de los diámetros intermedios de las extensiones de pared delgada, deberán ser proporcionales a las dadas en la **Tabla 6.1_7.**

- j) Profundidad hasta el nivel freático o profundidad del agua en exceso y hora de la lectura.
- k) Tamaño del revestimiento, profundidad del barreno revestido.
- l) Tipo y descripción del equipo de perforación.
- m) Nombres del personal: trabajadores de la cuadrilla, ingeniero, inspector, etc.
- n) Condiciones del clima y,
- o) Observaciones generales.

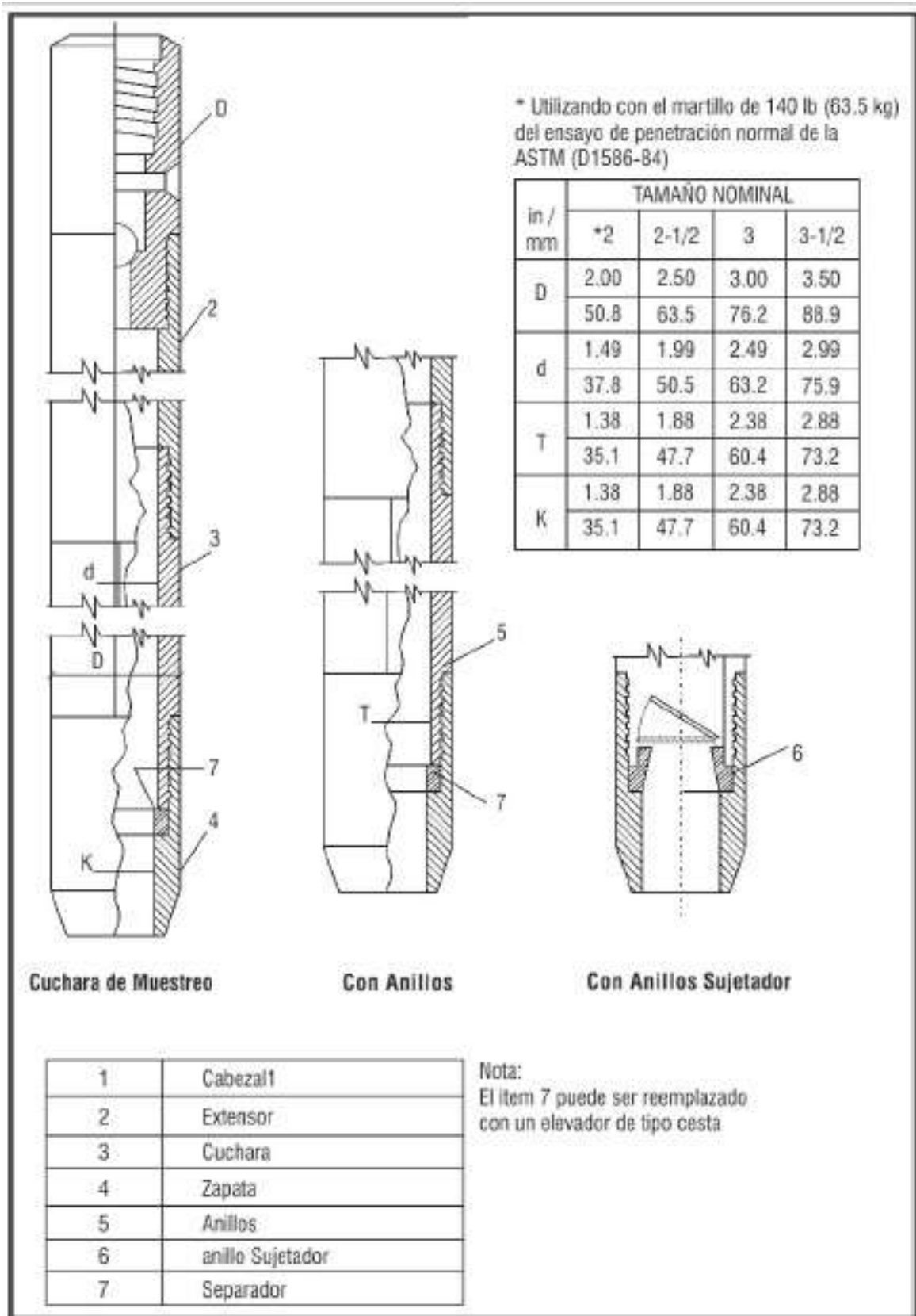


Figura 6.1_3. MUESTREADOR CON CAMISA INTERIOR DE ANILLOS

SECCION 6.1.2.8. INVESTIGACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS MEDIANTE BARRENAS CON VÁSTAGO HUECO (AASHTO T251)

6.1.2.8.1. OBJETO

Este método describe los procedimientos y el equipo necesarios para adelantar una perforación de muestreo de suelos, mediante una barrena con vástago hueco. Puede aplicarse cuando se requieran muestras representativas o muestras "in situ", o ambas, siempre que la formación del terreno sea de naturaleza no consolidada, que permita tal perforación con barrena.

Este método puede aplicarse en lugar del revestimiento para el muestreo o para la toma de núcleos, o de ambos, en cualquier formación de naturaleza tal, que permita la perforación con barrena, y cuando no se desee información alguna relacionada con resistencia al hincado, del revestimiento o del tubo guía.

6.1.2.8.2. DEFINICIÓN

A. BARRENA CON VÁSTAGO HUECO

Es una especie de barrena en forma de espiral continua, en la cual el elemento helicoidal está soldado a un tubo central hueco con un diámetro interior tal, que permita el paso de diferentes herramientas de muestreo. Los tramos de la barrena podrán ser de cualquier longitud deseada, pero deberán estar elaborados en tal forma que, cuando se conecten uno con otro, proporcionen un paso esencialmente sin restricciones, hermético e impermeable, en toda su longitud acoplada.

La distribución de la hélice deberá permitir una conducción continua de los desechos de un tramo a otro y a través de la profundidad completa del agujero de perforación.

6.1.2.8.3. EQUIPOS

Barrenas con vástago hueco, fabricadas de acero-carbono, de aleaciones de acero, o de ambos.

Deberán clasificarse como pequeñas, medianas y largas. Un dispositivo de barrena helicoidal con vástago hueco se muestra en la **Figura 6.1_4**.

a) Tamaño mínimo

Los diámetros interiores deberán ser de 57,2 mm (2,25"), 82,6 mm (3,25") y 95,2 mm (3,75"). Son aceptables tamaños adicionales y mayores, con tal de que cumplan con el requisito del párrafo siguiente para la luz libre del muestreador.

b) La holgura del muestreador deberá ser tal, que ningún muestreador o tubos sacanúcleos sea operado en, o a través de una barrena con vástago hueco, cuyo diámetro de dicho hueco sea menor del 108% del diámetro exterior del muestreador.

c) La barrena con vástago hueco podrá avanzar y tomar núcleos, conducida por cualquier máquina de perforación que tenga suficiente fuerza de torsión y de hincado, para hacerla girar y forzar hasta la profundidad deseada, con tal de que la máquina esté equipada con los accesorios necesarios para tomar la muestra o el núcleo requerido.

6.1.2.8.4. PROCEDIMIENTO

A. PROCEDIMIENTO A

Hágase avanzar la barrena de vástago hueco con tapón, hasta la profundidad de muestreo deseada. Retírese el tapón, sacando las varillas centrales de perforación y reemplácese con las herramientas requeridas para el muestreo o toma de los núcleos. Bájese la herramienta de muestreo a través de la barrena con vástago hueco, y asiéntese sobre el material inalterado en el fondo de la perforación. Procédase con la operación de muestreo, mediante rotación, presión o hincamiento de acuerdo con el método normal o el autorizado, que rija el uso de la herramienta particular de muestreo. Retírese el muestreador cargado sacando las varillas centrales.

Reemplácese el muestreador con el tapón y retórnese al fondo del hueco. Hágase avanzar la barrena de vástago hueco hasta la siguiente profundidad a la que se va a muestrear. Repítase la secuencia para cada muestra deseada.

B. PROCEDIMIENTO B

Hágase avanzar la barrena de vástago hueco con el tapón en su sitio, hasta la profundidad de muestreo deseada.

Retráigase el tapón, enrollando el cable en su carrete con el martillo y el tapón ensamblados.

Sepárese el tapón del martillo y sustitúyase por el muestreador guía deseado. Con el cable, bájese dentro del hueco el martillo con el muestreador ajustado, hasta apoyarlo sobre el material inalterado expuesto en el fondo del hueco. Procédase con la operación de muestreo de acuerdo con el método normal o el aprobado que gobierne el empleo del muestreador.

Alíviese el muestreador cargado, sobre barrenando hasta que la boca de la barrena se halle a la profundidad de la zapata del muestreador o descargándola hacia atrás. Recupérese el muestreador enrollando la línea de cable con el martillo y el muestreador ensamblados.

Sepárese el muestreador del martillo y reemplácese por el tapón de la barrena, o en el caso de muestreo continuo, con otro muestreador.

Bájese dentro del hueco el martillo con el tapón o con el muestreador, y reiniciése la perforación del barreno, o continúese el muestreo en la forma apropiada para el sistema que se esté efectuando, ya sea incremental o continuo. Repítase o continúese la secuencia hasta su terminación.

C. PROCEDIMIENTO C

Puede emplearse sin tapón, la barrena de vástago hueco. Cuando se emplea así, puede esperarse que se forme un tapón de suelo, en la boca de la barrena. Raras veces este tapón excederá de 102 a 152 mm (4" a 6") de espesor. Normalmente los muestreadores pueden presionarse o hincarse a través de este tapón. El tapón de suelo, sin embargo, llega a ser entonces la parte superior de la muestra. De acuerdo con esto, las muestras obtenidas así con la barrena de vástago hueco, deben acuñarse con pedazos de barrenas y muestreadores de desecho.

La barrena con vástago hueco puede emplearse con el tubo central lleno de un líquido a presión constante positiva, cuando se trabaje sin el tapón. El líquido podrá ser agua o lodo de perforación.

ción, sobrecargado tanto como sea necesario, para evitar la entrada de material saturado a flujo libre, dentro de la barrena.

Deberá tenerse cuidado de evitar la expulsión de la muestra por exceso de presión o peso del líquido, dentro del tubo central. Normalmente, el líquido sobrecargado deberá introducirse dentro del barreno, únicamente por gravedad, y solamente cuando sea necesario para mantener el nivel dentro del tubo central de la barrena, por encima del nivel de agua. El muestreo dentro de la barrena llena con líquido, deberá efectuarse de la manera normal prescrita para usar el muestreador especial, en una perforación llena con líquido.

En el caso de que haya ingreso de suelos dentro de la barrena, por pérdida de presión del líquido dentro del tubo central, o por otra causa, deberá lavarse el tubo central de la misma manera que se indica para la limpieza del revestimiento. El muestreo deberá ejecutarse entonces, como se prescribe para el empleo del muestreador especial en agujeros llenos de líquido; sin embargo, el informe de perforación deberá indicar siempre, que la pérdida de suelo ocurrió antes de efectuado el muestreo.

El flujo de material no cohesivo en el fondo de cualquier tipo de perforación, normalmente hace que se afloje el material a ese nivel o por debajo del fondo y por ello una muestra, o el valor "N" tomado, pueden no ser verdaderamente representativos de la condición inalterada del material.

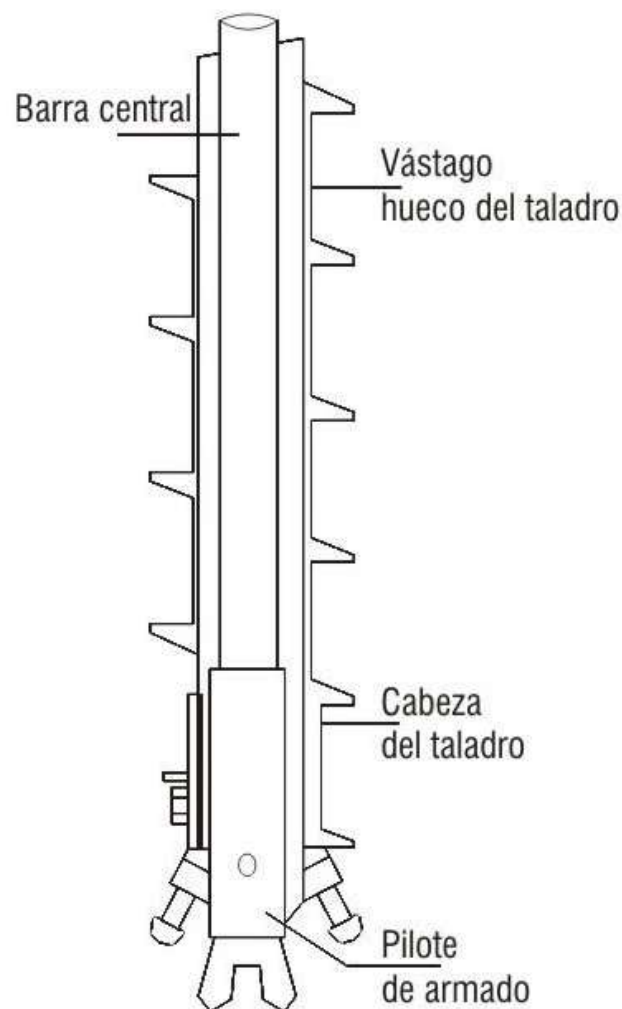


Figura 6.1_4. DISPOSITIVO DE BARRENA HELICOIDAL CON VÁSTAGO HUECO

SECCION 6.1.2.9. MÉTODO DE PENETRACIÓN NORMAL Y MUESTREO CON TUBO PARTIDO DE LOS SUELOS (ASTM D1586 AASHTO T206)

6.1.2.9.1. OBJETO

Este método describe el procedimiento generalmente conocido como Ensayo de Penetración Normal (Standard Penetration Test - SPT), para penetrar un muestreador de tubo partido con el fin de obtener una muestra representativa del suelo y una medida de la resistencia de dicho suelo, a la penetración del muestreador.

6.1.2.9.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS APLICABLES

A. CABEZAL

La pieza cilíndrica que el martillo o pesa golpea y a través del cual la energía se transmite a las varillas o tubos de perforación.

B. CILINDRO DE ROTACIÓN

El tambor de rotación o torno, alrededor del cual el operador enrolla un cable para subir y dejar caer el martillo, halando y aflojando sucesivamente el cable envuelto alrededor del cilindro.

C. BARRAS O TUBOS DE PERFORACIÓN

Barras o tubos empleados para transmitir hasta abajo, la fuerza y el giro a la broca de perforación, mientras se perfora el hueco. También se emplean para avanzar por simple percusión y lavado.

D. MARTINETE

Conjunto de equipos consistente en un martillo o pesa, guía para la caída de éste, cabezote, y cualquier sistema que haga caer el martillo.

E. MARTILLO O PESA

La parte del martinete que consiste de una pesa que produce el impacto, la cual sucesivamente se levanta y suelta para que al caer, proporcione la energía necesaria para efectuar el muestreo y la penetración.

F. SISTEMA DE CAÍDA DEL MARTILLO O PESA

La parte del martinete mediante la cual el operador logra el levantamiento y la caída del martillo o pesa para producir el golpe.

G. GUÍA PARA LA CAÍDA DEL MARTILLO O PESA

Aquella parte del martinete empleada para dirigir la caída del martillo.

H. VALOR DE N

Cuenta del número de golpes que representa la resistencia a la penetración del tubo partido en el suelo. El valor de N, relacionado como golpes por pie, es igual a la suma del número de golpes

requeridos para hincar él toma muestras en el intervalo de profundidad de 150 a 450 mm (6 a 18") (*véase el numeral 7*).

- Δ NEI número de golpes obtenidos en cada uno de los intervalos de 150 mm (6") de la penetración del muestreador (*véase 7*).

I. NÚMERO DE VUELTAS DEL CABLE

El ángulo de contacto total entre el cable y el Malacate de rotación, desde el comienzo del aflojamiento del cable por el operador, hasta la caída del martillo, dividido por 360° (*véase Figura 6.1_6*).

- Varillas o tubos de muestreo.
- Varillas o Tubos que conectan el dispositivo del martinete con el muestreador.

J. S.P.T.

Abreviatura para el ensayo de penetración normal, con la cual puede hacerse referencia al método.

6.1.2.9.3. USO Y SIGNIFICADO

Este método proporciona una muestra de suelo para investigación y ensayos de laboratorio a partir de un muestreador, el cual puede producir gran alteración en la muestra debido a la deformación por corte.

El método es ampliamente usado en la gran mayoría de proyectos de exploración geotécnica, y por tanto pueden existir correlaciones locales de la cuenta de golpes N, con el comportamiento en ingeniería de obras de tierra y fundaciones.

6.1.2.9.4. EQUIPOS Y MATERIALES

A. EQUIPO DE PERFORACIÓN

Será aceptable cualquier equipo de perforación, de potencia y características tales que produzca los resultados deseados. Los siguientes aditamentos del equipo, se consideran satisfactorios para el avance de una perforación en el subsuelo.

-Las brocas o puntas cola de pescado, cincel, estrella, aguda, etc., con diámetros menores de 162 mm (6,5") y mayores de 56 mm (2,2"), pueden emplearse con equipo de perforación o de percusión y lavado, rotatorio para abrir el hueco, o para el avance del revestimiento de perforación.

Para evitar la alteración del suelo subyacente, no se permiten brocas o puntas de descarga de fondo y solamente se permiten brocas de descarga lateral. - Las brocas ciegas apisonadoras cónicas, con diámetros menores de 162 mm (6,5") y mayores de 56 mm (2,2"), pueden emplearse con equipos de rotación o para el avance del revestimiento, si la descarga del lodo de perforación se desvía.

-Las barrenas de espiral continua para huecos superficiales, con o sin un dispositivo de broca en el centro, pueden emplearse para perforar el hueco. El diámetro interior de las barrenas de vástago vacío deberá ser menor de 162 mm (6.5") y mayor de 56 mm (2.2").

-Las barrenas u hoyadores manuales, de cuchara sólida, carrera continua, menores de 162 mm (6,5") y mayores de 56 mm (2,2") de diámetro, pueden emplearse si el suelo del hueco no se

derrumba formando cavidades y atascando el tomamuestras o los tubos de perforación durante el muestreo.

B. VARILLAS (TUBERÍA) PARA MUESTREO

Tubos de perforación de acero con uniones para conectar el muestreador de tubo partido al cabezote y la guía, sobre los cuales cae la pesa (martillo).

El tubo para muestrear deberá tener una rigidez (proporcional al momento de inercia) igual o mayor que el de una similar de tamaño "A" ("A" es un tubo de acero con diámetro exterior de 41,2 mm = 1 5/8" y un diámetro interior de 28,5 mm = 1 1/8").

Nota 1: *Investigaciones recientes y ensayos comparativos indican que el tipo de tubería empleada, con rigideces que varían desde la de las de tamaño "A" hasta las de tamaño "N", tendrá generalmente un efecto despreciable en los valores de N hasta profundidades de 30 metros (100 pies), por lo menos.*

C. MUESTREADOR DE TUBO PARTIDO

Deberá construirse con las dimensiones indicadas en la **Figura 6.1_7**. La zapata guía o punta deberá ser de acero endurecido y reemplazarse o repararse cuando se torne dentada o se distorsione. Se permite el uso de una camisa interior delgada, para producir un diámetro interior constante de 35 mm (1 3/8"), pero si se usa, esto deberá anotarse en el registro de la perforación. Se permite el empleo de una canastilla retenedora de la muestra, lo cual deberá anotarse en el registro.

Nota 2: *Tanto la teoría como los datos disponibles de ensayos, sugieren que los valores de N pueden aumentarse en un 10 a 30% cuando se usa camisa interior.*

D. MARTINETE O EQUIPO DE HINCADO

-Martillo y cabezote.- El martillo deberá pesar $63,5 \pm 1$ Kg. (140 ± 2 libras) y deberá ser una masa metálica sólida y rígida. El martillo deberá golpear el cabezote y poner en contacto el acero con el acero cuando cae. Deberá emplearse una guía para permitir caída libre. Los martillos empleados con malacate y cable, deberán tener una capacidad libre de levantamiento de por lo menos 100 mm (4"). Por razones de seguridad, se aconseja el empleo de un dispositivo de martillo con cabezote interior.

Nota 3: *Se sugiere que la guía del martillo esté marcada permanentemente, para permitir al operador o al inspector, el uso de la altura correcta de caída del martillo.*

-Sistema de caída del martillo. Pueden emplearse malacate o tambor, cable de recorrido, semiautomático, o sistema automático de caída del martillo, previendo que la caída del dispositivo no cause penetración del muestreador mientras se ajusta y se levanta el martillo.

E. EQUIPO ACCESORIO

Deben proporcionarse accesorios tales como marcadores, recipientes para muestras, parafina, hojas para datos y dispositivos para medir el nivel freático de acuerdo con las exigencias del Proyecto.

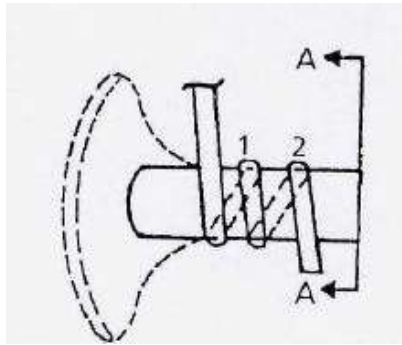


Figura 6.1_5. Equipos y Materiales utilizados

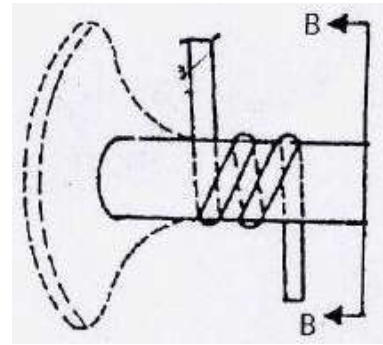
6.1.2.9.5. INSTALACIÓN DEL EQUIPO DE PERFORACIÓN

Nota 4: Antes de comenzar cualquier perforación, se debe:

- Revisar que el equipo se encuentre en condiciones operativas y ningún implemento presente defectos, que afecten los trabajos de perforación.
 - Localizar previamente por tanteo u otros medios (inf. De la empresa u organismo al que pertenezcan los servicios) cualquier cable subterráneo, tuberías de gas, agua u otros servicios públicos cercanos al lugar de la perforación.
1. Una vez ubicado el sitio de perforación se levanta el trípode, con la polea acoplada a él.
 2. La separación entre las patas del trípode debe ser equidistante con una separación aproximada de 4,30 m para que alcance una altura de 5 m aproximadamente. Con un nivel o plomada verifique la nivelación del equipo.
 3. Se hace pasar el mecate por el canal de la polea y se sujeta, enrollándolo en el cilindro rotatorio de la máquina. Existen dos formas de enrollar el mecate en el cilindro rotatorio:
 - a) Aproximadamente $\frac{3}{4}$ vueltas en el sentido inverso del reloj.
 - b) Aproximadamente $2 \frac{1}{4}$ vueltas en sentido de las agujas del reloj.



Enrollado de 3/4 de vuelta del mecate al cilindro rotatorio



Enrollado de 2 1/4 de vuelta del mecate al cilindro rotatorio

4. Se ensambla el tubo de perforación, el muestreador y se acopla al cabezal del martinete.
5. Una vez ensamblado el equipo; se señalará el sitio donde se comenzará el sondeo, se pone en funcionamiento el motor; se suspende el martillo con el mecate hasta una altura aproximada de 1 m, dejándose caer libremente sobre la superficie del terreno.



Ensamblado de los Accesorios



Ensayo con el Equipo

6. En el círculo interior de la huella dejada por el martillo se abre un hoyo de 15 cm de profundidad y 10 cm de diámetro, esto se hace con el fin de eliminar la capa de material suelto o la capa vegetal.



Apertura del Hoyo

6.1.2.9.6. PROCEDIMIENTO DE PERFORACIÓN

7. Deberá hacerse avanzar la perforación por incrementos, de manera que permita una toma de muestras intermitente o continua. Generalmente, se estipulan los intervalos y profundidades de ensayos. Típicamente, el intervalo escogido es de 1,5 m (5 pies) o menos en estratos homogéneos, con su respectivo muestreo a cada cambio de estrato.

8. Podrá aceptarse cualquier procedimiento de perforación que proporcione un agujero limpio y estable, antes de insertar el muestreador, y que garantice que el ensayo de penetración se efectúa sobre suelos esencialmente inalterados.

Deberán considerarse las condiciones subterráneas esperadas, cuando se escoge el método de perforación. Los procedimientos siguientes pueden considerarse aceptables:

- Método para efectuar la perforación mediante rotación y lavado. (Comúnmente con revestimiento).
 - Método continuo mediante una barrena de espiral con vástago vacío.
 - Método con lavado, comúnmente con camisa de revestimiento.
9. Algunos métodos de perforación producen huecos inaceptables. No se permitirá el proceso de inyectar agua a través de un tubo muestreador abierto y cuando se alcanza la profundidad deseada, tomar la muestra. Tampoco deberá avanzar el revestimiento por debajo de la profundidad de muestreo antes de efectuado éste. No se permite avanzar un hueco con brocas de descarga de fondo, pero pueden aceptarse brocas de descarga lateral.
 10. El nivel del fluido de perforación dentro del hueco o dentro de los barrenos de vástago vacío debe mantenerse en o sobre el nivel freático del sitio durante todo el tiempo que dure la perforación, la remoción de la tubería y el muestreo.

6.1.2.9.7. MUESTREO Y PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO

Después que haya avanzado la perforación hasta la profundidad deseada y que se haya limpiado en tal forma que se garantice que el material por ensayar no se encuentra alterado, se prepara el muestreo con la secuencia de operaciones que se indica:

- Conéctese el tubo partido a la tubería de perforación y bájese dentro del hueco, dejándolo caer suavemente, sin permitir que se introduzca dentro del suelo que va a ser muestreado.
- Colóquese el martillo en posición e instálese el cabezote en la parte superior de la tubería de perforación.
- Déjese en reposo el peso muerto del muestreador, tubería y cabezote, sobre el fondo del hueco y aplíquese un golpe de asentamiento. Si se hallan recortes excesivos en el fondo del hueco, extráigase el muestreador y la tubería para eliminar los recortes.
- Márquese el extremo superior de la tubería de perforación en tres incrementos sucesivos de 0,15 m (6") de manera que el avance del muestreador bajo el impacto del martillo, pueda ser observado fácilmente para cada incremento de 0,15m (6").

**Marcado de Longitud a Penetrar****Sujeción de la Tubería**

Hínquese el muestreador con golpes del martillo de 63,5 kg (140 lb), con caída de 0,76 m (30"), cuéntese el número de golpes aplicados a cada incremento de 0,15 m (6"), hasta cuando ocurra una de las siguientes condiciones.

-Que se haya aplicado un total de 50 golpes en cualquiera de los tres incrementos de 0,15 m (6") vistos en el numeral 5.

-Que se haya aplicado un total de 100 golpes para 0,30 m (12").

-Que no se observe avance del muestreador mediante la aplicación de 10 golpes sucesivos del martillo.

-Que el muestreador avance 0,45 m (18") completos, sin alcanzar las cuentas límites de golpes, descritas anteriormente.

Regístrese el número de golpes requeridos para efectuar cada 0,15 m (6") de penetración o de la fracción correspondiente. Se considera que los primeros 0,15 m (6") son para una penetración de asentamiento. La suma del número de golpes requeridos para el segundo y tercer avance de 0,15 m (6") de penetración, se llama la "resistencia a la penetración normal" o valor "N". Si el muestreador se introduce menos de 0,45 m (18"), el número de golpes para completar cada incremento de 0,15 m (6") y para cada incremento parcial deberá anotarse en el registro de la perforación.

Para incrementos parciales, la penetración deberá informarse con precisión a 25 mm (1"), en adición al número de golpes. Si avanza el muestreador por debajo del fondo del hueco bajo el peso estático de la tubería de perforación o bajo el peso de ésta más el peso estático del martillo, deberá anotarse esta información en el registro de la perforación.

La elevación y caída del martillo de 63,5 kilogramos (140 libras), deberá obtenerse empleando cualquiera de los siguientes métodos.

Empleando para la caída del martillo un sistema semiautomático o automático que levante amos (140 libras) del martillo y los deje caer sin ningún obstáculo en 0,76 m \pm 25 mm (30 \pm 1,0").

Empleando un malacate o cilindro de rotación para hallar un cable atado al martillo. Cuando se usa el método del cable con malacate o cilindro de rotación el sistema y la operación deberán cumplir con lo siguiente:

-El cilindro de rotación deberá estar esencialmente libre de polvo, aceite o grasa y tener un diámetro dentro del intervalo de 150 a 250 mm (6 a 10”).

-El malacate deberá operarse a una velocidad mínima de 100 rpm, o la velocidad aproximada de rotación deberá informarse en el registro de la perforación.

-No deberán emplearse más de 2¼ vueltas de cable sobre el cilindro del malacate durante la ejecución del ensayo de penetración, como se muestra en la **Figura 6.1_ 6**.

Nota 5: *El operador generalmente deberá emplear 1 ¾ o 2¼ vueltas del cable, dependiendo de si éste se pone en contacto en la parte superior (1 ¾ vueltas) o en el fondo (2¼ vueltas) del cilindro de rotación. Generalmente se sabe y acepta que más de 2 ¾ vueltas de cable impiden la caída adecuada del martillo y no deberán emplearse para efectuar el ensayo. El cilindro de rotación del cable deberá mantenerse en una condición relativamente seca, limpia y sin desgaste.*

-Para cada golpe del martillo, el operador deberá emplear un levantamiento y una caída de 0,76 m (30”). La operación de halar y aflojar el cable deberá efectuarse rítmicamente sin mantener el cable en la parte superior de la carrera.

Sáquese el muestreador a la superficie y ábrase. Regístrese el porcentaje de recuperación o longitud de la muestra recobrada. Descríbase la muestra de suelo recobrada, en cuanto a su composición, con color, estratificación y condición; colóquense luego una o más partes representativas de la muestra en frascos o recipientes sellados para el ensayo de humedad, sin que se compacte o distorsione cualquier estratificación aparente.



Sacamuestra



Medida de la Longitud de la Muestra

Séllese cada recipiente para evitar la evaporación de la humedad del suelo. Pónganse etiquetas a los recipientes con el nombre de la obra, el número de la perforación, la profundidad, la cuenta de golpes para cada incremento de 150 mm (6”) y la descripción del material. Protéjense las muestras contra cambios extremos de temperatura. Si hubiere un cambio de suelo dentro del muestreador, úsese un frasco para cada estrato y anótese su localización dentro del muestreador.

**Desacople de la Punta del Saca muestra****Envases Sellados con las Muestras**

6.1.2.9.8. INFORME

La información de la perforación deberá registrarse en el campo y deberá incluir lo siguiente:

- a) Nombre y localización de la obra.
- b) Nombres del grupo: Ingeniero supervisor, laboratorista inspector, operador, auxiliar y ayudantes.
- c) Tipo y marca del equipo de perforación.
- d) Condiciones meteorológicas.
- e) Fechas de iniciación y conclusión del sondeo.
- f) Número de la perforación y su localización (abscisa o distancias a algún eje de referencia).
- g) Elevación de la perforación, comúnmente con relación a un perfil del sitio de la obra.
- h) Método de avance y limpieza de la perforación.
- i) Método para mantener abierto el hueco de la perforación.
- j) Profundidad hasta el nivel de agua, hasta el nivel de pérdida de agua, hasta el nivel artésiano; tiempo y fecha de cuando se hicieron las respectivas lecturas o anotaciones.
- k) Localización de los cambios de estratos.
- l) Tamaño del revestimiento, profundidad de la parte revestida de la perforación.
- m) Equipo y método de hinca del muestreador.
- n) Tipo de muestreador, su longitud y diámetro interior (anótese el empleo de camisa interior de pared delgada).
- o) Tamaño, tipo y longitud de la tubería de muestreo.
- p) Observaciones.
- q) Los datos obtenidos para cada muestra deberán anotarse en el campo y deberán incluir lo siguiente:
- r) Profundidad y/o número de la muestra.

- s) Descripción del suelo.
- t) Cambios de estratos dentro de la muestra.
- u) Penetración del muestreador y longitudes recorridas.
- v) Número de golpes para cada 0,15 m (6"), o incremento parcial.

6.1.2.9.9. PRECISIÓN

Se han observado variaciones de los valores de N, cuando se emplean diferentes aparatos y perforadores para el ensayo de penetración, para sondeos adyacentes en la misma formación de suelo. La opinión corriente, basada en la experiencia de campo, indica que cuando se usa el mismo aparato y el mismo perforador, los valores de N en el mismo suelo pueden tener una variación de alrededor del 10%.

El empleo de equipo defectuoso, como por ejemplo un cabezote extremadamente pesado o dañado, un tambor de rotación empolvado y de baja velocidad, una manila muy gastada, un cable viejo aceitoso, poleas pobremente lubricadas, etc., pueden contribuir significativamente a diferencias en los valores de N, obtenidos con el mismo operador y el mismo sistema de aparejo de perforación.

La variabilidad en los valores de N producidos por diferentes equipos de perforación y operadores, puede evaluarse midiendo la parte de energía del martillo liberada sobre la tubería de perforación del muestreador, y ajustando el valor de N sobre la base de energías comparativas.

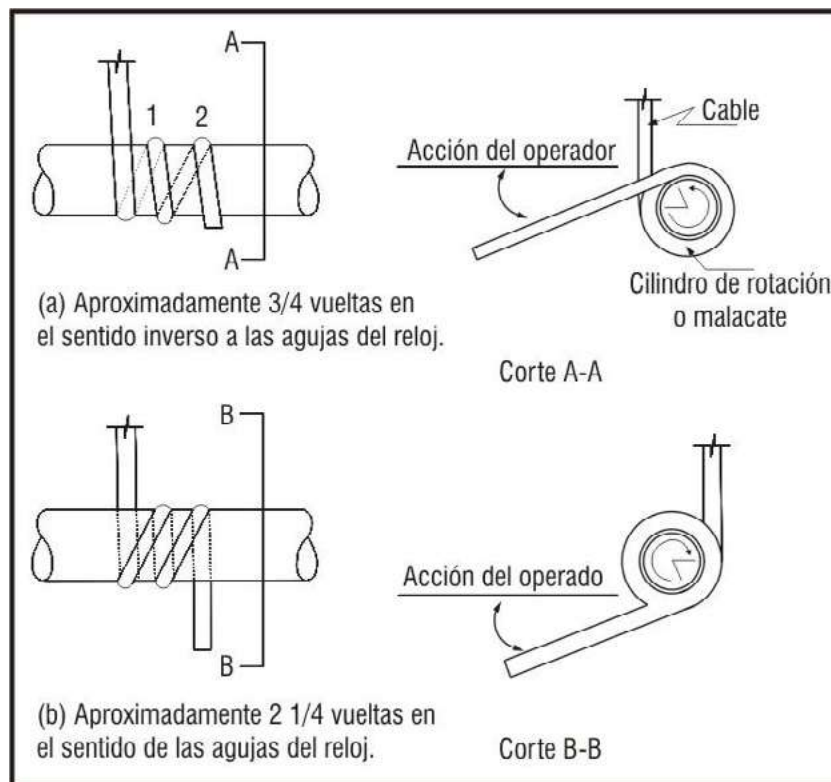


Figura 6.1_6. DEFINICIÓN DEL NÚMERO DE VUELTAS DEL CABLE Y EL ÁNGULO PARA LA ROTACIÓN DEL MALACATE A) EN SENTIDO CONTRARIO A LAS AGUJAS DEL RELOJ Y B) EN SENTIDO DE LAS AGUJAS DEL RELOJ

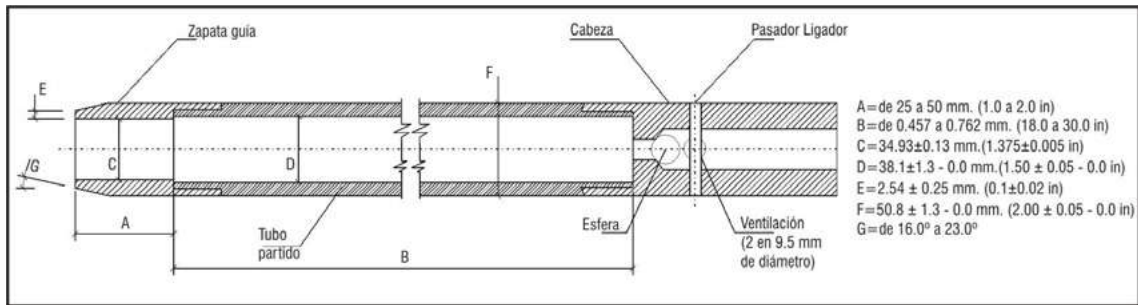


Figura 6.1_7. MUESTREADOR DE TUBO PARTIDO

SECCION 6.1.2.10.**TOMA DE MUESTRAS SUPERFICIALES DE SUELO INALTERADO NLT 203)****6.1.2.10.1. OBJETO**

En este método se describe la forma de obtener muestras de suelos cohesivos que conserven la estructura y humedad que tienen en su estado natural, cuando pueden tomarse superficialmente o de una profundidad a la que se llega por excavación a cielo abierto o de una galería.

Las dimensiones, forma y demás características de las muestras inalteradas, dependen del tipo de ensayo al cual van a estar sometidas.

Básicamente hay tres procedimientos generales para tomar este tipo de muestras:

- a) Muestras en bloque o muestra-trozo, tomadas de la superficie del terreno, del fondo de un pozo o del piso de una galería.
- b) Muestras en bloque, tomadas de una pared vertical de un pozo o galería.
- c) Muestras cilíndricas.

6.1.2.10.2. EQUIPOS Y MATERIALES

Se deben elegir las herramientas cortantes más adecuadas para cada tipo de suelo:

1. Herramientas para tallar la muestra, (paleta, cuchillos, martillo, cincel, palustres, sierra de alambre, etc.).
2. Hornillo, para calentar la parafina.
3. Recipientes, de diferentes tamaños y formas.
4. Herramientas para excavar.
5. Moldes cilíndricos o latas, con borde afilado y firme.
6. Parafina, vendas de malla abierta y brocha para aplicar la parafina.
7. Estopilla de algodón, aserrín, paja húmeda, etc., para empacar la muestra.
8. Tela plástica, papel parafinado, cuerda y demás elementos para envolver.

6.1.2.10.3. PROC EDIMIENTO**A. MUESTRAS EN BLOQUE DE LA SUPERFICIE DEL TERRENO, FONDO DE UN POZO O PISO DE UNA GALERÍA**

- Se descubre la capa de la que se pretende tomar la muestra, bajando la excavación a la profundidad precisa para que el terreno descubierto esté completamente fresco y no haya pérdida de humedad.

- Se alisa la superficie marcando el contorno de que ha de ser la cara superior de la muestra.
- Se excava una pequeña zanja alrededor de la marca, dejando entre el borde de la muestra y el borde interior de la zanja unos 10 cm. con el propósito de que esta operación de excavación, no afecte la muestra. La zanja deberá ser suficientemente ancha para permitir las operaciones de tallado, parafinado “in situ” y corte.
- Con las herramientas apropiadas, se le da forma cúbica y el tamaño final que ha de tener, cuidando la muestra, a medida que el tallado se acerca a la cara superior y las cuatro caras laterales.
- Una vez que la zanja esté suficientemente honda y las caras perfiladas, se extrae la muestra, cortándola con un cuchillo, paleta, u hoja de sierra, y se retira cuidadosamente.
- Si la muestra tiene suficiente consistencia, se talla la cara inferior antes de proceder a parafinarla aplicando con una brocha, una primera capa de parafina y a continuación se cubre con venda. Se repite el proceso hasta obtener un recubrimiento impermeable de 3 mm de espesor como mínimo.
- Si la muestra no tiene suficiente consistencia, antes de retirarla de la excavación, una vez tallada la cara superior y las cuatro caras, laterales, deben parafinarse, en la forma indicada en el párrafo anterior. Se confina con la caja de empaque prevista y luego se corta retirándola de la excavación, parafinando la última cara una vez perfilada.
- Cuando por circunstancias de clima o acción directa del sol, se puede presentar pérdida apreciable de humedad, se deberá parafinar cada cara en forma inmediata a su talla, terminando estas labores de parafinado, cuando se desprenda la muestra por su cara inferior.
- Antes de cerrar el empaque se debe colocar a la muestra una etiqueta con la siguiente información:
- Procedencia, situación (se marcan las caras superior e inferior), profundidad y ubicación dentro de la obra; se cierra la caja y se coloca exteriormente otra etiqueta con los mismos datos, indicando adicionalmente advertencias de las precauciones requeridas.
- Muestras en bloque de la pared del pozo o galería.
- Se rebaja la pared escogida, hasta que el terreno descubierto se encuentre cerca del suelo que conformará la muestra, previendo que este último conserve sus condiciones originales de humedad y estructura. Se alisa la superficie y se marca el contorno.
- Se excava alrededor y por detrás, dando forma al trozo, afinándolo hasta donde sea posible.
- Se corta el trozo y se retira del hoyo, procediendo a su parafinado y empaque como se describió anteriormente.

B. MUESTRAS CILÍNDRICAS

Estas muestras se pueden tomar directamente usando un anillo tomamuestras de filo cortante que se ajusta al molde que tenga las dimensiones requeridas, o también con un pote de hojalata común, con un trozo de tubo o con cualquier otro recipiente metálico que tenga dimensiones adecuadas. La secuencia es la siguiente:

- Se alisa la superficie del terreno y se aprieta el molde con el anillo contra el suelo, aplicando una presión moderada.

- Se excava la zanja alrededor del cilindro; manteniendo la presión hacia abajo. Se corta el suelo del lado exterior del anillo con el cuchillo, haciendo el corte hacia abajo y hacia afuera, para evitar afectar la muestra y para que el suelo continúe penetrando dentro del cilindro.
- Se excava la zanja más profunda y se repite el proceso hasta que el suelo penetre bien dentro del cilindro.
- Se corta la muestra por la parte baja del cilindro con una pala, cuchillo o sierra y se retira del hoyo.
- Tanto la superficie superior como la inferior deben recortarse a ras. Se protegen los extremos con discos de madera y se rebordean y atan con cinta aislante u otro material adecuado.
- Cuando se utilice como molde un pote de hojalata, el fondo se agujerea antes de hincarlo y luego de llenarlo con muestra, se sellan los agujeros con parafina, así como la superficie superior, cuando se haya cortado la muestra.

CAPITULO 6.1.3.

ENSAYOS RELACIONADOS A LA CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE SUELOS

SECCION 6.1.3.1. DETERMINACIÓN EN LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DE SUELO, ROCA Y MEZCLAS DE SUELO AGREGADO (ASTM D2216)

6.1.3.1.1. OBJETO

Este método cubre la determinación de laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelo, roca, y mezclas de suelo-agregado por peso. Por simplicidad, de aquí en adelante, la palabra “material” se refiere a suelo, roca o mezclas de suelo-agregado, la que sea aplicable.

El contenido de agua del material se define como la relación, expresada en porcentaje, entre la masa de agua que llena los poros o “agua libre”, en una masa de material, y la masa de las partículas sólidas de material.

Este método no da resultados verdaderamente representativos para materiales que contengan cantidades significativas de haloisita, montmorillonita, o minerales de yeso; suelos altamente orgánicos o materiales en los cuales el agua de los poros contiene sólidos disueltos (como sales en el caso de depósitos marinos). Para los materiales antes mencionados, un método modificado de ensayo o el cálculo previo de algunos datos pueden ejecutarse para obtener resultados consistentes con el propósito de este método.

6.1.3.1.2. USO Y SIGNIFICADO

Para muchos tipos de suelo, el contenido de agua es una de las propiedades índices más significativas, que se emplea para establecer una correlación entre el comportamiento de dicho suelo y otras propiedades índices.

El contenido de agua de un suelo se usa en casi todas las ecuaciones que expresan las relaciones de fase entre aire, agua y sólidos, en un volumen dado de material.

En suelos de grano fino (cohesivos), la consistencia depende de su contenido de agua. El contenido de agua de un suelo, junto con sus límites líquidos y plástico, son usados para expresar su consistencia relativa, o índice de liquidez.

El término “agua” como se usa en Ingeniería Geotécnica, se asume típicamente como el agua de “poros” o agua “libre” y no aquél que está hidratando las superficies minerales (agua de constitución).

Por lo tanto, el contenido de agua de materiales que tienen cantidades significativas de agua hidratada, (agua de constitución), a temperatura ambiente o menor de 110°C (230°F) puede ser engañoso.

El término de “partículas sólidas” como se usa en Ingeniería Geotécnica, se asume típicamente como las partículas minerales que se encuentren en su estado natural que no son fácilmente solubles en agua. Por lo tanto, el contenido de agua de los materiales que contienen materias extrañas (como cemento), materiales solubles en agua (como sal) y materia altamente orgánica, normalmente requieren de un tratamiento especial, o de una definición calificada del contenido de agua.

6.1.3.1.3. EQUIPOS Y MATERIALES

A. HORNO

Controlado termostáticamente, preferiblemente del tipo de corriente de aire y que mantenga una temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$) en toda la cámara de secado.

B. BALANZAS

Que tengan una precisión de $\pm 0,01$ g para muestras que tengan un peso de 200 g o menos; $\pm 0,1$ g para muestras que tengan un peso entre 200 y 1000 g, y ± 1 g para muestras que tengan un peso mayor a 1000 g.

C. RECIPIENTES

Vasijas apropiadas hechas de un material resistente a la corrosión y a cambios en su peso al ser sometidas a repetidos calentamientos y enfriamientos, y a operaciones de limpieza.

Para muestras con peso menor o próximo a 200 g, se usarán recipientes con tapas de cierre hermético; mientras que para muestras de peso mayor que 200 g se usarán recipientes sin tapa

(Nota 1). Se necesita un recipiente para cada determinación del contenido de agua.

Nota 1: *El propósito de las tapas de cierre hermético es doble: prevenir las pérdidas de humedad de las muestras antes del pesaje inicial y para evitar la absorción de humedad proveniente de la atmósfera después del secado y antes del pesaje final.*



Figura 6.1_8. Equipos Requeridos

6.1.3.1.4. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. MUESTRAS

Manténganse las muestras que estén almacenadas, antes del ensayo, en recipientes no corrosivos, herméticos, a una temperatura entre 3 y 30°C y en un área, en la que no tengan contacto directo con la luz solar (cuarto oscuro).

La determinación del contenido de agua, deberá hacerse tan pronto como sea posible, después de la preparación de la muestra, especialmente si se usan recipientes potencialmente oxidables (como tubos de acero de pared delgada, latas de pintura, etc.).

B.ESPÉCIMEN DE ENSAYO

a) Para la determinación del contenido de agua, hecho en conjunto con otros ensayos, el método de selección de la muestra está gobernado por el ensayo más elaborado.

b) La manera como se selecciona dicha muestra y el peso requerido, básicamente dependen del propósito (aplicación) del ensayo, del tipo de material que está siendo probado, y del tipo de muestra.

En todos los casos, sin embargo, una porción representativa de la muestra total debe ser seleccionada. Si un suelo está estratificado o se encuentra más de un tipo de suelo, selecciónese una porción promedio o porciones individuales o ambas, y especifíquese en el informe de resultados cual porción fue utilizada.

Para suelos gruesos, selecciónese la muestra del material después de que éste haya sido mezclado completamente. El peso del material húmedo escogido debe responder a la **Tabla 6.1_8**.

Tabla 6.1_8. PESO DE LA MUESTRA HUMEDAD

Tamiz que retiene más del 10% de la muestra	Peso recomendado de la muestra húmeda (g)
2,00 mm (N° 10)	100 a 200
4,75 mm (N° 4)	300 a 500
19,00 mm (3/4")	500 a 1.000
37,50 mm (1 ½ ")	1.500 a 3.000
75,00 mm (3")	5.000 a 10.000

Para muestras pequeñas, selecciónese una porción representativa de acuerdo con el siguiente procedimiento:

Para suelos no cohesivos, mézclase completamente el material, luego selecciónese un espécimen de prueba que tenga un peso de material húmedo de acuerdo con la tabla anterior (**Véase Nota 2**).

Para suelos cohesivos, remuévase aproximadamente 3 mm de material del perímetro expuesto de la muestra y secciónese éste a la mitad (para ver si el material está estratificado) antes de seleccionar el espécimen de muestra. Si el suelo está estratificado (véase 5 b)), la masa del material húmedo seleccionado no debe ser menor de 25 g; o debe estar de acuerdo con la **Tabla 6.1_8**, si se notan partículas de grano grueso (Nota 2).

c) Usar una muestra de ensayo, más pequeña que el mínimo peso indicado previamente, requiere discreción. Sin embargo, esto puede ser adecuado para el propósito del ensayo. Si una muestra tiene un peso menor que aquél previamente indicado, el hecho debe ser registrado en el informe de resultados.

Nota 2: En muchos casos, cuando se está trabajando con una muestra pequeña que contiene una cantidad relativamente grande de partículas de grano grueso, es apropiado no incluir estas partículas en el espécimen de prueba. Si esto ocurre, se debe anotar en el informe de resultados.

6.1.3.1.5. PROCEDIMIENTO

a) Escójase una muestra de ensayo representativa de acuerdo con el punto 4.

b) Colóquese la muestra húmeda en un recipiente limpio, seco, de peso conocido (Nota 3); colóquese la tapa firmemente en posición, y determine el peso del recipiente y la muestra de material usando una balanza apropiada. Anótese los valores.



Figura 6.1_9. Pesado de la Muestra

c) Remuévase la tapa y colóquese el recipiente con el material húmedo en un horno, manteniendo la temperatura a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$) y séquese hasta obtener peso constante. (Notas 4, 5 y 6)

Nota 3: Para facilitar el secado al horno de muestras de ensayo muy grandes, éstas deben ser colocadas en recipientes que tengan un área superficial amplia (como una bandeja) y el material separado en pequeños grupos.

Nota 4: El tiempo requerido para obtener un peso constante variará dependiendo del tipo del material, tamaño de la muestra, tipo del horno, su capacidad, y otros factores. La influencia de estos factores generalmente puede establecerse con un buen juicio, y experiencia con los materiales que se están ensayando y el aparato que se está usando.

En la mayoría de los casos, el secado de una muestra durante la noche (16 horas), es suficiente. En los casos donde existan dudas concernientes a lo adecuado del procedimiento de secado, éste debe conducirse hasta que el peso, después de dos períodos de secamiento consecutivos (mayores de 1/2 h.) indique un cambio insignificante (menor al 0.1%). Las muestras de arena, se pueden frecuentemente secar a un peso constante después de periodos de 4 horas, cuando se usa un horno de corriente de aire forzada.

Nota 5: Del secado en horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$) no siempre resultan valores del contenido de agua relacionados al uso que pretende dársele o la definición básica, especialmente para materiales que contienen yeso u otros minerales que incluyan una cantidad significativa de agua hidratada (agua de constitución), o para suelos que contienen cantidades significativas de materia orgánica. En muchos casos, y dependiendo del uso que se pretende dar a estos materiales, puede ser mejor mantener el horno de secado a una temperatura de $60 \pm 5^\circ\text{C}$ ($140 \pm 9^\circ\text{F}$) o usar un secador de vacío a una presión de vacío de 133Pa (10 mm de Hg) y a una temperatura que varíe entre 23 y 60°C (73 y 140°F). Si se usa cualquiera de estos métodos de secado, se debe anotar en el informe de resultados.

Nota 6: Ya que algunos materiales secos pueden absorber humedad de especímenes húmedos, dichos materiales deben removerse antes de colocar aquellos en el horno. Sin embargo, este requerimiento no será necesario si los especímenes secos van a permanecer en el horno por un período de secado adicional de 16 horas.



Figura 6.1_10. Secado de la Muestra Húmeda

d) Después que el material se haya secado a peso constante, remuévase el recipiente del horno y colóquese la tapa. Permítase que el material y el recipiente se enfríen a la temperatura ambiente, o hasta que el recipiente pueda ser manejado fácilmente con ambas manos y la operación de pesaje no esté afectada por corrientes convectivas. Determínese el peso del recipiente y de la muestra secada en el horno usando la misma balanza que usó en b.). Consérvese este valor.

Si el recipiente no tiene tapa, pésese el material inmediatamente para que la temperatura del recipiente sea tal que la operación del pesaje no sea afectada por corrientes convectivas o después de enfriarlo en un secador.

Nota 7: El enfriamiento en secador es recomendable ya que esto previene absorción de humedad proveniente de la atmósfera durante dicho proceso.



Figura 6.1_11. Pesado de la Muestra Secada al Horno

6.1.3.1.6. CÁLCULOS

Calcúlese el contenido de agua de la muestra así:

$$W = \left(\frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_c} \right) \times 100 = (W_w / W_s) \times 100$$

Donde:

W = Contenido de agua %.

W₁ = Peso del recipiente y del espécimen húmedo, g.

W₂ = Peso del recipiente y del espécimen seco, g.

W_c = Peso del recipiente, g.

W_w = Peso del agua, g.

W_s = Peso de las partículas sólidas, g.

6.1.3.1.7. INFORME

El informe (hoja de datos) debe incluir lo siguiente:

- Identificación de la muestra (material), por número de perforación, número de muestra, ensayo número, etc.
- El contenido de agua del espécimen, aproximado al 0.1% ó 1% dependiendo del propósito del ensayo.
- Indicación del espécimen de muestra que tenga un peso menor al mínimo indicado en el punto 5.
- Indicación del espécimen de muestra que contenga más de un tipo de suelo (por capas, etc).
- Indicación del método de secado si es diferente al de horno a $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$).
- Indicación de cualquier material (tamaño y cantidad) excluido del espécimen de prueba.

6.1.3.1.8. OBSERVACIONES

Los siguientes errores posibles causarían determinaciones imprecisas de la humedad.

- a) Muestra demasiado pequeña: mientras más grande es la muestra, más precisa es la determinación, debido a que se usan pesos mayores.
- b) Pérdida de humedad antes del pesado de la muestra húmeda: aún en el recipiente cubierto, la muestra puede perder una cantidad significativa de agua, a menos que la pesada se realice pronto.
- c) La muestra se saca del horno antes de obtener la condición de peso constante.
- d) Ganancia de humedad antes de que la muestra secada al horno se haya pesado.
- e) Pesar la muestra secada al horno cuando aún está caliente. La precisión de una balanza sensible puede ser afectada, por estar caliente la muestra y/o el recipiente al realizar la pesada.
- f) Peso incorrecto del recipiente.
- g) Temperatura incorrecta del horno.

6.1.3.1.9. ENSAYO DE HUMEDAD

PLANILA S0301_ 1 DETERMINACIÓN DE ENSAYO DE HUMEDAD

(1) OBRA:							(2) N ° SOLIC. SERV.:			
(3) USO:				(4) PROCEDENCIA:						
(5) N° LAB.	(6) FECHA	(7) IDENTIFICACION	(8) N° DE ENSAYO	(9) N ° ENVASE	(10) PESO ENVASE (g)	(11) ENVASE + SUELO HUMEDO (g)	(12) ENVASE + SUELO SECO (g)	(13) SUELO SECO (g)	(14) PESO AGUA (g)	(15) CONTENIDO DE HUMEDAD
(16) OBSERVACIONES										
RELIZADO POR: _____						REVISADO POR: _____				

MANUAL DEL USUARIO

(1) OBRA: Se debe colocar el nombre del trabajo o proyecto a ejecutar.
(2) N° DE SOLICITUD DE SERVICIO: Se debe de colocar el N° de solicitud de servicio con la cual se contrató el ensayo.
(3) USO: Se debe indicar cuál será o es uso del material a ensayar.
(4) PROCEDENCIA: Lugar de donde proviene la muestra.
(5) N° DE LABORATORIO: Es el número de identificación que se le da a la muestra al llegar al laboratorio.
(6) FECHA: Se debe colocar la fecha en que se realiza el ensayo.
(7) IDENTIFICACION: Se debe colocar la identificación de cada muestra.
(8) N° DE ENSAYO: Se debe identificar cada ensayo a realizar.
(9) N ° ENVASE: Identificación de la tara del envase.
(10) PESO ENVASE: Se debe anotar el peso del envase vacío en gramos.
(11) ENVASE + SUELO HUMEDO: Se debe anotar el peso del envase con el contenido de la muestra en gramos.
(12) ENVASE + SUELO SECO: Se debe anotar el peso del envase con el contenido de la muestra ya secada en gramos.
(13) SUELO SECO: Es igual a la diferencia obtenida entre la columna (12) y la columna (10)
(14) PESO AGUA (g): Es igual a la diferencia obtenida del resultado de la columna (12) y la columna (11)
(15) CONTENIDO DE HUMEDAD: Es igual a (columna (14)/columna (13))*100
(16) OBSERVACIONES: Se debe anotar cualquier comentario relevante que se quiera resaltar

SECCION 6.1.3.2. | ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422 AASHTO T88)

6.1.3.2.1. OBJETO

Este método permite, mediante tamizado, determinar la distribución por tamaños de las partículas mayores que 0,075 mm, de una muestra de suelo.

Nota 1: Para determinar la distribución por tamaños de la fracción bajo tamiz 0,075 mm (N° 200), se puede utilizar el procedimiento de sedimentar esa fracción en un líquido conocido, generalmente agua destilada, basándose en la Ley de Stokes, el cual establece que, en un fluido de densidad y viscosidad determinada, esferas de un mismo material adquieren una velocidad de sedimentación proporcional al cuadrado de sus diámetros. Este procedimiento se conoce como método del hidrómetro.

6.1.3.2.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A. BALANZA

Debe tener una capacidad superior a la masa de la muestra más el recipiente donde se va a pesar; la precisión debe ser de 0,1 g para muestras menores que 1.000 g y de 1 g para muestras mayores que 1.000 g.

B. TAMICES

Deben ser tejidos, de alambre, abertura cuadrada, tensados. Los tamaños nominales de las aberturas pertenecen a la serie que se indica en la **Tabla 6.1_9**.

Tabla 6.1_9. SERIE DE TAMICES

Tamaños nominales de abertura	
(mm)	ASTM
75	(3")
63	(2 ½")
50	(2")
37,5	(1 ½")
25	(1")
19	(¾")
9,5	(⅜")
4,75	(N° 4)
2	(N° 10)
0,425	(N° 40)
0,075	(N° 200)

Nota 2: Cuando no se cuente con tamices de aberturas nominales en mm, los tamaños nominales de los tamices pueden ser los correspondientes a ASTM.

C. MARCOS

Metálicos y suficientemente rígidos y firmes para fijar y ajustar las telas de alambre, a fin de evitar pérdidas de material durante el tamizado y alteraciones en la abertura de las mallas. Serán circulares, con diámetros de 200 mm y preferentemente de 300 mm para suelos gruesos.

D. DEPÓSITO RECEPTOR

Cada juego de tamices estará provisto de un depósito que ajuste perfectamente para la recepción del residuo más fino.

E. TAPA

Cada juego de tamices estará provisto de una tapa que ajuste perfectamente para evitar pérdidas de material y marcada con tres diámetros que formen ángulos de 60° entre sí.

F. HORNO

Tendrá circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

G. MORTERO

Con triturador de caucho para disgregar las partículas aglomeradas, sin reducir el tamaño de los granos individuales.

H. HERRAMIENTAS Y ACCESORIOS

Espátulas, brochas, recipientes para secado de muestras, recipientes para pesaje, etc.

6.1.3.2.3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Homogenice cuidadosamente el total de la muestra de terreno en estado húmedo; luego reduzca por cuarteo, para obtener, cuando esté seca, una cantidad de material ligeramente superior a la estipulada en **Tabla 6.1_10**, de acuerdo al tamaño máximo absoluto. Luego suelte el fino adherido a la grava y arena, si es necesario con agua, y deshaga los terrones con los dedos. Seque la muestra obtenida hasta masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$; si detecta la presencia materia orgánica, seque la muestra en el horno a $60 \pm 5^\circ\text{C}$.

Tabla 6.1_10. CANTIDAD MÍNIMA DE MUESTRA PARA GRANULOMETRÍA SEGÚN TAMAÑO MÁXIMO ABSOLUTO DEL SUELO

Tamaño máximo absoluto	Cantidad mínima de muestra a extraer n terreno (Kg)	Cantidad mínima de muestra para el ensayo (Kg)
5	2	0,5
10	8	2
20	20	5
25	40	10
50	60	15
80	80	20
100	120	30
150	160	40

6.1.3.2.4. PROCEDIMIENTO

- Pese toda la muestra con aproximación a 1 g y registre como A.
- Corte todo el material en el tamiz correspondiente al Tamaño Máximo Absoluto especificado; determine la masa de las fracciones sobre y bajo dicho tamaño con aproximación a 1 g y regístrelas como B y Z, respectivamente.

Nota 3: Para efectos de Clasificación de Suelos se debe considerar un corte simple del material en tamiz 75 mm (3") a la curva granulométrica obtenida con el presente método.

- Mida y registre el Tamaño Máximo Absoluto del material de la fracción B, determinada en el paso anterior.
- Corte todo el material registrado como Z en tamiz 4,75 mm (N° 4) y determine las masas, con precisión a 1 g, de la fracción que pasó y de la que quedó retenida en dicho tamiz. Regístrelas como C y D respectivamente (**Ver Nota 4**).

Nota 4: Se debe tomar la precaución de proteger el tamiz 4,75 mm (N°4) con uno mayor (19 mm o ¾").

- Coloque el material retenido en 5 mm (D) en un recipiente de lavado y agregue agua potable en cantidad suficiente para cubrir la muestra. Proceda a lavar el material siguiendo los pasos que se indican a continuación:
 - a) Agite la muestra con el agua de modo de separar el material fino, dejándolo en suspensión o en disolución.
 - b) Vacíe inmediatamente el agua con el material fino (en suspensión o en disolución) en los tamices N° 4 (4,75 mm) y N° 200 (0,075 mm), dispuestos en forma decreciente.
 - c) Agregue nuevas cargas de agua y repita la operación hasta que el agua agitada con la muestra permanezca limpia y clara.
 - d) Reúna el material retenido en los tamices con el material decantado en el recipiente de lavado.
 - e) Seque el material reunido hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
 - f) Pese y registre la masa lavada y seca como D'.
- Tamice el material registrado como D' a través de la serie de tamices 150 mm (6"); 100 mm (4"); 75 mm (3"); 50 mm (2"); 37,5 mm (1 ½"); 25 mm (1"); 19 (¾"); 9,5 mm (3/8") y 4,75 mm (N° 4). Efectúe este tamizado en dos etapas; un tamizado inicial, que podrá ser manual o mecánico, y un tamizado final que deberá ser manual.

a) Tamizado Inicial.

- Vacíe el material registrado como D' sobre el tamiz superior de la serie de tamices y cúbralo con la tapa y fondo.
- Agite el conjunto de tamices durante un lapso mínimo de 5 min. Aproximándose a la condición que se establece en ítem b) del punto 13.

b) Tamizado Final.

- Retire el primer tamiz provisto de depósito y tapa.
- Sosténgalo con las manos, manteniéndolo ligeramente inclinado.

- Agítelo con movimientos horizontales y verticales en forma combinada, girando el tamiz en forma intermitente. Esta operación durará al menos 1 min.
- Pese y registre el material retenido sobre el tamiz.
- Traslade el material contenido en el depósito al tamiz siguiente.
- Repita las operaciones descritas en los pasos anteriores hasta completar todos los tamices.
- Pese y registre la masa final del residuo contenido en el depósito.

Del material bajo 5mm, tome por cuarteo una muestra de 500 a 1000 g, y registre su masa como C'.

Lave cuidadosamente con agua potable el material sobre tamiz 0,075 mm (N° 200); vacíe a un bol el material retenido en tamiz 0,075 mm (N° 200) y seque hasta masa constante a $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

Pese y registre el material lavado y seco como C'', aproximando a 0,1 g.

Tamice el material preparado de acuerdo a 15, según procedimiento descrito en 14 a) y b), a través de la serie de tamices: 2 mm (N° 10); 0,425 mm (N° 40) y 0,075 mm (N° 200).

Determine la masa final del material retenido en cada tamiz y del material que pasa por el tamiz 0,075 mm (N° 200), recogido en el depósito. Registre como M_i con aproximación a 0,1 g.

La suma de todas las masas no debe diferir en más de 3% para el material bajo 5 mm, ni en más de 0,5% para el material sobre 5 mm, respecto de las masas registradas como C'' y D', respectivamente. En caso contrario, repita el ensayo.

6.1.3.2.5. CÁLCULOS

Calcule el porcentaje de sobre tamaño, de acuerdo a la expresión:

$$ST = \frac{B}{A} \times 100(\%)$$

Donde:

B: Masa de material sobre el Tamaño Máximo Absoluto especificado

A: Masa de muestra total.

Calcule el porcentaje retenido en el tamiz i del material sobre 4,75 mm, de acuerdo a la expresión:

$$R_i = \frac{M_i}{C + D} \times 100(\%)$$

Donde

M: Masa retenida en el tamiz i del material sobre 4,75 mm.

C: masa de la fracción bajo 4,75 mm.

D: masa de la fracción sobre 4,75 mm.

Calcule el porcentaje retenido en el tamiz i del material bajo 4,75 mm, de acuerdo a la expresión:

$$R_i = \frac{C \times M_i}{C' \times (C + D)} \times 100(\%)$$

Donde:

C: Masa de la fracción bajo 4,75 mm.

M_i : Masa retenida en el tamiz i del material bajo 4,75 mm.

C' : Masa de la muestra reducida por cuarteo de la fracción bajo 4,75 mm.

D: Masa de la fracción sobre 4,75 mm.

Expresar la granulometría como porcentaje acumulado que pasa por cada tamiz, indicando como primer resultado el del menor tamiz en que pasa el 100% y expresando el resultado para los siguientes tamices como la diferencia entre el porcentaje que pasa en el tamiz inmediatamente anterior al de cálculo y el retenido en el tamiz de cálculo. Aproxime los porcentajes que pasan al entero más cercano.

Los resultados de la granulometría pueden expresarse en forma gráfica en un sistema de coordenadas ortogonales; en las abscisas, a escala logarítmica, se indican las aberturas de los tamices y en las ordenadas, a escala lineal, los valores de los porcentajes que pasan en cada tamiz, obtenidos de acuerdo a lo indicado en 23.

En la **Figura 6.1_12** se incluye un formato tipo de ficha de ensayo para el registro de los resultados obtenidos.

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICO

Proyecto _____ Trabajo No. _____
 Localización del proyecto _____ Perforación No. _____ Muestra No. _____
 Descripción del suelo _____
 Realizado por _____ Fecha de la practica _____

Grava	Arena		Limo	Arcilla
	Gruesa a media	Fina		

Tamaños de tamices estándar tipo U. S.

Descripción visual _____

Clasificación del suelo _____ Sistema _____

Figura 6.1_12. FORMULARIO TIPO, ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – MECÁNICO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - MECÁNICO

Proyecto _____ Trabajo No. _____
 Localización del proyecto _____ Perforación No. _____ Muestra No. _____
 Descripción del suelo _____
 Realizado por _____ Fecha de la practica _____

Tamaño de la Muestra de Suelo

Diámetro nominal de la partícula mayor	Peso mínimo aproximado de muestra, g
Tamiz de 2 mm (No. 10)	200
Tamiz de 4,75 mm (No. 4)	500
Tamiz de 19 mm (3/4")	1500

Peso de la muestra seca + recipiente	
Peso del recipiente	
Peso de la muestra seca, W_s	

Análisis por tamizado y forma de granos

Tamaño nominal del tamiz		Peso retenido	% retenido	% que pasa
(mm)	Alternativo			

% que pasa = $100 - \sum$ % retenido.

Figura 6.1_13. FORMULARIO TIPO, DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

SECCION 6.1.3.3. | ANÁLISIS GRANUMOMÉTRICO POR MEDIO DEL HIDRÓMETRO (ASTMD422)

6.1.3.3.1. OBJETO

El análisis hidrométrico se basa en la Ley de Stokes, la cual relaciona la velocidad de una esfera, cayendo libremente a través de un fluido, con el diámetro de la esfera.

$$V = \frac{\tau_s - \tau_f}{1800 \eta} \times D^2$$

Donde:

V = Velocidad de la esfera (cm/s)

τ_s = Densidad de la esfera (g/cm³)

τ_f = Densidad del fluido (g/cm³)

η = viscosidad del Fluido (g.s/cm²)

D = Diámetro de la esfera (mm)

Se asume que la ley de Stokes puede ser aplicada a una masa de suelo dispersado, con partículas de varias formas y tamaños. El hidrómetro se usa para determinar el porcentaje de partículas de suelos dispersados, que permanecen en suspensión en un determinado tiempo.

Para ensayos de rutina con fines de clasificación, el análisis con hidrómetro se aplica a partículas de suelos que pasan el tamiz de 2.00 mm (N°10). Cuando se quiere más precisión, el análisis con hidrómetro se debe realizar a la fracción de suelo que pase el tamiz de 75 μ m (N°200).

6.1.3.3.2. EQUIPOS Y MATERIALES

- Tres (3) Balanzas, de precisión 0,01 g, 0,1 g y 1 g.
- Tamices, de 2,0 mm (N°10) y de 75 μ m (N°200).
- Tamizador mecánico.
- Aparato agitador, mecánico o neumático, con su vaso (**Figuras 6.1_15 y 6.1_16**).
- Hidrómetro, graduado para leer, de acuerdo con la escala que tenga grabada, el peso específico de la suspensión o los gramos por litro de suspensión. En el primer caso, la escala tiene valores de peso específico que van de 0,995 a 1,038 y estará calibrado para leer 1,00 en agua destilada a 20 °C (68°F). Este Hidrómetro se identifica como 151 H. En el otro caso, la escala tiene valores de gramos de suelo por litro (g/l) que van de -5 a +60. Se identifica como 152 H y está calibrado para el supuesto que el agua destilada tiene gravedad específica de 1,00 a 20°C (68°F) y que el suelo en suspensión tiene un peso específico de 2,65. Las dimensiones de estos hidrómetros son las mismas; sólo varían las escalas.
- Cilindro de vidrio para sedimentación, de unos 457mm (18") de alto, y 63,5mm (2,5") de diámetro y marcado para un volumen de 1000 ml a 20°C (68°F).

- Termómetro de inmersión, con apreciación de 0,5°C (0,9°F).
- Cronómetro o reloj.
- Horno, capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).
- Estufa o plancha de calentamiento.
- **Utensilios de uso general**

Envases apropiados para el manejo y secado de las muestras y un par de guantes de asbesto o caucho.

- **Agente Dispersante**

Una solución de hexametáfosfato de sodio; se usará en agua destilada o desmineralizada en proporción de 40g de hexametáfosfato de sodio por litro de solución.

Las soluciones de esta sal deberán ser preparadas frecuentemente (al menos una vez al mes) o ajustar su pH de 8 a 9 por medio de carbonato de sodio. Las botellas que contienen soluciones deberán tener la fecha de preparación marcada.

- **Agua**

Toda agua utilizada deberá ser destilada o desmineralizada. El agua para el ensayo con hidrómetro deberá llevarse hasta la temperatura que prevalecerá durante el ensayo; así, si el cilindro de sedimentación se va a colocar en baño de agua, la temperatura del agua destilada o desmineralizada que va a utilizarse se llevará a la temperatura de dicho baño. Si el cilindro de sedimentación se coloca a la temperatura ambiente del laboratorio, el agua deberá tener dicha temperatura. La temperatura normal de ensayo es la de 20 °C (68 °F). Sin embargo, variaciones de temperatura pequeñas, no implicarán el uso de las correcciones previstas.



Figura 6.1_14. Equipos Requerido para el Ensayo

6.1.3.3. CALIBRACIÓN DEL HIDRÓMETRO

El hidrómetro debe ser calibrado para determinar su profundidad efectiva en términos de lecturas de hidrómetro. Si se dispone de un hidrómetro tipo 151-H ó 152-H la profundidad efectiva puede ser obtenida de la **Tabla 6.1_ 11**.

Tabla 6.1_11. VALORES DE PROFUNDIDAD EFECTIVA BASADOS EN HIDRÓMETROS Y CILINDROS DE SEDIMENTACIÓN DADOS

Hidrómetro 151 H		Hidrómetro 152 H			
Lectura Actual del Hidrómetro	Profundidad efectiva, L, cm	Lectura Actual del Hidrómetro	Profundidad efectiva, L, cm	Lectura Actual del Hidrómetro	Profundidad efectiva L, cm
1,000	16,3	0	16,3	31	11,2
1,001	16,0	1	16,1	32	11,1
1,002	15,8	2	16,0	33	10,9
1,003	15,5	3	15,8	34	10,7
1,004	15,2	4	15,6	35	10,6
1,005	15,0	5,0	15,5	36,0	10,4
1,006	14,7	6,0	15,3	37,0	10,2
1,007	14,4	7,0	15,2	38,0	10,1
1,008	14,2	8,0	15,0	39,0	9,9
1,009	13,9	9,0	14,8	40,0	9,7
1,010	13,7	10,0	14,7	41,0	9,6
1,011	13,4	11,0	14,5	42,0	9,4
1,012	13,1	12,0	14,3	43,0	9,2
1,013	12,9	13,0	14,2	44,0	9,1
1,014	12,6	14,0	14,0	45,0	8,9
1,015	12,3	15,0	13,8	46,0	8,8
1,016	12,1	16,0	13,7	47,0	8,6
1,017	11,8	17,0	13,5	48,0	8,4
1,018	11,5	18,0	13,3	49,0	8,3
1,019	11,3	19,0	13,2	50,0	8,1
1,020	11,0	20,0	13,0	51,0	7,9
1,021	10,7	21,0	12,9	52,0	7,8
1,022	10,5	22,0	12,7	53,0	7,6
1,023	10,2	23,0	12,5	54,0	7,4
1,024	10,0	24,0	12,4	55,0	7,3
1,025	9,7	25,0	12,2	56,0	7,1
1,026	9,4	26,0	12,0	57,0	7,0
1,027	9,2	27,0	11,9	58,0	6,8
1,028	8,9	28,0	11,7	59,0	6,6
1,029	8,6	29,0	11,5	60,0	6,5
1,030	8,4	30,0	11,4		
1,031	8,1				
1,032	7,8				
1,033	7,6				

1,034	7,3				
1,035	7,0				
1,036	6,8				
1,037	6,5				
1,038	6,2				

Si el hidrómetro disponible es de otro tipo, procédase a su calibración de acuerdo a los pasos siguientes:

Determinese el volumen del bulbo del hidrómetro. (VB). Este puede ser determinado utilizando uno de los métodos siguientes:

1. Midiendo el volumen de agua desplazada.

- Llénese con agua destilada o desmineralizada un cilindro graduado de 1000 ml. de capacidad hasta aproximadamente 900 ml. Obsérvese y anótese la lectura del nivel del agua. El agua debe estar aproximadamente a 20 °C. (68 °F). Introdúzcase el hidrómetro y anótese la nueva lectura.
- La diferencia entre estas dos lecturas es igual al volumen del bulbo más la parte del vástago que está sumergida. El error debido a la inclusión del volumen del vástago es tan pequeño que puede ser despreciado para efectos prácticos.

2. Determinación del volumen a partir del peso del hidrómetro.

- Pésese el hidrómetro con una aproximación de 0,01 g. Debido a que el peso específico del hidrómetro es aproximadamente igual a la unidad, el peso del hidrómetro en gramos, es equivalente a su volumen en centímetros cúbicos. Este volumen incluye, el volumen del bulbo y del vástago. El error debido a la inclusión del volumen del vástago es despreciable.

Determinese el área "A" del cilindro graduado midiendo la distancia que existe entre dos marcas de graduación. El área "A" es igual al volumen incluido entre las dos graduaciones dividido entre la distancia medida.

Mídase y anótese la distancia desde la marca de calibración inferior en el vástago del hidrómetro hasta cada una de las marcas de calibración principales (R).

Mídase y anótese la distancia desde el cuello del bulbo hasta la marca de calibración inferior. La distancia "H" correspondiente a cada lectura "R", es igual a la suma de las dos distancias medidas en los anteriores.

Mídase la distancia desde el cuello hasta la punta inferior del bulbo. La distancia h/2 localiza el centro del volumen de un bulbo simétrico. Si el bulbo utilizado no es simétrico, el centro del volumen se puede determinar con suficiente aproximación proyectando la forma del bulbo sobre una hoja de papel y localizando el centro de gravedad del área proyectada.

Determinense las profundidades efectivas "L", correspondientes a cada una de las marcas de calibración principales "R" empleando la fórmula:

$$L = H_R + \frac{1}{2} \times (h - V_B/A)$$

Siendo:

L = Profundidades efectivas.

H_R = Distancias correspondientes a las lecturas R.

h = Distancia desde el cuello hasta la punta inferior del bulbo.

V_b = Volumen del Bulbo.

A = Área del cilindro graduado.

Constrúyase una curva que exprese la relación entre “R” y “L”. Esta relación es esencialmente una línea recta para los hidrómetros simétricos.

6.1.3.3.4. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

El tamaño aproximado de la muestra que se debe usar para el análisis por el hidrómetro varía con el tipo de suelo que va a ser ensayado. La cantidad requerida para suelos arenosos es de 75 a 100 g y para limos y arcillas de 50 a 60 g (Peso seco). El peso exacto de la muestra en suspensión puede ser determinado antes o después del ensayo. Sin embargo, el secado al horno de algunas arcillas antes del ensayo puede causar cambios permanentes en los tamaños de granos aparentes; las muestras de estos suelos deben ser conservadas con su contenido de humedad natural, y ensayadas sin ser secadas al horno.

El peso se determina mediante la siguiente fórmula:

$$W_s = \frac{\text{Peso del suelo húmedo}}{1 + \left(\frac{\text{humedad (w)}}{100}\right)}$$

Donde la humedad (w) se determinará usando una porción de muestra que no vaya a ser ensayada.

6.1.3.3.5. PROCEDIMIENTO

El procedimiento consistirá en los siguientes pasos:

Anótese en el formato toda la información existente para identificar la muestra, como por ejemplo: obra, número de la muestra y otros datos pertinentes.

Determínese la corrección por defloculante y punto cero, Cd. y la corrección por menisco, cm., a menos que ya sean conocidas (ver apartado “Corrección de las lecturas del Hidrómetro”).

Anótese toda esta información en el formato.

Determínese el peso específico de los sólidos, Gs.

Si el peso secado al horno se va a obtener al principio del ensayo, séquese la muestra al horno, déjese enfriar y péseese con una aproximación de 0,1 g. Anótese en el formato el valor obtenido.

Colóquese la muestra en una cápsula de 250 ml previamente identificada con un número, agréguese agua destilada o desmineralizada hasta que la muestra quede totalmente sumergida. Colóquese el agente dispersante en este momento: 125 ml de solución de **hexametáfosfato de sodio (40g/l)**.

Déjese la muestra en remojo por una noche hasta que los terrones de suelo se hayan desintegrado. Suelos altamente orgánicos requieren un tratamiento especial, y puede ser necesario oxidar la materia orgánica antes del ensayo. La oxidación puede ser llevada a cabo mezclando

la muestra con una solución, al 30 % de peróxido de hidrógeno; esta solución oxidará toda la materia orgánica.

Si el suelo contiene poca cantidad de materia orgánica, el tratamiento con peróxido de hidrógeno no es necesario.

Transfírase la muestra con agua, de la cápsula a un vaso de dispersión (**Figuras 6.1_15 y 6.1_16**), lavando cualquier residuo que quede en la cápsula con agua destilada o desmineralizada.

Agréguese agua al vaso de dispersión si es necesario, hasta que la superficie de ésta quede de 50 a 80 mm por debajo de la boca del vaso; si el vaso contiene demasiada agua, ésta se derramará durante el mezclado. Colóquese el vaso de dispersión en el aparato agitador durante el tiempo de un minuto.



Transferencia de la Muestra al Vaso de Agitación



Colocación del Vaso en el Agitador Eléctrico

Para lograr la dispersión se puede emplear también aire a presión en lugar del método mecánico del agitador. En este caso, se coloca un manómetro entre el vaso y la válvula de control, la cual se abre inicialmente para obtener una presión de 0,07 kg/cm² (1 psi). Se transfiere la lechada de suelo-agua de la cazuela al vaso de dispersión, lavando con agua destilada el remanente de la cazuela, y rellenando si es necesario, con más agua destilada hasta el volumen de 250 ml. Se tapa el vaso y se abre la válvula de control hasta obtener una presión de 1,4 kg/cm² (20 psi). La dispersión se hará de acuerdo con la siguiente **Tabla 6.1_12**:

Tabla 6.1_12. PERIODO DE DISPERSIÓN MÍNIMO

Índice de Plasticidad del Suelo	Periodo de dispersión min.
Menor del 5%	5
Del 6% a 20 %	10
Mayor del 20 %	15

Los suelos que contienen altos porcentajes de mica se dispersarán durante un (1) minuto.

Se transfiere la suspensión a un cilindro de sedimentación de 1000 ml. La suspensión debe ser llevada a la temperatura que se espera prevalecerá en el laboratorio durante el ensayo.



Suspensión Dispersada



Volumen Total de la Suspensión Dispersada

Un minuto antes de comenzar el ensayo, tómesese el cilindro de sedimentación y tapándolo con la mano o con un tapón adecuado, agítese la suspensión vigorosamente durante varios segundos, con el objeto de remover los sedimentos del fondo y lograr una suspensión uniforme. Continúese agitando hasta completar un minuto volteando el cilindro hacia arriba y hacia abajo alternativamente.

Algunas veces, es necesario aflojar los sedimentos del fondo del cilindro, mediante un agitador de vidrio antes de proceder a agitar la lechada. Se deben ejecutar sesenta (60) giros durante ese minuto.

Alternativamente, la suspensión puede ser agitada antes de proceder al ensayo mediante un agitador manual, semejante al que se muestra en el esquema de la **Figura 6.1_ 17**. Moviendo dicho agitador hacia arriba y hacia abajo, a través de la suspensión, se consigue una distribución uniforme de las partículas de suelo. Este proceso evita también la acumulación de sedimentos en la base y en las paredes del cilindro graduado.

Al terminar el minuto de agitación, colóquese el cilindro sobre una mesa. Póngase en marcha el cronómetro. Si hay espuma presente, remuévala tocándola ligeramente con un pedazo de papel absorbente. Introdúzcase lentamente el hidrómetro en la suspensión. Se debe tener mucho cuidado cuando se introduce y cuando se extrae, para evitar perturbar la suspensión.

Obsérvense y anótense las dos primeras lecturas de hidrómetro, al minuto, y a los dos minutos después de haber colocado el cilindro sobre la mesa. Estas lecturas deben realizarse en el tope del menisco. Inmediatamente después de realizar la lectura de los 2 minutos, extráigase cuidadosamente el hidrómetro de la suspensión y colóquese en un cilindro graduado con agua limpia. Si el hidrómetro se deja mucho tiempo en la suspensión, parte del material que se está asentando se puede adherir al bulbo, causando errores en las lecturas.



Inmersión del Hidrómetro en la Sedimentación



Hidrómetro sumergido en Agua Destilada

Luego, introdúzcase nuevamente el hidrómetro y realícense lecturas a los: 5, 15, 30, 60, 120, 250 y 1.440 minutos. Todas estas lecturas deben realizarse en el tope del menisco formado alrededor del vástago. Inmediatamente después de cada una de estas lecturas, extráigase el hidrómetro cuidadosamente de la suspensión y colóquese en el cilindro graduado con agua limpia.

Después de realizar la lectura de hidrómetro de los 2 minutos y después de cada lectura siguiente, colóquese un termómetro en la suspensión, mídase la temperatura y anótese en la planilla con una aproximación de 0,5 °C (0,9 °F). Los cambios de temperatura de la suspensión durante el ensayo afectan los resultados. Las variaciones en la temperatura deben ser minimizadas colocando el cilindro lejos de fuentes de calor tales como hornos, rayos de sol o ventanas abiertas. Una forma conveniente de controlar los efectos de la temperatura, es colocar el cilindro graduado que contiene la suspensión en un baño de agua.

Si el peso de la muestra se va a determinar al final del ensayo, lávese cuidadosamente toda la suspensión transfiriéndola a una cápsula de evaporación. Séquese el material al horno, déjese enfriar y determínese el peso de la muestra. El peso seco de la muestra de suelo empleada se obtendrá restándole a este valor el peso seco del agente defloculante empleado.



Anotación de los Datos



Secado de la Muestra en el Horno

6.1.3.3.6. CORRECCIÓN DE LAS LECTURAS DEL HIDRÓMETRO

Antes de proceder con los cálculos, las lecturas de hidrómetro deberán ser corregidas por menisco, por temperatura, por defloculante y punto cero.

H.1. Corrección por Menisco (cm.)

Los hidrómetros se calibran para leer correctamente a la altura de la superficie del líquido. La suspensión de suelo no es transparente y no es posible leer directamente a la superficie del líquido; por lo tanto, la lectura del hidrómetro se debe realizar en la parte superior del menisco. La corrección por menisco es constante para un hidrómetro dado, y se determina introduciendo el hidrómetro en agua destilada o desmineralizada y observando la altura a la cual el menisco se levanta por encima de la superficie del agua. Valores corrientes de cm. son:

Hidrómetro tipo 151 H: cm. = 0,6 x 10⁻³ g/cm³

Hidrómetro tipo 152 H: cm. = 1,0 g/litro.

H.2. Corrección por Temperatura (Ct)

A cada una de las lecturas de hidrómetro se debe aplicar también un factor de corrección por temperatura, el cual debe sumarse algebraicamente a cada lectura. Este factor puede ser positivo o negativo, dependiendo de la temperatura de la suspensión en el momento de realizar cada lectura. Obténgase el valor del factor de corrección por temperatura para cada lectura de hidrómetro empleando la **Tabla 6.1_13** y anótense estos valores en su planilla.

H.3. Corrección por Agente de Dispersión y por Desplazamiento del Punto Cero (Cd)

Los granos de suelos muy finos en suspensión tienden normalmente a flocular y se adhieren de tal forma que tienden a precipitarse juntos. Por lo tanto, es necesario añadir a las muestras un agente de disgregación para evitar la floculación durante el ensayo. Los agentes defloculantes siguientes han sido utilizados satisfactoriamente para la mayoría de los suelos:

Tabla 6.1_13. AGENTES DEFLOCULANTES

Agente Defloculante	Fórmula
Hexametáfosfato de sodio amortiguado con carbonato de sodio (Calgón)	NaPO_3 ; o; $(\text{NaPO}_3)_6$
Polifosfato de sodio	$\text{Na}_{12}\text{P}_{10}\text{O}_{31}$
Tripolifosfato de sodio	$\text{Na}_5\text{P}_2\text{O}_{10}$
Tetra fosfato de sodio	$\text{Na}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$

- La adición de un agente defloculante produce aumento en la densidad del líquido y obliga a realizar una corrección a la lectura del hidrómetro observado. Así mismo, como la escala de cada hidrómetro ha sido graduada para registrar una lectura cero o lectura inicial a una temperatura base, que generalmente es 20°C (68°F), existirá un desplazamiento del punto cero, y las lecturas de hidrómetro observadas también deberán corregirse por este factor.
- La corrección por defloculante se determina generalmente en conjunto con la corrección por punto cero; por ello se les denomina “corrección por defloculante y punto cero”.
- El procedimiento para determinar la corrección por defloculante y punto cero consistirá en los pasos siguientes:

Se selecciona un cilindro graduado de 1000 ml. de capacidad y se llena con agua destilada o desmineralizada con una cantidad de defloculante igual a la que se empleará en el ensayo. Si en el ensayo no se va a utilizar defloculante, llénese el cilindro sólo con agua destilada o desmineralizada. En este caso, la corrección será solamente por punto cero.

Realícese, en la parte superior del menisco, la lectura del hidrómetro e introdúzcase a continuación un termómetro para medir la temperatura de la solución. Calcúlese la corrección por defloculante y punto cero (Cd) mediante la fórmula:

$$-Cd = \tau^1 + C_m + C_t$$

Donde:

τ^1 = Lectura del hidrómetro, en agua con defloculante únicamente.

C_m = Corrección por menisco

C_t = Corrección por temperatura, sumada algebraicamente.

6.1.3.3.7. CÁLCULOS

Lectura de Hidrómetro corregida

Calcúlese las lecturas de hidrómetro corregidas por menisco (R) sumándolo a cada lectura de hidrómetro no corregida (R'), la corrección por menisco C_m , o sea:

$$R = R' + C_m$$

Anótese en la planilla los valores R obtenidos.

A. CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LAS PARTÍCULAS (D)

El diámetro de las partículas de suelo en suspensión en el momento de realizar cada lectura de hidrómetro se calcula con la formula siguiente:

$$D (mm) = K \left(\frac{L}{t} \right)$$

Donde:

L = Profundidad efectiva en cm.

t = tiempo transcurrido en min.

$$K = \frac{30 \times \left(\frac{\mu}{g} \right)}{t_s - t_w}$$

y

Donde:

g = Aceleración gravitacional = 980,7 cm/s²

μ = Coeficiente de viscosidad del agua en Poises

t_s = Peso unitario de los sólidos del suelo en g/cm³

t_w = Peso unitario del agua destilada, a la temperatura T , en g/cm³

Los valores de K están tabulados en la **Tabla 6.1_ 14**, en función del peso específico y la temperatura

Tabla 6.1_14. VALORES DE K A SER USADOS EN EL CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LAS PARTÍCULAS

Temperatura	Peso específico de las partículas de suelo								
	2,45	2,5	2,55	2,6	2,65	2,7	2,75	2,8	2,85
16	0,0151	0,01505	0,01481	0,01457	0,01435	0,01414	0,01394	0,01374	0,01356
17	0,01511	0,01486	0,01462	0,01439	0,01417	0,01396	0,01376	0,01356	0,01338
18	0,01492	0,01467	0,01443	0,01421	0,01399	0,01378	0,01359	0,01339	0,01321
19	0,01474	0,01449	0,01425	0,01403	0,01382	0,01361	0,01342	0,01323	0,01305
20	0,01456	0,01431	0,01408	0,01386	0,01365	0,01344	0,01325	0,01307	0,01289
21	0,01438	0,01414	0,01391	0,01369	0,01348	0,01328	0,01309	0,01291	0,01273
22	0,01421	0,01397	0,01374	0,01353	0,01332	0,01312	0,01294	0,01276	0,01258
23	0,01404	0,01381	0,01358	0,01337	0,01317	0,01297	0,01279	0,01261	0,01243
24	0,01388	0,01365	0,01342	0,01321	0,01301	0,01282	0,01264	0,01246	0,01229
25	0,01372	0,01349	0,01327	0,01306	0,01286	0,01267	0,01249	0,01232	0,01215
26	0,01357	0,01334	0,01312	0,01291	0,01272	0,01253	0,01235	0,01218	0,01201
27	0,01342	0,01319	0,01297	0,01277	0,01258	0,01239	0,01221	0,01204	0,01188
28	0,01327	0,01304	0,01283	0,01264	0,01244	0,01225	0,01208	0,01191	0,01175
29	0,01312	0,0129	0,01269	0,01249	0,0123	0,01212	0,01195	0,01178	0,01162
30	0,01298	0,01276	0,01256	0,01236	0,01217	0,01199	0,01182	0,01165	0,01149

Para hidrómetros 152 H

$$\text{Porcentaje mas fino} = \frac{100 \times a}{W_o} \times (R - C_d \pm C_t)$$

Donde:

G_s = Peso específico de los solidos

W_o = Peso de la muestra de suelo secado al horno que se empleó para el análisis del hidrómetro.

$(R - C_d \pm C_t)$ = Lectura de hidrómetro corregida por menisco menos corrección por defloculante y punto cero, mas (sumada algebraicamente) corrección por temperatura.

a = Factor de corrección por peso específico (ver **Tabla 6.1_15**)

Tabla 6.1_15. VALORES DEL FACTOR "a", DE CORRECCIÓN PARA DIFERENTES PESO ESPECÍFICO DE PARTÍCULAS DE SUELO

Peso específico	Factor de corrección
2,95	0,94
2,9	0,95
2,85	0,96
2,8	0,97
2,75	0,98
2,7	0,99
2,65	1
2,6	1,01
2,55	1,02
2,5	1,03
2,45	1,05

Anótense todos los valores obtenidos en su planilla. El factor C_t puede ser positivo o negativo dependiendo de la temperatura de la suspensión en el momento de realizar la lectura. Úsese la fórmula $(R - C_d \pm C_t)$ dependiendo si C_t es positivo o negativo.

6.1.3.3.8. OBSERVACIONES

Los siguientes errores posibles causarían determinaciones imprecisas en un análisis granulométrico por hidrómetro.

- Suelo secado al horno antes del ensayo. - Excepto para el caso de suelos inorgánicos de resistencia seca baja, el secado al horno puede causar cambios permanentes en el tamaño de las partículas.
- Agente dispersante no satisfactorio o en cantidad insuficiente. - Siempre y cuando se vayan a ensayar suelos nuevos o no usuales, es necesario realizar tanteos para determinar el tipo y la cantidad de compuesto químico que producirá la dispersión y defloculación más efectivas.

- Dispersión incompleta del suelo en la suspensión. - Agitación insuficiente de la suspensión en el cilindro al comienzo del ensayo.
- Demasiado suelo en suspensión. - Los resultados del análisis hidrométrico serán afectados si el tamaño de la muestra excede las cantidades recomendadas.
- Perturbación de la suspensión cuando se introduce o se remueve el hidrómetro. - Tal perturbación es muy corriente que ocurra cuando el hidrómetro se extrae rápido después de una lectura.
- El hidrómetro no está suficientemente limpio. - La presencia de polvo o grasa en el vástago del hidrómetro puede impedir el desarrollo de un menisco uniforme.
- Calentamiento no uniforme de la suspensión. - Variación excesiva de la temperatura de la suspensión durante el ensayo.
- Pérdida de material después del ensayo. - Si el peso del suelo secado al horno se obtiene después del ensayo, toda la suspensión debe ser lavada cuidadosamente del cilindro.

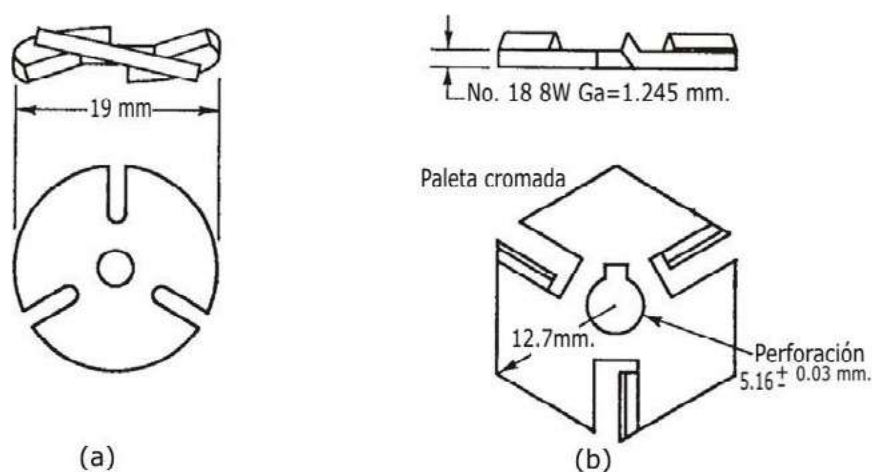


Figura 6.1_15. DETALLE DEL APARATO AGITADOR

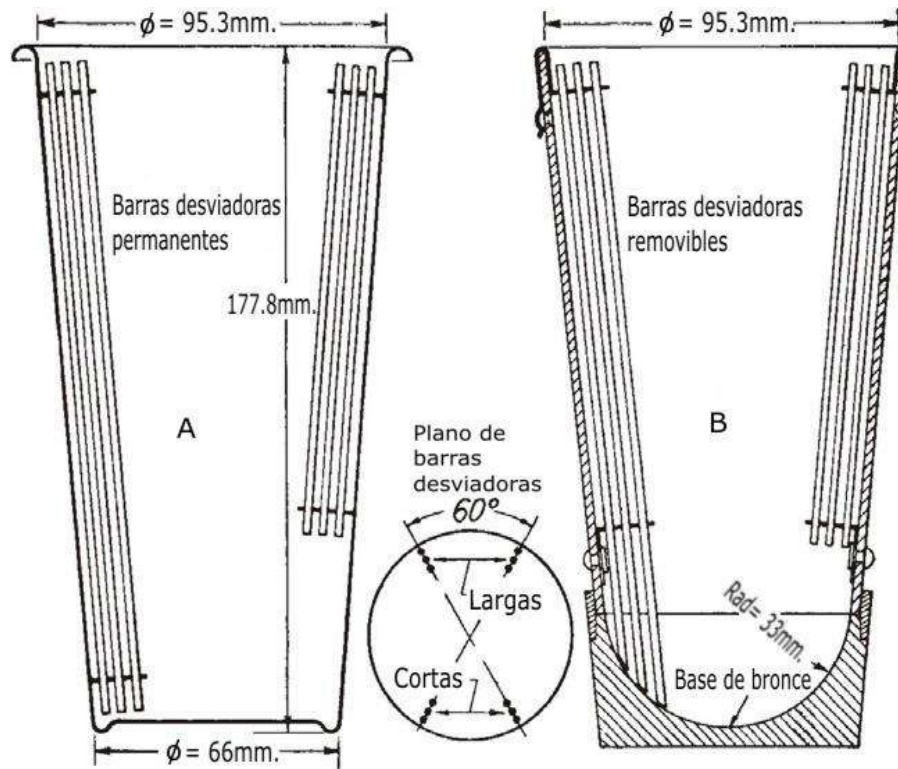


Figura 6.1_16. DETALLE VASO DEL APARATO AGITADOR

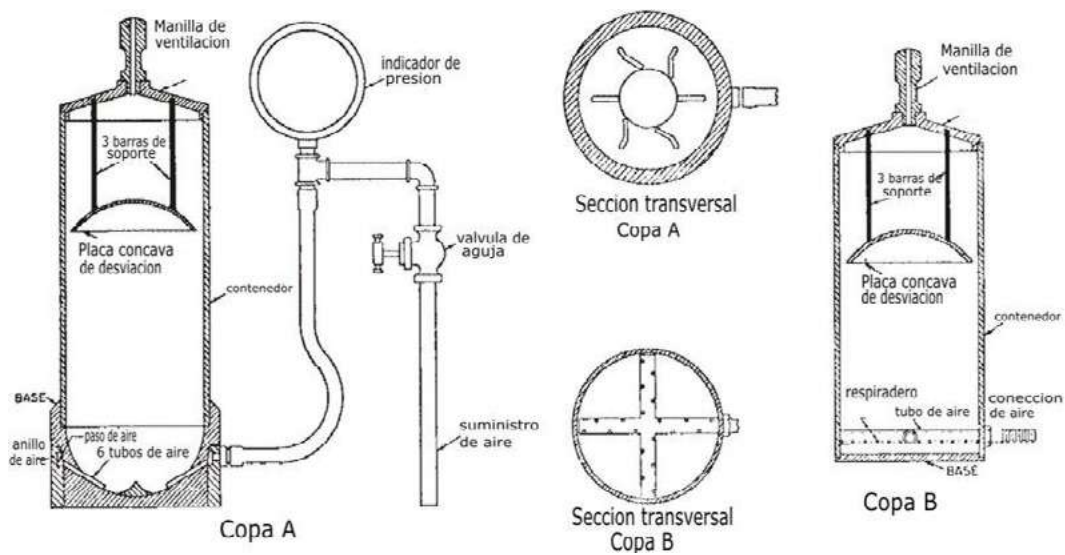


Figura 6.1_17. DETALLE DEL APARATO AGITADOR DE INYECCIÓN DE AIRE

SECCION 6.1.3.4. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS (ASTM D4318 AASHTO T89)

6.1.3.4.1. OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar el límite líquido de los suelos, mediante la máquina Casagrande.

6.1.3.4.2. DEFINICIÓN

El límite Líquido, es la humedad, expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados líquido y plástico. Corresponde a la humedad necesaria para que una muestra de suelo remoldeada, depositada en la taza de bronce de la máquina Casagrande y dividida en dos porciones simétricas separadas 2 mm entre sí, fluya y entren en contacto en una longitud de 10 mm, aplicando 25 golpes.

6.1.3.4.3. EQUIPOS Y MATERIALES

A. PLATO DE EVAPORACIÓN

Debe ser de porcelana, acero inoxidable, bronce o aluminio, con un diámetro de aproximadamente 120 mm.

B. ESPÁTULA

Debe contar con una hoja flexible de aproximadamente 75 mm de largo y 20 mm de ancho.

C. APARATO DE LÍMITE LÍQUIDO (MÁQUINA CASAGRANDE)

Taza de bronce con una masa de 200 ± 20 g, montada en un dispositivo de apoyo fijado a una base de plástico duro de una resiliencia tal que una bolita de acero de 8 mm de diámetro, dejada caer libremente desde una altura de 25 cm, rebote entre un 75 y un 90%, (**Figura 6.1_27**).

D. ACANALADOR

Combinación de acanalador y calibre, construido de acuerdo con el plano y dimensiones de la figura de la **Figura 6.1_28**.

E. CÁPSULAS PARA SECADO

Debe ser de aluminio, bronce o acero inoxidable.

F. BALANZA

La balanza debe tener una precisión de 0,01 g.

G. PROBETA GRADUADA

La probeta debe tener una capacidad mínima de 25 ml.

H. HORNO

Provisto de circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantener la temperatura a $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

Nota 1: No se debe ocupar la superficie inferior del horno para el secado de muestras, pues ésta se encuentra siempre a una temperatura superior a la fijada.

Nota 2: Se recomienda para una mayor velocidad de secado el uso de hornos con convección forzada.



Equipos Requeridos para el Ensayo

6.1.3.4.4. AJUSTE Y CONTROL DEL APARATO DE LÍMITE LÍQUIDO

A. AJUSTE DE LA ALTURA DE CAÍDA DE LA TAZA

Gire la manivela hasta que la taza se eleve a su mayor altura. Utilizando el calibrador de 10 mm (adosado al ranurador), verifique que la distancia entre el punto de percusión y la base sea exactamente de 10 mm. De ser necesario, afloje los tornillos de fijación y mueva el de ajuste hasta obtener la altura de caída requerida.

Si el ajuste es correcto, se escuchará un ligero campanileo producido por la leva al golpear el tope de la taza; si la taza se levanta por sobre el calibre o no se escucha ningún sonido, realice un nuevo ajuste.

B. VERIFICACIONES ADICIONALES

- No debe producirse juego lateral por desgaste entre la taza y el pasador que la sostiene.
- Los tornillos que conectan la taza con el apoyo deben estar apretados.
- El desgaste de la taza no debe sobrepasar la tolerancia de masa especificada en 3.
- El diámetro de la huella del punto de percusión en la base no debe exceder 15 mm. Cuando esto ocurra, pula la base, verificando que se mantiene la resiliencia especificada en 3.
- El desgaste del ranurador no debe sobrepasar las tolerancias dimensionales especificadas en la **Figura 6.1_28**.

Antes de cada ensayo verifique que la base y la taza estén limpias y secas.

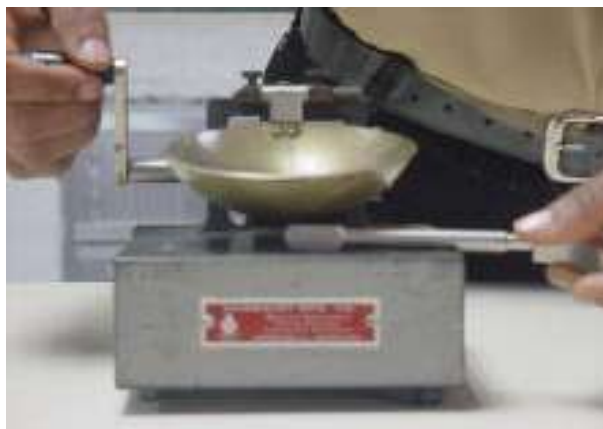


Figura 6.1_18. Aparato Casagrande Acondicionado

6.1.3.4.5. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Extraiga por cuarteo una muestra representativa de un tamaño tal que asegure una masa mínima de ensayo de 500 g de material bajo tamiz 0,425 mm (N° 40).



Figura 6.1_19. Material pasante por el Tamiz N° 40

Desmenuce los terrones con mortero, sin reducir el tamaño natural de las partículas individuales.

Seque la muestra al aire o en horno a una temperatura que no exceda de 60°C.

Distribuya de la siguiente forma la masa mínima de ensayo obtenida en 12.

- Límite Líquido 160 g.
- Límite Plástico 40 g.
- Límite de Contracción 100 g.
- Ensayos de control 200 g.

6.1.3.4.6. ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA

Coloque la muestra en el plato de evaporación; agregue agua destilada y mezcle completamente mediante la espátula. Continúe la operación durante el tiempo y con la cantidad de agua destilada necesarios para asegurar una mezcla homogénea.

Cure la muestra durante el tiempo necesario para que las fases líquida y sólida se mezclen homogéneamente. El tiempo de curado de las muestras depende del grado de plasticidad del suelo, para lo cual existe la siguiente clasificación:

- Suelos de alta plasticidad: ≥ 24 h
- Suelos de plasticidad media: ≥ 12 h
- Suelos de baja plasticidad: ≥ 1 h



Figura 6.1_20. Mezclado de material con Agua



Figura 6.1_21. Muestra Pastosa y Homogénea

6.1.3.4.7. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

- Coloque el aparato de límite líquido sobre una base firme.
- Coloque en la taza una porción de la muestra acondicionada utilizando una espátula; la masa de suelo deberá colocarse centrándola en el punto de apoyo de la taza con la base.
- Moldee la masa de suelo con la espátula hasta obtener la forma indicada en la figura de la Lámina 8.102.3 B, evitando incorporar burbujas de aire en la mezcla.
- Enrase y nivele a 10mm en el punto de máximo espesor.
- Reincorpore el material excedente al plato de evaporación.
- Divida la pasta de suelo, pasando el acanalador cuidadosamente a lo largo del diámetro que pasa por el eje de simetría de la taza, de modo que se forme una ranura clara y bien delineada de las dimensiones especificadas. Pase el acanalador, manteniéndolo perpendicular a la superficie interior de la taza; en ningún caso, debe existir desprendimiento de la pasta del fondo de la taza; si ello ocurre, retire todo el material y reinicie el procedimiento. La formación de la ranura se debe lograr con el mínimo de pasadas, limpiando el acanalador después de cada pasada.



Figura 6.1_22. Material colocado uniformemente



Figura 6.1_23. Ranuración de la Muestra

– Gire la manivela levantando y dejando caer la taza con una frecuencia de dos golpes por segundo, hasta que las paredes de la ranura entren en contacto en el fondo del surco a lo largo de un tramo de 12,7 mm; si el cierre de la ranura es irregular, descarte el resultado. Registre el número de golpes obtenido (N).



Figura 6.1_24. Conteo de Golpes

– Retire aproximadamente 10 g del material que se junta en el fondo del surco; colóquelo en una cápsula de secado y determine su humedad (w), de acuerdo con el **Método 6.1.3.1**.



Figura 6.1_25. Corte y Retiro del Material



Figura 6.1_26. Secado de Muestra

– Transfiera el material que quedó en la taza al plato de evaporación; lave y seque la taza y el ranurador.

– Continúe batiendo con la espátula la pasta de suelo que quedó en el plato de evaporación para obtener un secado homogéneo. Repita las operaciones precedentes desde 20 en adelante, para dar origen a un nuevo punto.

Nota 3: *El ensayo se debe realizar desde la condición más húmeda a la más seca; en ningún caso, se debe rehumedecer la pasta de suelo.*

– El ensayo requiere de al menos cinco puntos para el trazado de la curva de fluidez.

Nota 4: *Se recomienda que los puntos seleccionados se encuentren en el rango de 10 a 45 golpes.*

6.1.3.4.8. CÁLCULOS

Calcule y registre la humedad de cada determinación (w), de acuerdo con el método definido anteriormente para determinar el contenido de humedad.

Construya un gráfico semilogarítmico, con la humedad (w) como ordenada en escala aritmética y el número de golpes (N) como abscisa en escala logarítmica.

Dibuje los puntos correspondientes a los resultados de cada una de las cinco (o más) determinaciones efectuadas y construya una recta (curva de fluidez) que pase tan aproximadamente como sea posible por los puntos.

Expresé el Límite Líquido (LL) del suelo como la humedad correspondiente a la intersección de la curva de fluidez con la abscisa de 25 golpes, aproximando a un decimal.

Para los casos que se requiera la determinación del límite de los suelos fundamentalmente plásticos, existen varios métodos, el primero que es mediante la determinación del contenido de humedad de un punto, y mediante la aplicación de la ecuación:

$$W_L = \left[\frac{N}{25} \right]^{0,121} \times w$$

Donde:

N: número de golpes

w: contenido de humedad

Para los casos que se tengan cinco puntos (lo mínimo que se debe exigir son 3), deberán considerarse dos puntos que contengan la suficiente humedad para que el número de golpes sea menor a 25 y los otros dos puntos con contenidos de humedad de manera de obtener un número de golpes mayor a 25.

Nota 5: Más adelante se incluye un formato tipo de ficha de ensayo de Límites de Atterberg, en el cual se registrarán los resultados obtenidos en las determinaciones de Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad.

Nº DE GOLPES	FACTOR K PARA LL
20	0,974
21	0,979
22	0,985
23	0,990
24	0,995
25	1,000
26	1,005
27	1,009
28	1,014
29	1,018
30	1,055
LL=?*K	

Tabla 6.1_16. factor “K” para el cálculo del límite líquido (LL)

6.1.3.4.9. INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Valor del Límite Líquido.

- b) Cualquier información específica relativa al ensayo o al suelo en estudio.
- c) La referencia a este método.

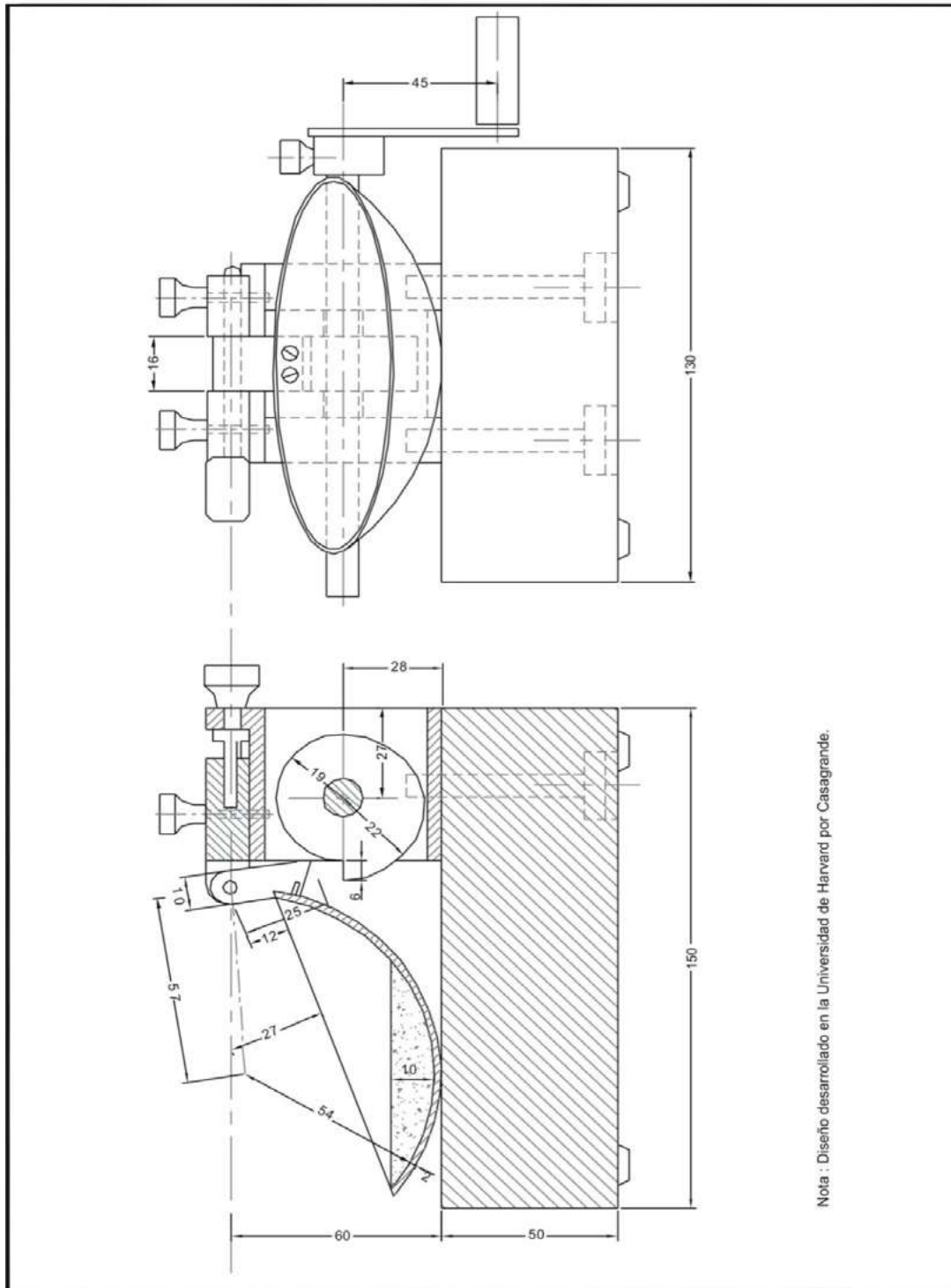


Figura 6.1_27. APARATO DE LÍMITE LÍQUIDO

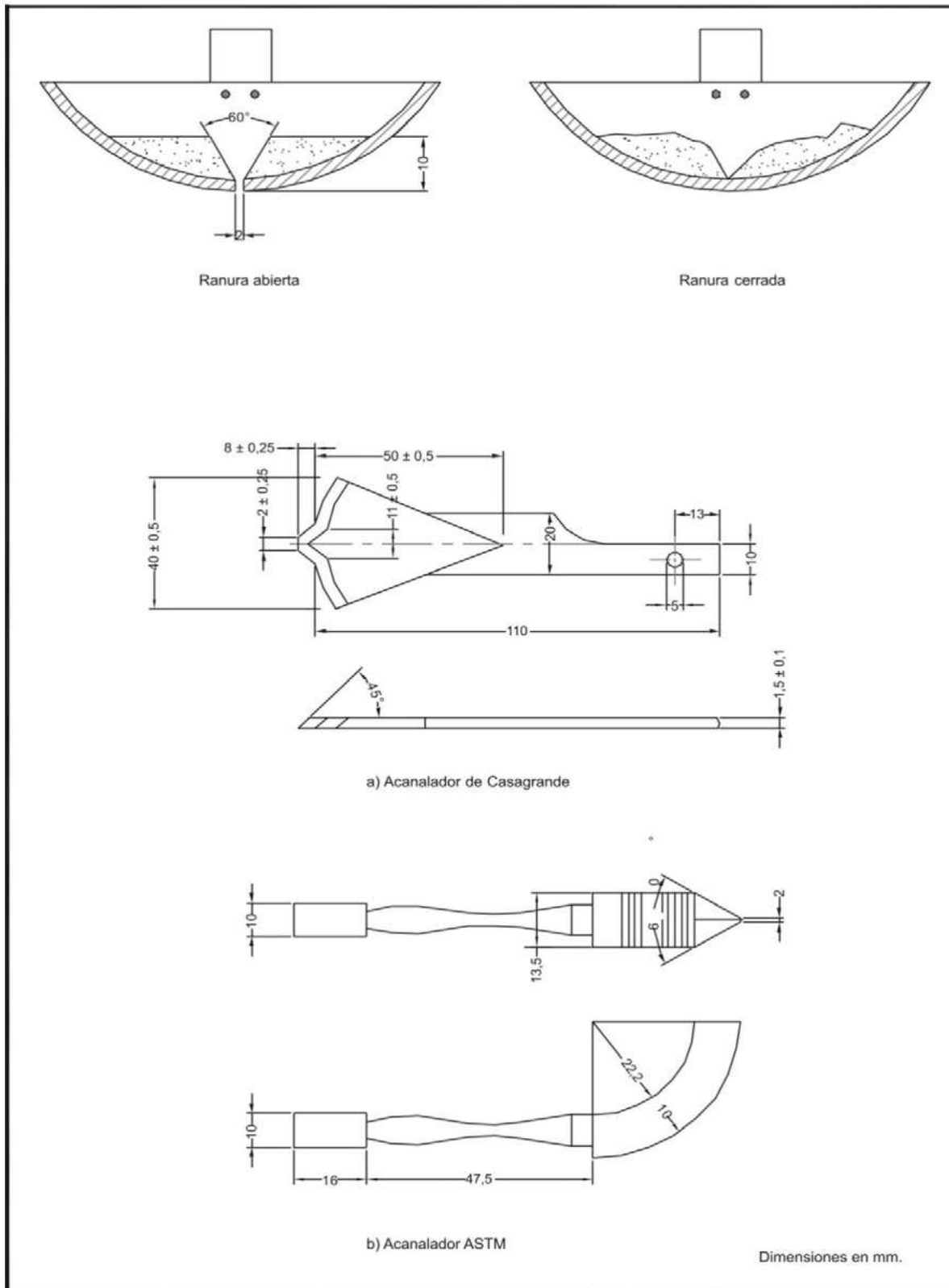


Figura 6.1_28. SECCIÓN DE LA RANURA EN LA PASTA DE SUELO ANTES Y DESPUÉS DEL ENSAYO ACANALADORES

SECCION 6.1.3.5. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO E INDICE DE PLASTICIDAD (ASTM D4318 AASHTO T90)

6.1.3.5.1. OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar el Límite Plástico y el Índice de Plasticidad de los suelos.

6.1.3.5.2. DEFINICIÓN

A. LÍMITE PLÁSTICO

Humedad expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados plástico y semisólido. Corresponde a la humedad necesaria para que bastones cilíndricos de suelo de 3mm de diámetro se disgreguen en trozos de 0,5 a 1cm. de largo y no puedan ser reamasados ni reconstituidos.

6.1.3.5.3. EQUIPOS Y MATERIALES

A. PLATO DE EVAPORACIÓN

Debe ser de porcelana, acero inoxidable, bronce o aluminio, con un diámetro de 120 mm aproximadamente.

B. ESPÁTULA

Debe tener una hoja flexible de aproximadamente 75 mm de largo y 20 mm de ancho.

C. SUPERFICIE DE AMASADO

Placa de vidrio esmerilado de 20 x 20 cm.

D. CÁPSULAS PARA SECADO

Deben ser de aluminio, bronce o acero inoxidable.

E. BALANZA

Debe tener una precisión de 0,01 g.

F. PROBETA GRADUADA

Debe tener una capacidad mínima de 25 ml.

G. PATRÓN DE COMPARACIÓN

Alambre o plástico de 3 mm de diámetro.

H. HORNO

Debe tener circulación de aire y temperatura regulable, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.



Figura 6.1_29. Equipos requeridos para el Ensayo de Límite Plástico y Límite Líquido

6.1.3.5.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Extraiga, por cuarteo, una muestra representativa de un tamaño que asegure una masa mínima de ensayo de 500g de material bajo tamiz 0,425mm (N° 40).



Figura 6.1_30. Material pasante por el Tamiz N° 40

Desmenuce los terrones con mortero, sin reducir el tamaño natural de las partículas individuales.

Seque la muestra al aire o en horno a una temperatura que no exceda de 60°C.

La masa mínima de ensayo, obtenida en 10 debe distribuirse como sigue:

- Límite líquido	60 g
- Límite plástico	40 g
- Límite de contracción	100 g
- Ensayos de control	200 g

B.ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA

Coloque la muestra en el plato de evaporación; agregue agua destilada y mezcle completamente mediante la espátula. Continúe la operación durante el tiempo y con la cantidad de agua destilada necesarios para asegurar una mezcla homogénea.

Cure la muestra durante el tiempo necesario para que las fases líquida y sólida se mezclen homogéneamente. El tiempo de curado de las muestras depende del grado de plasticidad del suelo, existiendo la siguiente clasificación:

- Suelos de alta plasticidad: ≥ 24 h
- Suelos de plasticidad media: ≥ 12 h
- Suelos de baja plasticidad: ≥ 1 h

Una vez curado el material, reduzca la humedad si es necesario mediante revoltura con la espátula, hasta que la pasta se vuelva suficientemente plástica para moldearla como una esfera.



Figura 6.1_31. Mezclado del Material con Agua



Figura 6.1_32. Muestra Plástica para Moldeo

6.1.3.5.5. PROCEDIMIENTO

Tome una porción de la muestra de ensayo acondicionada de aproximadamente 1 cm³.

Amase la muestra entre las manos; luego hágala rodar sobre la superficie de amasado, ejerciendo una leve presión con la palma de la mano hasta conformar un cilindro.

Cuando el cilindro alcance un diámetro de aproximadamente 3 mm, doble, amase nuevamente y vuelva a conformar el cilindro.



Figura 6.1_33. Amasado de la Muestra

Repita la operación, manteniendo la velocidad y la presión de amasado, hasta que el cilindro se disgregue al llegar a un diámetro de aproximadamente 3 mm, en trozos del orden de 0,5 a 1 cm de largo y no pueda ser reamasado ni reconstituido.



Figura 6.1_34. Elaboración de Hebras del material



Figura 6.1_35. Hebra del Material resquebrajada

Reúna las fracciones del cilindro disgregado y colóquelas en una cápsula de secado, previamente tarada. Determine y registre la humedad (w) de acuerdo con el **Método 6.1.3.1.**, aproximando a un decimal.

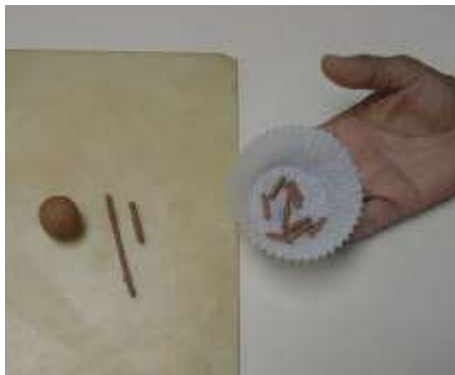


Figura 6.1_36. Muestra en Estado de Límite Plástico



Figura 6.1_37. Tarado de la Muestra

Repita las anteriores etapas con dos porciones más de la muestra de ensayo.



Figura 6.1_38. Muestra extraída del Horno conforme al Procedimiento 6.1.3.1.

6.1.3.5.6. CÁLCULOS

Calcule el Límite Plástico (LP) como el promedio de las tres determinaciones efectuadas sobre la muestra de ensayo, aproximando a un decimal. Las determinaciones no deben diferir entre sí en más de dos puntos; cuando no se cumpla esta condición, repita todo el ensayo.

Calcule el Índice de Plasticidad (IP) del suelo de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP: índice de Plasticidad del suelo (%)

LL: Límite líquido de suelo (%)

LP: Límite plástico del suelo (%)

Cuando no pueda determinar uno de los dos límites (LL o LP), o la diferencia resulte negativa, informe el Índice de Plasticidad como NP (no plástico).

Calcule el Índice Líquido (IL) del suelo de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$IL = \frac{W - LP}{LP}$$

Donde:

IL: Índice líquido del suelo

W: Humedad natural del suelo (%)

LP: Límite plástico del suelo (%)

IP: Índice de plasticidad del suelo (%)

Calcule el Índice de Consistencia (IC) del suelo de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$IC = \frac{LL - W}{IP}$$

Donde:

IC: Índice de consistencia del suelo

LL: Límite líquido del suelo (%)

W: Humedad natural del suelo (%)

IP: Índice de plasticidad del suelo (%)

6.1.3.5.7. PRECISIÓN

A. REPETIBILIDAD

Dos resultados obtenidos por un mismo operador sobre la misma muestra, en el mismo laboratorio, usando los mismos aparatos y en días diferentes, se deben considerar dudosos si difieren en más de un 10% del promedio de ambos.

B. REPRODUCIBILIDAD

Dos resultados obtenidos por operadores diferentes, en laboratorios diferentes, se considerarán dudosos si difieren en más de 18% de su promedio.

6.1.3.5.8. REGISTRO DE RESULTADOS

En la **Figura 6.1_39** se presenta un formato tipo de ficha de ensayo para registrar los resultados de Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad.

6.1.3.5.9. INFORME

El informe deberá incluir al menos los siguientes antecedentes:

- a) Identificación del contrato.
- b) Procedencia de la muestra.
- c) Fecha y lugar de muestreo.
- d) Fecha de ensayo.
- e) Valores del Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad.
- f) Cualquier información adicional respecto al ensayo o al suelo en estudio.
- g) La referencia a este método.

CERTIFICADO DE ENSAYE N°

Identificación del contrato:

Identificación del la muestra:

Calicata / Sondaje: Horizonte: Fecha muestreo:

	LÍMITE PLÁSTICO			LÍMITE LÍQUIDO				
	1	2	3	1	2	3	4	5
ENSAYE N°								
CÁPSULA N°								
NÚMERO DE GOLPES								
1 PESO CÁPSULA + SUELO HUM. (g)								
2 PESO CÁPSULA + SUELO SECO (g)								
3 PESO DE LA CÁPSULA (g)								
4 PESO DEL AGUA (1-2) (g)								
5 PESO DEL SUELO SECO (2-3) (g)								
6 HUMEDAD (4/5)*100 (%)								
7 PROMEDIO LÍMITE PLÁSTICO (%)								

CURVA DE FLUIDEZ

PORCENTAJE DE HUMEDAD

NUMERO DE GOLPES

Límite Líquido (LL) %	Límite Plástico (LP) %	Índice de Plasticidad (IP = LL - LP) %
-----------------------	------------------------	--

Muestrado por :

Ensayador :

Fecha :

V° B° :

Figura 6.1_39. FORMATO TIPO FICHA DE ENSAYO, DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO

SECCION 6.1.3.6. DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE CONTRACCIÓN DE LOS SUELOS (ASTM D427; AASHTO T92)

6.1.3.6.1. OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar el límite de contracción de los suelos. El límite de Contracción es la humedad máxima de un suelo para la cual una reducción de la humedad no causa disminución de volumen.

6.1.3.6.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A. PLATO DE EVAPORACIÓN

Debe ser de porcelana, de aproximadamente 140 mm de diámetro.

- Espátula o cuchillo con hoja flexible, de aproximadamente 75 mm de largo por 20 mm de ancho.

B. MOLDE

Debe ser cilíndrico, metálico o de porcelana, con el fondo plano y de aproximadamente 45mm de diámetro y 13mm de altura.

C. REGLA DE ENRASE

Debe ser de acero, de aproximadamente 150 mm de largo.

D. TAZA DE VIDRIO

Debe tener aproximadamente 60 mm de diámetro y 30 mm de altura, con su borde superior pulido y esencialmente paralelo a la base.

E. PLACA DE VIDRIO

Placa con tres puntas para sumergir la muestra en el mercurio (Ver Figura 6.1_ 54).

F. PROBETA

Debe tener una capacidad de 25 ml y graduada a 0,2 ml.

- Balanza con una precisión de 0,01 g.

G. MERCURIO

El suficiente para llenar la taza de vidrio.

H.HORNO

El horno debe ajustarse a los requerimientos señalados en el **Método 6.1.3.1.**



Figura 6.1_40. Equipo y Material requerido para el Ensayo

6.1.3.6.3. PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

El Mercurio es una sustancia peligrosa que puede causar enfermedad y muerte. Inhalar vapores de Mercurio es un riesgo para la salud.

El Mercurio también puede ser absorbido a través de la piel. El efecto es acumulativo.

Además de otras precauciones, se debe almacenar el Mercurio en envases irrompibles, sellados para controlar la evaporación, trabajar en área ventilada y evitar el contacto con la piel. Se debe usar guante de goma todo el tiempo.

Minimizar los derrames incontrolados realizando los procedimientos dentro de un gran envase que funcione como aparador.

Limpiar inmediatamente los derrames, usando un procedimiento recomendado explícitamente para Mercurio.

Disponer los desechos contaminados, incluyendo la pastilla de suelo seco de alguna manera aceptable desde el punto de vista ambiental y de seguridad.

6.1.3.6.4. CALIBRACIÓN DEL MOLDE

Pese y registre la masa del molde vacío (mm) aproximando a 0,01 g.

Determine la capacidad del molde en cm. (ml), llenándolo con mercurio, enrasando con una placa de vidrio y midiendo el volumen de mercurio que llena el molde por pesada y dividiendo por la densidad del mercurio (densidad del mercurio = 13,55 g /cm³). Registre la capacidad como volumen de la pastilla de suelo húmedo (Vh) aproximando a 0,01 ml.

6.1.3.6.5. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A.TAMAÑO DE LA MUESTRA

La muestra por ensayar debe tener un tamaño en masa de aproximadamente 30 g.

Si sólo requiere determinar el límite de contracción, tome la muestra de ensayo del material completamente homogeneizado que pasa por el tamiz de 0,425 mm (N° 40).

Coloque la muestra en el plato de evaporación y mezcle completamente con agua destilada en una cantidad suficiente para llenar completamente los huecos del suelo y dejarlo suficientemente pastoso para colocarlo en el molde sin inclusión de burbujas de aire.



Figura 6.1_41. Mezclado de la Muestra

Nota 1: La humedad necesaria para alcanzar la consistencia requerida en suelos desmenuzables es igual o ligeramente superior a w_L y en suelos plásticos puede exceder a w_L hasta en un 10%.

Cure la muestra durante el tiempo necesario para que las fases líquidas y sólidas se mezclen homogéneamente.

Nota 2: En suelos de alta plasticidad este plazo no debe ser menor que 24 h. En suelos de baja plasticidad, este plazo puede ser mucho menor y en algunos casos puede eliminarse.

Si requiere determinar, además, el límite líquido, tome la muestra de ensayo de la porción de suelo acondicionada según el Método para Determinar el Límite Líquido.

6.1.3.6.6. PROCEDIMIENTO

Recubra el interior del molde con una capa delgada de lubricante (por ejemplo, vaselina o aceite de silicón), para prevenir la adherencia del suelo al molde.

Coloque una porción de suelo húmedo de aproximadamente un tercio de la capacidad del molde en el centro de éste y extiéndalo hasta los bordes, golpeando el molde contra una superficie firme recubierta con papel secante o similar.



Figura 6.1_42. Adición de la Muestra de Suelo en el Envase con Vaselina

Agregue una porción similar a la primera y golpee el molde hasta que el suelo esté completamente compactado y todo el aire atrapado suba a la superficie.



Figura 6.1_43. Golpeo del envase con la Muestra

Agregue material y compacte hasta que el molde esté completamente lleno y con exceso de suelo por sobre el borde.

Enrase con la regla y limpie posibles restos de suelo adherido al exterior del molde.



Figura 6.1_44. Eliminación del Exceso de Material



Figura 6.1_45. Enrasado del Recipiente

Inmediatamente después de enrasado, pese el molde con el suelo compactado; reste la masa del molde determinando la masa de suelo húmedo (mh). Registre aproximando a 0,01 g.

Deje secar lentamente al aire hasta que la pastilla de suelo moldeado se desprege de las paredes del molde o hasta que cambie de color oscuro a claro.

Nota 3: Se recomienda efectuar el ensayo, hasta el inicio del secado, en cámara húmeda. Si no se cuenta con este dispositivo, tome todas las precauciones necesarias para reducir la evaporación.



Figura 6.1_46. Peso de la Muestra

Figura 6.1_47. Secado de la Muestra a Temperatura ambiente

Seque en horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ hasta masa constante.

Nota 4: El secado en horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$, no entrega resultados fiables en suelos que contienen yeso u otros minerales que pierden fácilmente el agua de hidratación o en suelos que contienen cantidades significativas de materia orgánica. En estos casos es recomendable el secado en horno a aproximadamente 60°C .



Figura 6.1_48. Muestra colocada en el Horno



Figura 6.1_49. Muestra extraída del Horno

Pese el molde con el suelo seco y reste la masa del molde, determinando la masa de suelo seco (ms). Registre aproximando a 0,01 g.



Figura 6.1_50. Peso del Suelo Seco

6.1.3.6.7. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE LA MUESTRA

Determine el volumen de la pastilla de suelo seco como se indica (Ver **Figura 6.1_54**):

- a. Llene la taza con mercurio hasta que desborde; enrrese presionando con la placa de vidrio y limpie los restos de mercurio adheridos al exterior de la taza.



Figura 6.1_51. Llenado del Envase con Mercurio



Figura 6.1_52. Muestra Enrasada con Mercurio

b. Coloque la taza llena de mercurio sobre el plato de evaporación, coloque el trozo de suelo sobre la superficie del mercurio y sumérgalo cuidadosamente mediante las puntas de la placa de vidrio hasta que ésta tope firmemente contra el borde de la taza (es esencial que no quede aire atrapado bajo el trozo de suelo ni bajo la placa de vidrio).

c. Mida el volumen de mercurio desplazado por el trozo de suelo por pesada y divídalo por la densidad del mercurio (= 13,55 g/cm³); registre como volumen del trozo de suelo seco (Vs), aproximando a 0,01 cm³, (0,01 ml).



Figura 6.1_53. Masa de Suelo introducida en la Probeta con Mercurio

6.1.3.6.8. CÁLCULOS

Calcule la humedad del suelo en el momento en que fue moldeado de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 0,1%:

$$W = \frac{m_h - m_s}{m_s} \times 100$$

Donde:

w: Humedad del suelo en el momento que fue moldeado (%).

M_h: Masa del suelo húmedo (g).

M_s: Masa del suelo (g).

Calcule el límite de contracción de 1 suelo de acuerdo con la fórmula siguiente aproximado al 1 %:

$$W_s = W - \left\{ \frac{(V_h - V_s) \times p_w}{m_s} \right\} \times 100$$

Donde:

W_s : límite de contracción (%).

W : humedad del suelo en el momento que fue moldeado (%).

V_h : Volumen de la pastilla de suelo húmedo (cm^3 o ml).

V_s : Volumen de la pastilla de suelo seco (cm^3 o ml).

p_w : Densidad del agua (g/cm^3 o g/ml).

M_s : Masa del suelo seco (g).

6.1.3.6.9. INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) El valor del límite de contracción.
- b) Cualquier información específica relativa al ensayo o al suelo en estudio.
- c) La referencia a este método.

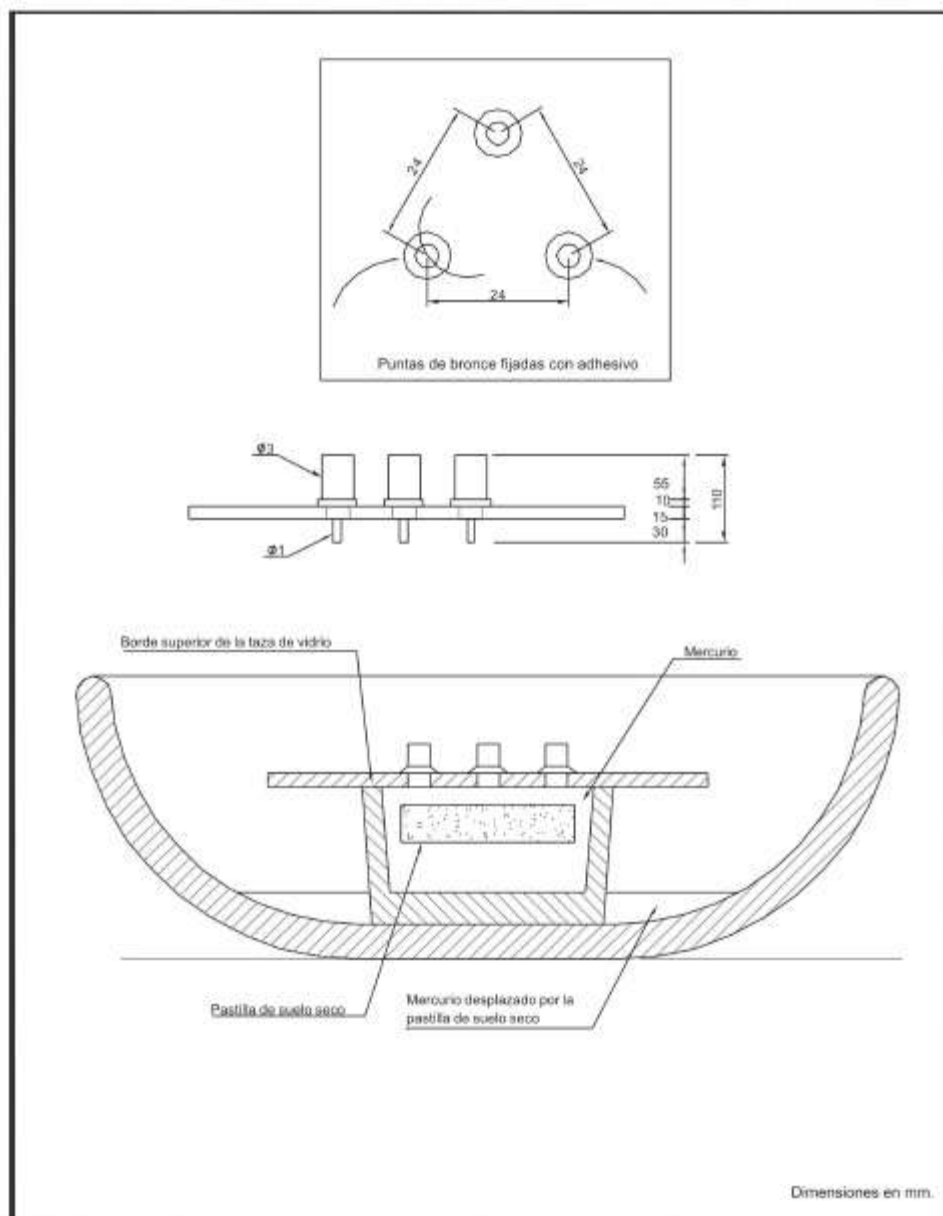


Figura 6.1_54. PLACA DE VIDRIO Y DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE SUELO SECO

6.1.3.6.10. OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar, mediante un picnómetro, la densidad de partículas sólidas de suelos compuestos por partículas menores que 5 mm.

Cuando el suelo se compone de partículas mayores que 5 mm se debe aplicar el método de determinación de densidad neta de los gruesos, según Método para Determinar la Densidad Real, La Densidad Neta y La Absorción de Agua en áridos Gruesos **(A0519)**.

Cuando el suelo se compone tanto de partículas mayores como menores que 5 mm, separe en el tamiz de 4,75 mm (N° 4), determine y registre el porcentaje en masa seca de ambas fracciones y ensáyelas por separado con el método correspondiente. El resultado es el promedio ponderado de ambas fracciones.

6.1.3.6.11. EQUIPOS Y MATERIALES

- Picnómetro, frasco volumétrico con una capacidad igual o mayor que 100 ml o botella con tapón con una capacidad igual o mayor que 50ml; el tapón debe ser del mismo material que la

botella, de forma y tamaño adecuados para insertarse fácilmente a una profundidad marcada en el cuello de la botella y tener una perforación central que permita la eliminación de aire y agua sobrante.

Nota 1: *El uso del frasco o la botella es optativo, pero en general, debe usarse el frasco para suelos cuyo tamaño máximo de partículas requiera muestras mayores.*

-Balanza, con resolución de 0,01 g, si se emplea el frasco o con resolución de 0,001 g, si se emplea la botella.

-Reductor de Presión, aspirador o bomba de vacío y sus accesorios.

-Herramientas y Accesorios, recipientes para las muestras, brochas, poruña, embudo, termómetro, horno, secador, etc.

-Materiales, Agua destilada o desmineralizada desaireada, kerosene, solución disolvente de grasas, etc.



Figura 6.1_55. Equipos y Materiales requeridos

6.1.3.6.12. CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO

Limpie, seque, pese y registre la masa del picnómetro vacío (M_f).



Figura 6.1_56. Pesada del Envase

Nota 2: *Por ejemplo, la limpieza del picnómetro se puede efectuar con amoníaco o algún disolvente de grasa; seguidamente se enjuaga con agua destilada y se deja escurrir colocándolo boca abajo. Posteriormente se lava con alcohol, dejándolo escurrir; finalmente se lava con éter, eliminando así los vapores al dejar el picnómetro boca abajo durante 15 min.*

Llene con agua destilada a temperatura ambiente hasta que la parte inferior del menisco coincida con la marca de calibración. Seque el interior del cuello del picnómetro y también el exterior. Pese y registre la masa del picnómetro más el agua (M_a).

Inserte un termómetro en el agua hasta el centro del picnómetro. Determine y registre la temperatura de calibración (t_i) aproximando a 1°C .

De la masa del picnómetro más el agua a la temperatura de calibración (Ma_{ti}) se debe preparar una tabla de valores de la masa del picnómetro más el agua (Ma) para la serie de temperaturas que probablemente prevalezcan durante el ensayo.

Calcule los valores de Ma a distintas temperaturas de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$Ma_{tx} = \frac{\rho w_{tx}}{\rho w_{ti}} \times (Ma_{ti} - M_f) + M_f$$

Donde:

- Ma_{tx} : Masa de picnómetro más el agua a una temperatura x dada (g).
- ρw_{tx} : Densidad del agua a una temperatura x dada (g/cm^3 o Kg/l).
- ρw_{ti} : Densidad del agua a la temperatura de calibración (g/cm^3 o Kg/l) (Ver **Tabla 6.1_17**).
- Ma_{ti} : Masa del picnómetro mas el agua a la temperatura de calibración.
- M_f : masa del picnómetro vacío (g).

Tabla 6.1_17. DENSIDAD DEL AGUA EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA

Temperatura ($^\circ\text{C}$)	Densidad (g/cm^3) (Kg/l)	K (adimensional)
16	0,99909	1,0009
18	0,99859	1,0004
20	0,99820	1,0000
23	0,99754	0,9993
26	0,99678	0,9986
29	0,99594	0,9977

* Estos mismos valores, tomados en su forma adimensional, corresponden a la densidad relativa del agua.

6.1.3.6.13. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Las muestras de suelo se deben obtener de acuerdo con lo indicado en las especificaciones técnicas correspondientes, en el caso de controles de obra o lo indicado por el profesional responsable, en el caso de una prospección.

La muestra de ensayo compuesta por partículas menores que 5 mm debe tener un tamaño mínimo, referido a su masa seca, de 25 g cuando se usa el frasco y de 10 g cuando se usa la botella con tapón.

Acondicionamiento, la muestra de ensayo puede estar con su humedad natural o seca en horno.

A. MUESTRA DE ENSAYO CON SU HUMEDAD NATURAL

Determine y registre la masa seca (m_s) al final del ensayo, evaporando el agua en horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

Las muestras de suelo arcilloso con su humedad natural deben dispersarse antes de colocarlas en el frasco.

Nota 5: *El volumen mínimo que puede prepararse con el equipo dispersor es tal que se necesita un frasco de 500 ml como picnómetro.*

B. MUESTRA DE ENSAYO SECA EN HORNO

Seque hasta masa constante en un horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$; enfríe en un secador, pese y registre la masa seca (ms). A continuación, sumerja la muestra en agua destilada por, a lo menos, 12 h.

Nota 6: *El secado de ciertos suelos a 110°C puede extraer humedad de composición o hidratación. En tales casos, el secado debe efectuarse con presión de aire reducida y a temperatura más baja (ver Método para Determinar el Contenido de Humedad).*

Cuando se elimina cualquier porción de la muestra original de suelo al preparar la muestra, debe indicarse en el informe la porción sobre la cual se ha efectuado el ensayo.

6.1.3.6.14. PROCEDIMIENTO

- a. Coloque la muestra en el picnómetro, cuidando de evitar pérdidas del material cuando ya se ha determinado su masa seca. Agregue agua destilada cuidadosamente, evitando la formación de burbujas, hasta alcanzar aproximadamente 3/4 de la capacidad del frasco o la mitad de la capacidad de la botella.



Figura 6.1_57. Adición de la Muestra al Envase



Figura 6.1_58. Adición de Agua Destilada al Envase

- b. Remueva el aire atrapado por uno de los siguientes procedimientos:
- c. Someta el contenido a un vacío parcial (presión de aire igual o menor que 13,3 kPa (100 mm Hg)).
- d. Para evitar un burbujeo excesivo aplique un vacío gradual que aumente lentamente hasta el máximo, el cual deberá mantenerse durante 15 min., por lo menos, para conseguir un desairado completo. El picnómetro debe agitarse suavemente para ayudar a la remoción del aire.



Figura 6.1_59. Extracción del aire atrapado en la Muestra

- e. Caliente o hierva, por a lo menos 10 min., haciendo girar ocasionalmente el picnómetro para ayudar a la remoción del aire. Posteriormente, someta el contenido a presión de aire reducido.
- f. Si no cuenta con sistema de vacío, puede colocar el picnómetro en un baño maría de glicerina. Por lo general, 10 min. de hervor son suficientes para expulsar el aire contenido en el material (ocasionalmente el picnómetro debe girarse para ayudar a la remoción del aire); en este caso, debe esperar a que el picnómetro alcance nuevamente la temperatura ambiente para proseguir la prueba.
- g. Tape el picnómetro con la muestra y, cuando corresponda, deje enfriar a temperatura ambiente.
- h. Agregue agua destilada hasta llenar el picnómetro. Limpie y seque el exterior con un paño limpio y seco. Determine y registre la masa del picnómetro con la muestra y el agua (Mm). Determine y registre la temperatura de ensayo del contenido (tx) aproximando a 1°C.

Nota 7: Es recomendable efectuar dos veces cada prueba a fin de obtener una comprobación.



Figura 6.1_60. Enrase del Envase



Figura 6.1_61. Peso del Conjunto Total

6.1.3.6.15. CÁLCULOS

Calcule la densidad de partículas sólidas de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$\rho_s = \frac{m_s}{(m_s + M_a) - M_m} \times \rho_{w_{tx}}$$

Donde:

- ρ_s : Densidad de partículas sólidas (g/cm^3 o Kg/l).
- m_s : Masa seca de la muestra de ensayo (g).
- m_a : Masa del picnómetro más el agua a temperatura de ensayo (g) (este valor debe tomarse de la tabla de valores M_a , preparada de acuerdo con **10**.)
- M_m : Masa del picnómetro mas la muestra y el agua a la temperatura de ensayo (g)

Nota 8: La norma ASTM D 854-58 determina un valor adimensional y Peso Específico, definido como el cociente entre la densidad del suelo y la densidad del agua a una temperatura determinada (de acuerdo con la definición, este valor es una densidad relativa). Cuando se desee determinar este valor, proceder como sigue:

Para obtener G_s respecto del agua a 20°C , se aplica la fórmula siguiente:

$$G_{s_{tx}/20^\circ\text{C}} = G_{s_{tx}/tx} \times K = \frac{\rho_s}{\rho_{w20^\circ\text{C}}}$$

Donde:

$G_{s_{tx}/20^\circ\text{C}}$: Valor de Peso Especifico respecto del agua a 20°C

$$G_{s_{tx}/tx} = \frac{m_s}{(m_s+m_a)-M_m}$$

$$K = \frac{\rho_{w_{tx}}}{\rho_{w_{20^\circ\text{C}}}}$$

este valor se obtiene de la **Tabla 6.1_17**

Para obtener G_s respecto del agua a 4°C , se aplica la fórmula siguiente:

$$G_{s_{tx}/4^\circ\text{C}} = G_{s_{tx}/tx} \times \rho_{rw_{tx}} = \frac{\rho_s}{\rho_{w_{4^\circ\text{C}}}} = \frac{\rho_s}{1\text{Kg/l}}$$

Donde:

$G_{s_{tx}/4^\circ\text{C}}$: Valor del peso específico respecto al agua a 4°C

$\rho_{rw_{tx}}$: Densidad Relativa del agua a la temperatura de ensayo

Corresponde a:

$$\rho_{rw_{tx}} = \frac{\rho_{w_{tx}}}{\rho_{w_{4^\circ\text{C}}}} = \frac{\rho_{w_{tx}}}{1\text{Kg/l}}$$

PLANILLA S0307_1 DETERMINACIÓN DE PESO ESPECÍFICO

⁽¹⁾ OBRA:					
⁽²⁾ USO:		⁽³⁾ PROCEDENCIA		⁽⁴⁾ N° SOLIC. SERV.	
⁽⁵⁾ N° DE LAB		⁽⁶⁾ FECHA:		⁽⁷⁾ N° CAMPO	
⁽⁸⁾ MUESTRA N°					
⁽⁹⁾ PICNOMETRO N°					
⁽¹⁰⁾ CAPAC. PICNOMETRO (ml)					
⁽¹¹⁾ PESO PICNOMETRO (g)					
⁽¹²⁾ PICNOMETRO + SUELO SECO (g)					
A	⁽¹³⁾ SUELO SECO (g)				
B	⁽¹⁴⁾ PICNOMETRO + AGUA + SUELO (g)				
C	⁽¹⁵⁾ PICNOMETRO + AGUA A CAPACIDAD TOTAL (g)				
⁽¹⁶⁾ TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)					
G	⁽¹⁷⁾ PESO ESPECIFICO A TEMPERATURA DEL ENSAYO				
Gs.	⁽¹⁸⁾ PESO ESPECIFICO REFERIDO A 20 °C				
		⁽¹⁹⁾ Gs.			

NOTA:

(a) $G = (A) / (A - (B - C))$

(b) $G_s = G * \text{FACTOR K}$

**FACTOR DE CONVERSION K PARA
VARIAS TEMPERATURAS**

TEMP. °C	FACTOR K
19	1,0002
20	1,000
21	0,9998
22	0,9996
23	0,9993
24	0,9991
25	0,9969
26	0,9966
27	0,9963
28	0,9980
29	0,9977
30	0,9974

⁽²⁰⁾ OBSERVACIONES

REALIZADO POR: _____

REVISADO POR: _____

Tabla 6.1_18. MANUAL DEL USUARIO DEL FORMATO DE DETERMINACIÓN DE PESO ESPECÍFICO

(1) OBRA: SE DEBE COLOCAR EL NOMBRE DEL TRABAJO O PROYECTO A EJECUTAR.
(2) USO: SE DEBE INDICAR CUAL SERÁ O ES USO DEL MATERIAL A ENSAYAR.
(3) PROCEDENCIA: LUGAR DE DONDE PROVIENE LA MUESTRA.
(4) Nº SOLICITUD DE SERVICIO: SE DEBE COLOCAR EL Nº DE SOLICITUD DE SERVICIO CON LA CUAL SE CONTRATÓ EL ENSAYO.
(5) Nº DE LABORATORIO: ES EL NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN QUE SE LE DA A LA MUESTRA AL LLEGAR AL LABORATORIO.
(6) FECHA: SE DEBE COLOCAR LA FECHA QUE SE REALIZA EL ENSAYO.
(7) Nº CAMPO: ES LA IDENTIFICACIÓN QUE SE DA A CADA MUESTRA RECOLECTADA.
(8) MUESTRA Nº: SE DEBE COLOCAR EL Nº DE SOLICITUD DE SERVICIO CON LA CUAL CONTRATO EL ENSAYO.
(9) PICNOMETRO Nº: SE DEBE COLOCAR EL NÚMERO QUE IDENTIFICA AL PICNÓMETRO.
(10) CAPACIDAD DEL PICNOMETRO (ML): SE DEBE ANOTAR LA CAPACIDAD DEL PICNÓMETRO EN ML.
(11) PESO PICNOMETRO (G): SE DEBE ANOTAR EL PESO DE PICNÓMETRO EN GRAMOS.
(12) PICNOMETRO + SUELO SECO (G): SE DEBE ANOTAR EL PESO DEL PICNÓMETRO CON EL CONTENIDO DE LA MUESTRA SECA EN GRAMOS.
(13) SUELO SECO (G): SE DEBE ANOTAR EL VALOR EN PESO DE LA MUESTRA EMPLEADA PARA EL ENSAYO.
(14) PICNOMETRO + AGUA + SUELO (G): SE DEBE ANOTAR EL VALOR EN PESO DEL PICNÓMETRO +AGUA +SUELO EN GRAMOS.
(15) PICNOMETRO +AGUA A CAPACIDAD TOTAL (G)
(16) TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C): ANOTAR LA TEMPERATURA A LA QUE SE EJECUTA EL ENSAYO.
(17) PESO ESPECIFICO A TEMPERATURA DEL ENSAYO: SE DEBE ANOTAR EL VALOR QUE SE OBTIENE DE LA FORMULA (A).
(18) PESO ESPECIFICO REFERIDO A 20 °C: SE DEBE COLOCAR EL VALOR QUE SE OBTIENE DE LA ECUACIÓN (B).
(19) GS.: ES EL VALOR MEDIO DE DOS ENSAYOS DE PESO ESPECÍFICO.
(20) OBSERVACIONES: SE DEBE COLOCAR CUALQUIER OBSERVACIÓN QUE SE CONSIDERE RELEVANTE.

SECCION 6.1.3.7.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL EQUIVALENTE DE ARENA (ASTM D2419)

6.1.3.7.1. OBJETO

Este método establece un procedimiento rápido para determinar las proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los áridos que pasan por tamiz de 4,75 mm (N° 4).

6.1.3.7.2. DEFINICIONES

A. EQUIVALENTE DE ARENA

Porcentaje de arena propiamente tal con respecto al total de arena y de impurezas coloidales floculadas, particularmente arcillosas, húmicas y eventualmente ferruginosas.

6.1.3.7.3. EQUIPOS Y MATERIALES

A. PROBETA GRADUADA

De 30 ± 1 mm de diámetro interior y aproximadamente 400 mm de alto, graduado en milímetros hasta una altura de 380 mm (o graduada en mililitros hasta una capacidad de 270 ml) y provisto de un tapón hermético de caucho (*ver Figura 6.1_78, Figura 1*).

B. PISÓN

Compuesto por los siguientes elementos (*ver Figura 6.1_78, Figura 2*).

- a) Una varilla de bronce de 6 mm de diámetro y 450 mm de largo, con rosca en ambos extremos.
- b) Un pie de bronce troncocónico, de 25 mm de diámetro basal y 20 mm de altura, con una perforación central con rosca para conectarlo a la varilla.
- c) Un par de guías que mantengan centrada la varilla en el eje de la probeta.
- d) Una sobrecarga cilíndrica de acero laminado en frío de 50 mm de diámetro y 53 mm de altura, con una perforación central con rosca para conectarla a la varilla. Esta sobrecarga debe ser rectificadas de modo que el conjunto de varilla, pie, guías y sobrecarga tenga una masa de $1 \text{ kg} \pm 5 \text{ g}$.
- e) Sifón Compuesto por los siguientes elementos (*ver Figura 6.1_78, Fig3*):
 - a) Una botella de aproximadamente 4 litros, provista de un tapón de caucho con dos perforaciones, a través de las cuales se dispondrán dos tuberías de metal, vidrio, caucho o plástico.
 - b) Una tubería de entrada de aire que penetre al interior de la botella sin tomar contacto con la solución y cuyo tramo exterior debe estar doblado en L.
 - c) Una tubería de irrigación cuyo tramo interior penetre hasta 20 mm del fondo de la botella y cuyo tramo exterior sea una manguera de caucho o plástico de una longitud

igual o mayor que 1,5 m provista de un sistema que regule el flujo de la solución (por ejemplo, una pinza con tornillo).

d) Un tubo irrigador conectado al extremo exterior de la tubería de irrigación, de acero inoxidable de aproximadamente 500 mm de largo, 4 ± 1 mm de diámetro interior y con su extremo libre cerrado en forma de cuña. Debe tener dos perforaciones de $0,5 \pm 0,1$ mm de diámetro, una en cada cara plana de la cuña.

C. MEDIDA

Un recipiente de 85 ± 5 ml de capacidad.

D. TAMIZ

De tela de alambre y abertura cuadrada, de 4,75 mm (N° 4) de abertura nominal de acuerdo con **el Método 6.1.3.2. "Análisis granulométrico por tamizado"**.

E. RECIPIENTE

Estanco y de capacidad igual o mayor que 4 litros para preparar el reactivo y la solución de ensayo.

F. AGITADOR MECÁNICO

Con un desplazamiento horizontal de 200 ± 2 mm y una velocidad de agitación de 175 ± 2 ciclos/min.

G. HERRAMIENTAS Y ACCESORIOS

Embudos, botellas para reactivos, regla de enrase, etc.

G.1. Reactivos

G.2. Solución base

a) Componentes. Emplee los siguientes materiales en las cantidades que se indican:

- 240 g de cloruro de calcio anhidro, grado técnico.
- 1.085 g de glicerina farmacéutica.
- 25 g de formaldehído (solución 40% de volumen / volumen).

b) Preparación. Disuelva el cloruro de calcio en 1 l de agua destilada y filtre. Agregue la glicerina y el formaldehído a la solución, mezcle bien y diluya a 2 l con agua destilada.

G.3. Solución de ensayo

Tome 22,5 ml de la solución base y diluya a 1 l con agua destilada.



Figura 6.1_62. Equipos y materiales requeridos

6.1.3.7.4. CONDICIONES GENERALES

A. LUGAR DE ENSAYO

Debe estar libre de golpes o vibraciones que puedan alterar el período de decantación. Cuando se empleen probetas de acrílico deben protegerse de la luz solar directa.

6.1.3.7.5. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. MUESTREO

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con los **Métodos A0504 (o H0101)** "Método para extraer y preparar muestras" y **A0505 (o H0102)** "Método para el cuarteo de muestras"

Tamaño de la muestra de ensayo.

- a) La muestra original debe tener un tamaño igual o mayor que 2.000 g de material bajo 5 mm.
- b) La muestra para cada ensayo debe ser igual a una medida llena enrasada (85 ± 5 ml).

B. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO

B.1. Tamizado

Pase la muestra original en estado húmedo por el tamiz de 4,75 mm (N° 4); disgregue manualmente los terrones de material arcilloso. Si el material retenido tiene adheridas capas de material arcilloso, remuévalas secando el material retenido y frotándolo entre las manos sobre un recipiente. El polvo resultante debe incorporarse a la muestra y el material retenido debe desecharse.



Figura 6.1_63. Tamizado de la muestra en Tamiz N°4

C. REDUCCIÓN.

Reduzca por cuarteo hasta obtener material suficiente para llenar cuatro medidas.

D. SECADO.

Seque hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$; deje enfriar a temperatura ambiente.



Figura 6.1_64. Horno utilizado en el ensayo



Figura 6.1_65. Introducción de la muestra en el horno

6.1.3.7.6. PROCEDIMIENTO

- Coloque la botella del sifón con la solución de ensayo a aproximadamente 1 m sobre la superficie de trabajo.
- Sifonee la solución de ensayo en la probeta hasta que alcance un nivel de 100 ± 5 mm.



Figura 6.1_66. Llenado de la probeta con la solución de ensayo

- Obtenga por cuarteo el material suficiente para llenar una medida.
- Llene una medida; asiente el material golpeando el fondo de la medida contra la mesa de trabajo a lo menos 4 veces, enrase y vierta en la probeta.
- Golpee firmemente el fondo de la probeta contra la palma de la mano hasta desalojar las burbujas de aire.
- Deje la probeta en reposo por un período de 10 min.



Figura 6.1_67. Adición del agregado en la probeta de ensayo



Figura 6.1_68. Expulsión de las burbujas de aire en la probeta de ensayo



Figura 6.1_69. Muestras en reposo

- g. Coloque el tapón y suelte la arena del fondo inclinando y sacudiendo el tubo.
- h. Agite la probeta y su contenido mediante uno de los siguientes procedimientos:
- a) Agitación manual. Sujete la probeta en posición horizontal y agite vigorosamente en un movimiento lineal horizontal con un desplazamiento de 230 ± 25 mm. Agite 90 ciclos en aproximadamente 30 seg.
- Nota 1:** Un ciclo corresponde a un movimiento completo de ida y vuelta. Se recomienda agitar sólo con los antebrazos, manteniendo relajados el cuerpo y los hombros.
- Nota 2:** Antes de autorizar a un operador para realizar el ensayo de equivalente de arena, debe ser capaz de obtener resultados consistentes sobre muestras representativas de cualquier material ensayadas de acuerdo con el procedimiento normal. Los resultados se consideran consistentes si los valores individuales de tres ensayos realizados por el mismo operador sobre muestras gemelas no varían en más de ± 4 puntos respecto al promedio de esos ensayos. Si un operador no es capaz de obtener resultados consistentes, no debe autorizarse a efectuar este ensayo hasta que perfeccione su técnica y obtenga resultados que cumplen con los límites especificados.
- b) Agitación mecánica. Fije la probeta en el agitador mecánico y agite durante un período de 45 ± 1 seg.



Figura 6.1_70. Equipo agitador con la muestra

- i. Coloque la probeta sobre la mesa de trabajo, destápela y lave sus paredes interiores mediante el irrigador.
- j. Introduzca el irrigador hasta el fondo de la probeta con un movimiento lento de penetración y torsión para remover todo el material.



Figura 6.1_71. Extracción y lavado del tapón



Figura 6.1_72. Lavado de las paredes de la probeta



Figura 6.1_73. Introducción del tubo de irrigación al fondo de la probeta

- k. Retire el irrigador en forma similar, regulando el flujo de la solución de modo de ajustar el nivel final a 380 mm.
- l. Deje sedimentar por un periodo de 20 min ± 15 s.
- m. Al final del período de sedimentación lea y registre el nivel superior de la arcilla (t) aproximando al milímetro.

Nota 3: Si después de 20 min. no se ha formado una clara línea de sedimentación, deje reposar el tiempo necesario, registrándolo en el informe. Cuando el tiempo total exceda de 30 min., repita 3 veces el ensayo con muestras del mismo material. Registrar el t. Que requiera el período de sedimentación más breve.



Figura 6.1_74. Probetas en reposo



Figura 6.1_75. Lectura de suspensión

- n. Introduzca el pisón en la probeta y hágalo descender suavemente hasta que quede apoyado en la arena. Registre el nivel superior de la arena (N_a) aproximando al milímetro.

Nota 4: Cuando el nivel superior de la arcilla o de la arena quede entre graduaciones, registre la graduación superior como N_t o N_a según corresponda.



Figura 6.1_76. Barra estándar dentro de la probeta



Figura 6.1_77. Lectura del sedimento de arena

6.1.3.7.7. CÁLCULOS

Calcule el equivalente de arena de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 1%.

$$EA(\%) = (N_a/N_t) \times 100$$

Donde:

EA: Equivalente de arena (%).

N_a : Nivel superior de la arena (mm).

N_t : Nivel superior de la arcilla (mm).

Calcule el equivalente de arena de cada muestra como el promedio aritmético de los resultados de dos ensayos paralelos, con aproximación al 1 % superior.

6.1.3.7.8. PRECISIÓN

Debe aceptarse la determinación del equivalente de arena solamente cuando la diferencia entre dos resultados obtenidos por el mismo operador, en ensayos paralelos sobre muestras gemelas, sea igual o inferior a 4 puntos.

Debe ensayar dos nuevas muestras gemelas cuando no se cumpla con lo especificado en 29.

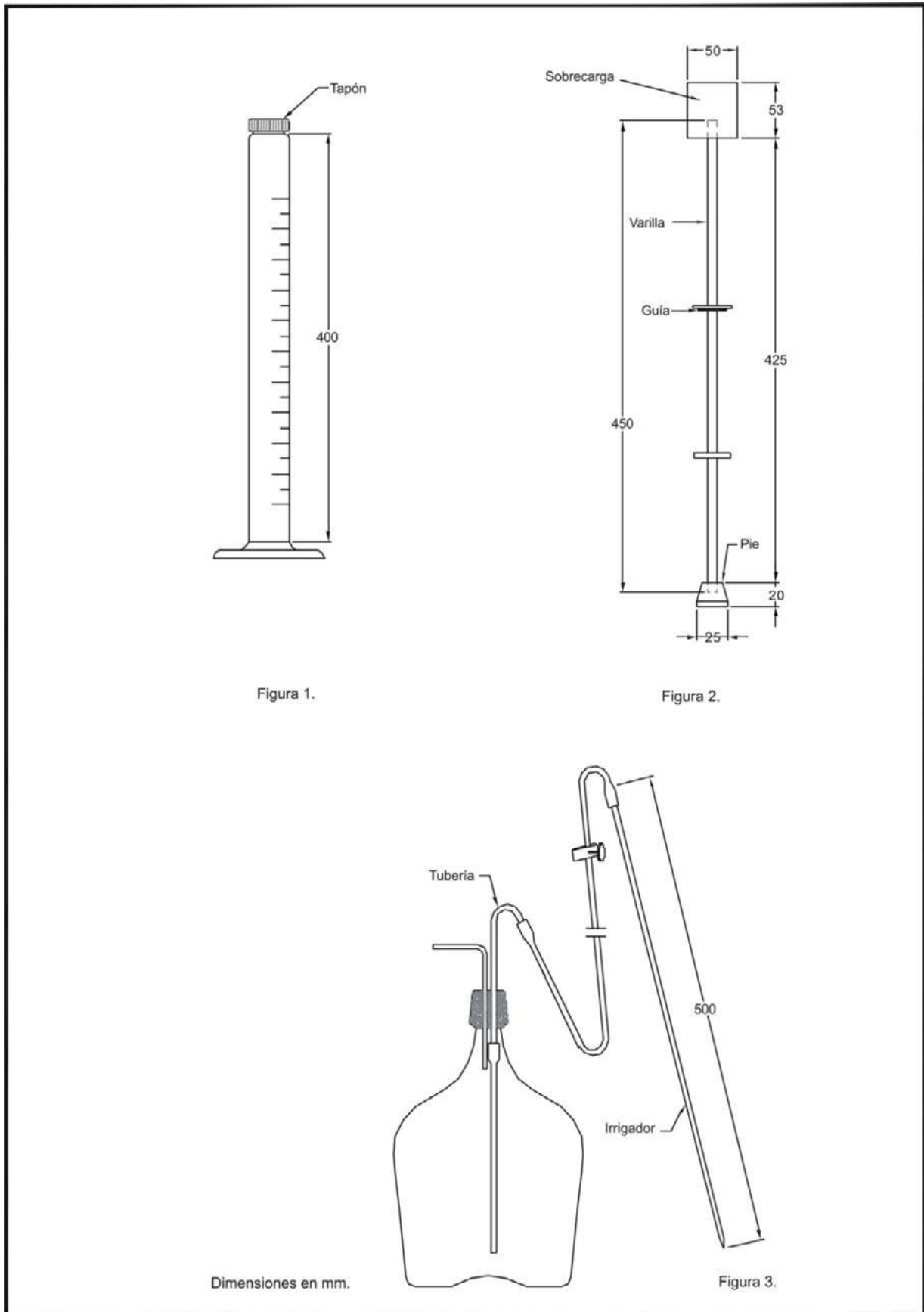


Figura 6.1_78. FIG1 PROBETA GRADUADA, FIG2.PISÓN, FIG3. SIFÓN

PLANILLA S0308_1 DETERMINACIÓN DEL EQUIVALENTE DE ARENA

⁽¹⁾ OBRA:			⁽²⁾ FECHA		
⁽³⁾ USO:		⁽⁴⁾ PROCEDENCIA:	⁽⁵⁾ N° SOLIC. SERV.		
N° CAMPO	⁽⁶⁾	⁽¹⁰⁾ LECTURA SUS-PENSIÓN (a)	⁽¹¹⁾ LECTURA SEDIMENTACION (b)	⁽¹²⁾ EQUIVALENTE DE ARENA (b/a)*100	
	⁽⁷⁾				
	⁽⁸⁾				
	⁽⁹⁾				
⁽¹³⁾ PROMEDIO					
N° CAMPO	⁽⁶⁾	⁽¹⁰⁾ LECTURA SUS-PENSIÓN (a)	⁽¹¹⁾ LECTURA SEDIMENTACION (b)	⁽¹²⁾ EQUIVALENTE DE ARENA (b/a)*100	
	⁽⁷⁾				
	⁽⁸⁾				
	⁽⁹⁾				
⁽¹³⁾ PROMEDIO					
N° CAMPO	⁽⁶⁾	⁽¹⁰⁾ LECTURA SUS-PENSIÓN (a)	⁽¹¹⁾ LECTURA SEDIMENTACION (b)	⁽¹²⁾ EQUIVALENTE DE ARENA (b/a)*100	
	⁽⁷⁾				
	⁽⁸⁾				
	⁽⁹⁾				
⁽¹³⁾ PROMEDIO					

⁽¹⁴⁾ OBSERVACIONES:

REALIZADO POR: _____

REVISADO POR: _____

Tabla 6.1_19. MANUAL DEL USUARIO DEL FORMATO DE DETERMINACIÓN DE EQUIVALENTE DE ARENA

⁽¹⁾ OBRA: Se debe colocar el nombre del trabajo o proyecto a ejecutar.
⁽²⁾ FECHA: Se debe colocar la fecha en que realiza el ensayo.
⁽³⁾ USO: Se debe indicar cuál será o es uso del material a ensayar.
⁽⁴⁾ PROCEDENCIA: Lugar de donde proviene la muestra.
⁽⁵⁾ Nº DE SOLICITUD DE SERVICIO: Se debe colocar el Nº de la solicitud de servicio con la cual se contrató el ensayo.
⁽⁶⁾ Nº DE CAMPO: Es la identificación que se da a cada muestra recolectada.
⁽⁷⁾ Nº DE MUESTRA: Se debe colocar el número que identifica a cada muestra recolectada.
⁽⁸⁾ Nº DE LABORATORIO: Es el número de identificación que se le da a la muestra al llegar al laboratorio.
⁽⁹⁾ PROFUNDIDAD: Se debe colocar la lectura de profundidad medida.
⁽¹⁰⁾ LECTURA DE SUSPENSIÓN (a): Se debe colocar la lectura que se obtiene de la barra Standart.
⁽¹¹⁾ LECTURA SEDIMENTACION (b): Se debe colocar la lectura que se obtiene de la barra Standart.
⁽¹²⁾ EQUIVALENTE DE ARENA (b/a)*100: Se debe anotar el valor de equivalente de arena que se obtiene de la ecuación en esta columna.
⁽¹³⁾ PROMEDIO: Se debe colocar cualquier apreciación adicional que se quiera comentar.
⁽¹⁴⁾ OBSERVACIONES: Se debe colocar cualquier apreciación adicional que se quiera comentar.

6.1.3.7.9. INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Procedencia de la muestra.
- c) Procedimiento de agitación.
- d) Resultado del ensayo.
- e) Fecha del ensayo.
- f) Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al árido.
- g) La referencia a este método.

SECCION 6.1.3.8.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ORGÁNICO EN SUELOS MEDIANTE PÉRDIDA POR IGNICIÓN (AASTHO T267)

6.1.3.8.1. OBJETO

El método de “pérdida por ignición” para la determinación del contenido orgánico es más aplicable a aquellos materiales identificados como turbas, lodos orgánicos y suelos que contengan materia vegetal relativamente no descompuesta ni deteriorada o materiales de plantas frescas como madera, raíces, pasto o materiales carbonáceos como lignito, carbón, etc.

Este método sirve para determinar la oxidación cuantitativa de materia orgánica en tales materiales y proporciona una estimación válida del contenido orgánico. El método de la “Combustión Húmeda” (**AASHTO T194**), se recomienda cuando se desea determinar el material orgánico (del tipo humus) fácilmente oxidable para suministrar información relacionada con la adecuabilidad de un suelo para cultivo.

6.1.3.8.2. EQUIPOS Y MATERIALES

- Horno, que pueda mantener temperaturas de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$). Cuando se seca material liviano, puede ser necesario utilizar un horno de gravedad en lugar de uno de convección.
- Balanza, de 1200 g de capacidad y con una precisión de 0,01 g.
- Mufla, que pueda mantener una temperatura continua de $445 \pm 10^{\circ}\text{C}$ ($833 \pm 18^{\circ}\text{F}$), y que tenga una cámara de combustión donde se pueda acomodar el recipiente designado con la muestra. El registro del pirómetro deberá indicar la temperatura mientras se halle en uso.
- Crisoles o platos de evaporación
- Crisoles de pedernal, aleaciones de aluminio, porcelana o nickel de 30 a 50 ml de capacidad o platos de evaporación de porcelana, de 100 mm de diámetro superior.
- Desecadores, de tamaño adecuado.
- Recipientes, a prueba de moho, de metal, porcelana, vidrio o recubiertos de plástico.
- Suministros misceláneos. Tamiz N° 10
- Guantes de protección de calor, pinzas, espátula, etc.



Figura 6.1_79. Equipos requeridos para el Ensayo

6.1.3.8.3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Deberá tomarse una muestra representativa, que pese al menos 100 g, de una porción del material que pase el tamiz de 2,00 mm (N°10) y la cual haya sido obtenida de acuerdo con el **Método 6.1.2.4.**, "Preparación en seco de muestras de suelo para análisis granulométrico y determinación de las constantes físicas".

Colóquese en un recipiente la muestra y séquese en el horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$) hasta peso constante. Remuévase la muestra del horno, colóquese en el desecador y déjese enfriar.



Nota 1: Puede permitirse que la muestra permanezca en el horno hasta cuando se vaya a proseguir con el resto del ensayo.

Figura 6.1_80. Extracción del Horno de Muestra Seca

6.1.3.8.4. PROCEDIMIENTO

- Escójase una muestra que pese aproximadamente de 10 a 40 g, colóquese en crisoles tarados o en platos de evaporación de porcelana y pésese, con aproximación a 0,01 g.

Nota 2: Los pesos de muestra de materiales livianos como la turba pueden ser menores de 10 g, pero deberán ser de suficiente cantidad para llenar el crisol al menos hasta 3/4 de profundidad. Puede requerirse inicialmente una tapa sobre el crisol durante la fase inicial de ignición para disminuir la posibilidad de que la muestra sea arrojada fuera del recipiente.



Figura 6.1_81. Conjunto de Muestra pesada



Figura 6.1_82. Introducción del Crisol en la Mufla

- b. Colóquese el crisol o el plato que contiene la muestra dentro de la mufla durante 6 horas a $445 \pm 10^{\circ}\text{C}$.
- c. Remuévase la muestra de la mufla, colóquese en el desecador y permítase enfriar.



Figura 6.1_83. Extracción de la Muestra de la Mufla



Figura 6.1_84. Muestra en el Desecador

- d. Remuévase la muestra enfriada del desecador y pésele con aproximación a 0,01g.



Figura 6.1_85. Muestra Seca pesada en el Crisol

6.1.3.8.5. CÁLCULOS

El contenido orgánico deberá expresarse como un porcentaje del peso del suelo secado en el horno y deberá calcularse así:

$$\% \text{ de materia orgánica} = \frac{A - B}{B - C} \times 100$$

Donde:

- A: Peso del crisol o plato de evaporación y del suelo seco al horno antes de la ignición.
- B: Peso del crisol o plato de evaporación y del suelo seco después de la ignición.
- C: Peso del crisol o plato de evaporación, con aproximación a 0,01 gramos.

Calcúlese el porcentaje del contenido orgánico con aproximación al 0,1%.

SECCION 6.1.3.9.**PERMEABILIDAD DE SUELOS
GRANULARES (CARGA CONSTANTE)
(ASTM D2434 AASHTO T215)****6.1.3.9.1. OBJETO**

Este método de ensayo cubre un procedimiento para determinar el coeficiente de permeabilidad mediante un método de carga constante para el flujo laminar de agua a través de suelos granulares. El procedimiento está destinado a establecer valores representativos del coeficiente de permeabilidad de suelos granulares presentes en depósitos naturales o colocados en terraplenes, o cuando se empleen como bases bajo pavimentos. Para limitar las influencias de consolidación durante el ensayo, este procedimiento está limitado a suelos granulares alterados que no contengan más de 10 % de partículas que pasen tamiz de 75 mm (N°200).

6.1.3.9.2. EQUIPOS Y MATERIALES

- Permeámetros, como se indican en la **Figura 6.1_86**, deberán tener cilindros para muestras con diámetro mínimo de aproximadamente 8 a 12 veces el tamaño máximo de las partículas de acuerdo con la **Tabla 6.1_20**. El permeámetro deberá contar con : (1) un disco poroso o una malla reforzada adecuada para el fondo, con una permeabilidad mayor que la de la muestra de suelo, pero con aberturas suficientemente pequeñas para impedir el movimiento de partículas; (2) tomas de manómetros para medir la pérdida de carga, h , sobre una longitud, l , equivalente al menos al diámetro del cilindro; (3) un disco poroso o una malla adecuada reforzada con un resorte adherido a la parte superior, o cualquier otro dispositivo, para aplicar una ligera presión de resorte, de 22 a 44 N (5 a 10 lbf) de carga total, cuando la placa superior se halla colocada en su sitio. Esto mantendrá el peso unitario y el volumen del suelo sin cambio durante la saturación y durante el ensayo de permeabilidad, para satisfacer los requerimientos prescritos en el punto "Condiciones generales".
- Tanque de carga constante con filtro, como se muestra en la **Figura 6.1_86**, para suministrar agua y para remover aire de la conexión de agua, provisto de válvulas de control adecuadas para mantener las condiciones descritas en el punto "Condiciones generales". Si se prefiere, puede emplearse agua desaireada.
- Embudos amplios, equipados con canalones cilíndricos especiales de 25mm (1") de diámetro para partículas de tamaño máximo de 9.5mm (3/8"), y de 12.7mm (1/2") de diámetro para partículas de tamaño de 2.00mm (N°10).

La longitud del canalón deberá ser mayor que la longitud total de la cámara de permeabilidad por lo menos en 152mm (6").

- Equipo para la compactación del espécimen.- Puede emplearse el equipo de compactación que se considere deseable. Se sugieren los siguientes: un pisón vibratorio provisto de un pie de compactación de 50mm (2") de diámetro; un pisón de impacto con un peso deslizante consistente de un pie apisonador de 50mm (2") de diámetro, y una varilla para pesas deslizantes de 100g (0.22 lb) (para arenas) a 1 kg (2.25 lb) (para suelos con un contenido apreciable de grava),

que tenga una caída ajustable a 100 mm (4") para arenas y 200 mm (8") para suelos con alto contenido de grava.

- Bomba de vacío o aspirador de chorro de agua, con grifo para evacuar y saturar muestras de suelo con vacío completo (Figura 6.1_ 87)
- Tubos manométricos con escalas métricas para medir presión de agua.
- Balanza de capacidad de 2 Kg. y sensibilidad de 1 g.

Tabla 6.1_20. DIÁMETRO DEL CILINDRO

Tamaño máximo de partículas que pasan entre tamices	Diámetro mínimo del cilindro			
	% retenido (*) > 35%		% retenido (*) < 35%	
	2,00 mm (Nº 10)	9,50 mm (3/8 ")	9,50 mm (3/8 ")	19 mm (3/4")
9,50 mm (3/8") y 2,00 mm (Nº 10)	75 mm (3")		115 mm (4,5")	
19 mm (3/4") y 9,50 mm (3/8")		150 mm (6")		230 mm (9")

(*) % retenido = suelo total retenido en el tamiz del tamaño indicado inmediatamente debajo.

- Cucharón, con una capacidad de alrededor de 100 g. (0.22 lb de suelo).
- Equipos misceláneos Termómetros, reloj con apreciación de segundos, vaso graduado de 250 ml, jarra de 1 litro, cubeta para mezclar, cucharas, etc.

6.1.3.9.3. CONDICIONES GENERALES

Las siguientes condiciones ideales de ensayo son prerequisites, para el flujo laminar de agua a través de suelos granulares bajo condiciones de carga constante:

- Continuidad de flujo sin cambios en el volumen del suelo durante el ensayo.
- Flujo con los vacíos del suelo saturados con agua y sin burbujas de aire dentro de los mismos.
- Flujo uniforme sin cambios en el gradiente hidráulico, y
- Proporcionalidad directa de la velocidad de flujo con gradientes hidráulicos por debajo de ciertos valores críticos, en los cuales se inicia el flujo turbulento.

Todos los demás tipos de flujo que involucran saturación parcial de los vacíos del suelo, flujo turbulento, y flujo no uniforme son de carácter transitorio y producen variables y coeficientes de permeabilidad que dependen del tiempo; por esto, requieren condiciones y procedimientos especiales de ensayo.

6.1.3.9.4. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

1. Deberá escogerse por cuarteo una muestra representativa de suelo granular secado al aire, que contenga menos del 10% de suelo que pase tamiz de 75 µm (Nº200) y en cantidad suficiente para satisfacer las exigencias de los numerales 2 y 3.

2. Deberá ejecutarse un análisis granulométrico de acuerdo con los métodos descritos en S0302 y S0303 sobre una muestra representativa de la totalidad del suelo antes del ensayo de permeabilidad.
3. Las partículas mayores de 19,0 mm (3/4") deberán separarse por tamizado. Los sobre tamaños no deberán emplearse para el ensayo de permeabilidad, pero deberá anotarse el porcentaje de los mismos.
4. Para establecer valores representativos de coeficientes de permeabilidad para el intervalo que pueda existir en la situación que se esté investigando, deberán obtenerse para ensayo muestras de los suelos más finos, intermedios, y más gruesos.
5. Del material del cual han sido removidos los sobre tamaños, escójase mediante cuarteo una cantidad aproximadamente igual a dos veces la requerida para llenar la cámara del permeámetro.
6. Para la preparación de la muestra deberá considerarse las siguientes condiciones:
 - a) El tamaño del permeámetro que va a emplearse deberá cumplir lo estipulado en la Tabla 6.1_ 20.
 - b) Efectúense las siguientes medidas iniciales en milímetros o en milímetros cuadrados y anótese en el formato de informe el diámetro interior "D" del permeámetro, la longitud "L" entre las salidas de manómetro; la profundidad "H1" medida en cuatro puntos simétricamente espaciados desde la superficie superior de la placa tope del cilindro de permeabilidad, hasta la parte superior de la piedra porosa superior, o de la malla, colocada temporalmente sobre la placa porosa o malla inferior. Esto deduce automáticamente el espesor de la placa porosa superior o malla de las medidas de altura tomadas para determinar el volumen del suelo colocado en el cilindro de permeabilidad. Puede también emplearse una placa duplicada para la parte superior, que tenga cuatro aberturas simétricamente colocadas, a través de las cuales se efectúan las medidas requeridas para determinar el valor promedio de "H1". Calcúlese el área de la sección transversal "A" de la muestra.
 - c) Tómese una pequeña parte de la muestra escogida como se prescribe en los numerales 1,2 y 3 para las determinaciones de humedad. Anótese el peso del remanente de la muestra secada al aire (numerales 1,2 y 3), W1, para las determinaciones de peso unitario.
 - d) Colóquese el suelo preparado mediante uno de los procedimientos siguientes, en capas delgadas uniformes aproximadamente iguales en espesor al tamaño máximo de las partículas después de compactadas, pero no menor de 15 mm (0.60"), aproximadamente.
 - e) Para suelos con un tamaño máximo de 9,5 mm (3/8") o menos; colóquese en el aparato el tamaño apropiado de embudo, con el conducto en contacto con la placa porosa o malla inferior, o con la capa previamente formada, y llénese el embudo con suelo suficiente para formar una capa, tomando suelo de diferentes áreas de la muestra en la bandeja. Levántese el embudo a una altura de 15 mm (0.60"), o aproximadamente igual al espesor de la capa no consolidada que se va a conformar y distribúyase el suelo con movimiento lento en espiral, trabajando desde el perímetro del aparato hacia el centro, de manera que se forme una capa uniforme. Vuélvase a mezclar en la bandeja el suelo para cada capa sucesiva, con el fin de reducir la segregación que hubiera podido producirse.
 - f) Para suelos con un tamaño máximo mayor de 9,5 mm (3/8") distribúyase el suelo con un cucharón. Puede lograrse un extendido uniforme deslizando el cucharón con suelo en posición casi horizontal hacia abajo y a lo largo de la superficie interior hasta llegar al fondo o hasta la capa formada, inclinando luego el cucharón y levantándolo hacia el centro con

un sencillo movimiento lento; esto permite al suelo correr suavemente sobre el cucharón sin segregación.

7. Gírese suficientemente el cilindro para la cucharada siguiente progresando así en torno al perímetro interior para formar una "capa uniforme compactada de espesor igual al tamaño máximo de las partículas".
8. Compáctense capas sucesivas de suelo al peso unitario relativo deseado, mediante un procedimiento apropiado, como sigue, hasta una altura de alrededor de 20 mm (0.8") por encima de la salida del manómetro superior.

A. PESO UNITARIO MÍNIMO (PESO UNITARIO RELATIVO DEL 0%)

Continúese colocando capas de suelo en forma sucesiva mediante uno de los procedimientos descritos en el numeral 5 d) hasta cuando el aparato esté lleno al nivel apropiado.

B. PESO UNITARIO MÁXIMO (PESO UNITARIO RELATIVO DEL 100%)

a) Compactación mediante el pisón vibratorio.- Compáctese perfectamente cada capa de suelo con el pisón vibratorio mediante golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie de la capa siguiendo una trayectoria regular. La presión de contacto y la duración de la acción vibratoria en cada punto no deberán hacer que el suelo escape por debajo de los bordes de la pata de compactación, tendiendo así a que se afloje la capa. Efectúese un número de coberturas suficientes para producir un peso unitario máximo, como quedaría evidenciado prácticamente cuando no haya movimiento visible de las partículas superficiales adyacentes a los bordes del pisón de compactación.

b) Compactación mediante el pisón de peso deslizante.- Compáctese completamente cada capa de suelo mediante golpes de compactación uniformemente distribuidos sobre la superficie de la capa. Ajústese la altura de caída y proporcionense suficientes coberturas para producir el peso unitario máximo, de acuerdo con el tamaño de las partículas y con el contenido de grava del suelo.

c) Compactación mediante otros métodos.- La compactación puede cumplirse mediante otros métodos aprobados, como los proporcionados mediante equipos de empaque vibratorios, en los cuales se tiene cuidado de obtener un espécimen uniforme sin segregaciones de partículas por sus tamaños.

C. PESO UNITARIO RELATIVO INTERMEDIO ENTRE 0 Y 100 %

a) Mediante tanteos, en un recipiente separado del mismo diámetro que el cilindro de permeabilidad, ajústese la compactación para obtener valores que puedan repetirse para el peso unitario relativo. Compáctese el suelo en el cilindro de permeabilidad mediante estos procedimientos en capas delgadas hasta una altura de alrededor de 20 mm (0.80") por encima de la salida del manómetro superior.

b) Con el fin de relacionar sistemáticamente y de manera representativa, las condiciones de peso unitario relativo que pueden regir en depósitos naturales o en terraplenes compactados, deberá efectuarse una serie de ensayos de permeabilidad que cubran el rango de los pesos unitarios relativos en el campo.

6.1.3.9.5. PREPARACIÓN DEL ESPÉCIMEN PARA ENSAYO DE PERMEABILIDAD

Nivélase la superficie superior del suelo colocando la placa porosa o la malla superior en posición y rotándola suavemente a derecha e izquierda.

Mídanse y anótense: la altura final de la muestra, H_1-H_2 , midiendo la profundidad, H_2 , desde la superficie superior de la placa tope perforada empleada para medir H_1 , hasta el tope de la placa porosa superior o malla, en cuatro puntos simétricamente dispuestos después de comprimir ligeramente el resorte para asentar la placa porosa o la malla durante las medidas, el peso final secado al aire del suelo empleado en el ensayo (W_1-W_2), pesando el remanente de suelo dejado en la bandeja. Calcúlense y anótense los pesos unitarios, la relación de vacíos, y el peso unitario relativo de la muestra de ensayo.

Con el empaque en su sitio, presiónese hacia abajo la placa superior contra el resorte y fíjese seguramente en la parte superior del cilindro del permeámetro, produciendo un sello a prueba de aire. Esto satisface la condición descrita en los numerales 1,2 y 3 de mantener el peso unitario inicial, sin cambio significativo de volumen durante el ensayo.

Empleando una bomba de vacío o una aspiradora adecuada, aspírese la muestra, bajo 500 mm (20") de mercurio como mínimo, durante 15 minutos, para remover el aire de los vacíos y el adherido a las partículas. Continúese la operación mediante una saturación lenta de la muestra de abajo hacia arriba (**Figura 6.1_87**), bajo vacío total, con el fin de liberar cualquier aire remanente en la muestra. La saturación continuada de la muestra puede mantenerse más adecuadamente mediante el uso de: (1) agua desaireada, (2) de agua mantenida a una temperatura de flujo suficientemente alta para causar una disminución, del gradiente de temperatura en el espécimen durante el ensayo. Podrá emplearse agua natural o agua con bajo contenido de minerales, pero deberá anotarse en el formato de ensayo, en cualquier caso, el fluido utilizado. Esto satisfará la condición descrita en los numerales 1,2 y 3. Para la saturación de los vacíos del suelo.

-Agua natural es la que se presenta in situ en el suelo o en la roca. Debería emplearse esta agua, pero (al igual que el agua desaireada), puede ser un refinamiento poco práctico para la ejecución de ensayos en gran escala.

Después de saturado el espécimen y que el permeámetro se encuentre lleno de agua, ciérrase la válvula del fondo sobre el tubo de desagüe (**véase Figura 6.1_87**) y desconéctese el vacío. Debe tenerse cuidado de constatar que el sistema de flujo de permeabilidad y que el sistema de manómetros se hallen libres de aire y estén trabajando satisfactoriamente. Llénese el tubo de admisión con agua proveniente del tanque de carga constante, abriendo ligeramente la válvula del filtro del tanque. Conéctese el tubo de admisión al tope del permeámetro, ábranse ligeramente la válvula de admisión y los grifos del manómetro de salida, para permitir que fluya el agua, eliminándose así el aire. Conéctense los tubos manométricos de agua con las salidas de manómetro, y llénense con agua para remover el aire. Ciérrase la válvula de admisión y ábrase la de desagüe, para que el agua alcance, en los tubos manométricos, un nivel estable con presión cero.

6.1.3.9.6. PROCEDIMIENTO

Abrase ligeramente la válvula de admisión del tanque filtrante para la primera prueba hasta lograr las condiciones descritas, absteniéndose de tomar las medidas de gasto y de presión hasta que se alcance una condición de presión estable sin que exista variación apreciable de los niveles de los manómetros. Mídase y anótense el tiempo, " t ", la presión, " h ", (diferencia de nivel en los manómetros), el gasto, " Q ", y la temperatura del agua, " T ".

Repítanse las pruebas con incrementos de presión de 5 mm para establecer exactamente la zona de flujo laminar con velocidad, v (siendo $v = Q/At$) directamente proporcional al gradiente hidráulico, " i " (siendo $i = h/L$). Cuando se hagan patentes las desviaciones de la relación lineal, indicando con ello la iniciación de condiciones de flujo turbulento, pueden emplearse intervalos

de presión de 10 mm para llevar el ensayo suficientemente dentro de la zona del flujo turbulento como para definir esta zona si esto fuere significativo para las condiciones del campo.

Se requieren valores mucho más bajos del gradiente hidráulico h/L , de los que generalmente se reconocen para asegurar condiciones de flujo laminar. Se sugieren los siguientes valores: compactación suelta, relaciones de h/L de 0.2 a 0.3, y compactación densa, relaciones de h/L de 0.3 a 0.5. Los valores menores de h/L se aplican a suelos gruesos y los mayores a suelos finos.

Al concluir el ensayo de permeabilidad, dréñese y examínese la muestra para establecer si era esencialmente homogénea y de carácter isotrópico. Cualquier clase de rayas o capas horizontales alternadas claras y oscuras son evidencia de la segregación de finos.

6.1.3.9.7. CÁLCULOS

Calcúlese el coeficiente de permeabilidad, k , así:

$$k = \frac{Q \cdot L}{A \cdot t \cdot h}$$

Donde:

k : Coeficiente de permeabilidad

Q : Gasto, es decir, cantidad de agua descargada.

L : Distancia entre manómetros.

A : Área de la sección transversal del espécimen

t : Tiempo total de desagüe.

h : Diferencia de presión (altura) sobre los manómetros.

Corrójase la permeabilidad (para la que corresponde a 20°C (68 °F)), multiplicando k por la relación de la viscosidad de agua a la temperatura del ensayo con respecto a la viscosidad del agua a 20°C.

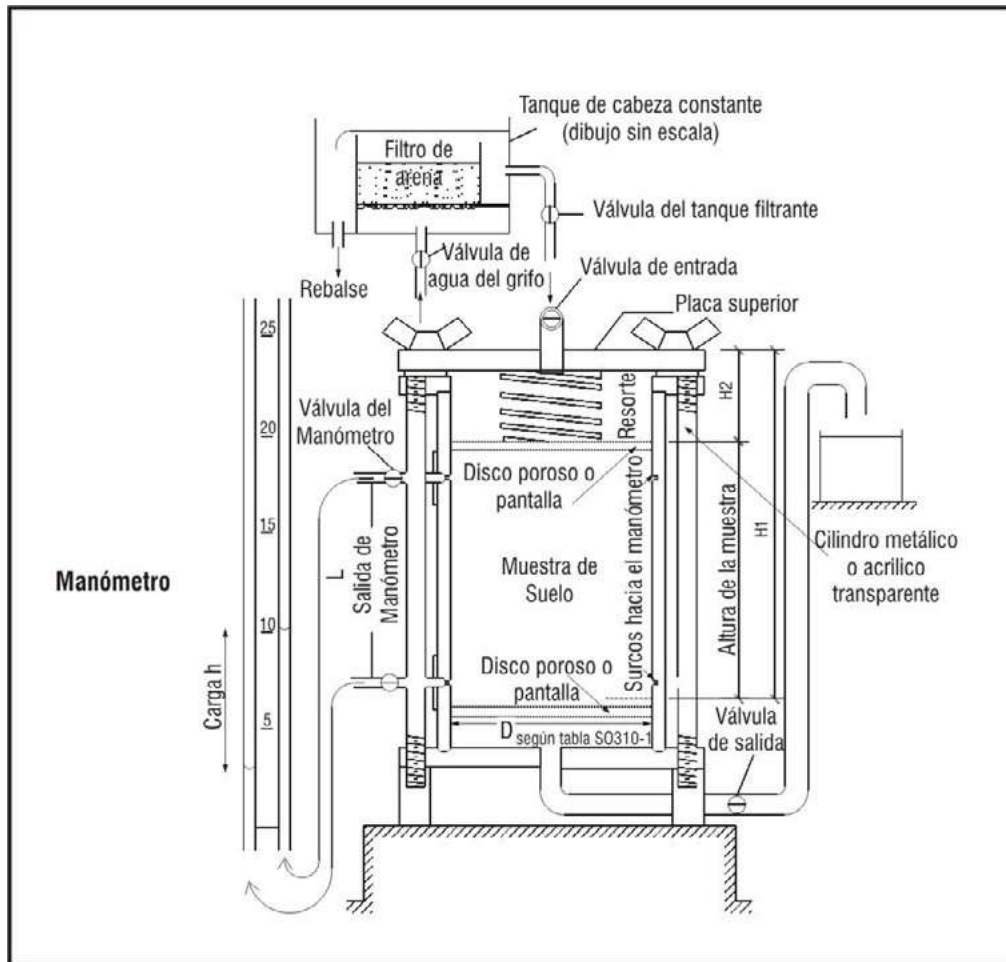


Figura 6.1_86. PERMEÁMETRO DE CARGA CONSTANTE

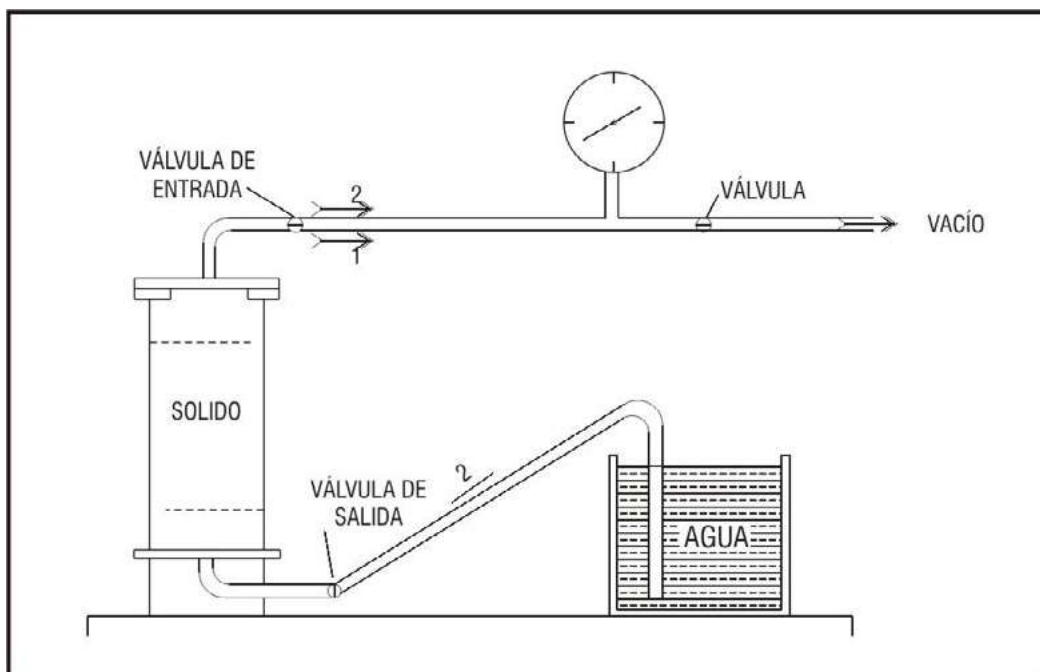


Figura 6.1_87. APARATO PARA LA EVACUACIÓN Y SATURACIÓN DE LO ESPECÍMENES

SECCION 6.1.3.10.**DETERMINACIÓN DEL PH DE LOS
SUELOS (ASTM G51)****6.1.3.10.1. OBJETO**

Este método se refiere a la determinación del pH (potencial del hidrógeno) de un suelo. Se describen dos métodos generales de medición de pH: métodos eléctricos y métodos colorimétricos.

Los métodos eléctricos para la determinación del pH están basados en el principio de que las soluciones que se van a ensayar pueden considerarse como un electrolito de una celda voltaica.

El electrodo de referencia se mantiene a un voltaje constante y no es afectado por los cambios de pH. El otro electrodo es de tal naturaleza que el pH de la solución afecta su voltaje. La relación entre el pH y el voltaje de la celda de las soluciones de ensayo pueden convertirse a valores de pH. El voltaje de soluciones de pH desconocido puede determinarse midiendo el voltaje de la celda y convirtiendo el valor del voltaje a unidades de pH. Cuando se usan electrodos especificados, es posible diseñar el indicador de voltaje para que puedan leerse directamente valores de pH. El electrodo de referencia es generalmente del tipo de calomel saturado, el cual tiene un potencial constante con respecto a la solución de ensayo y envuelve un mínimo de dificultades con los potenciales de los líquidos que están en su unión. El otro electrodo puede ser del tipo de hidrógeno, quinhidroma, antimonio o vidrio. El electrodo de vidrio generalmente se considera más adecuado y ha tenido mayor uso en los últimos años.

El electrodo de vidrio consiste de un bulbo muy delgado hecho de un tipo de vidrio especial. En el interior del bulbo va colocado un electrolito conveniente y un electrodo. Se ha encontrado que tal electrodo permite exactitud en la medida del pH en la escala 0 a 9, sin afectarlo la presencia de agentes oxidantes, reductores, materias coloidales, sólidos en suspensión, etc., y es igualmente exacto cuando se ensayan soluciones "buffer". Los mismos resultados para valores de pH por encima de 9, excepto para desviaciones causadas por el incremento de iones activos de sodio y otros metales alcalinos, los cuales deben corregirse por ensayos con soluciones "buffer" normales de valores de pH aproximados a la solución de ensayo, o por el uso de curvas de corrección especiales, suministradas con el instrumento. El método eléctrico, aquí descrito, limita los electrodos a ser de dos materiales: calomel y vidrio.

Los métodos colorimétricos son los más baratos y los más sencillos para la determinación del pH. Las lecturas se pueden hacer rápidamente y el método es aplicable en el caso de que no sea necesaria una gran exactitud. En este tipo de determinación del pH, unas pocas gotas del indicador adecuado se le agregan a la solución. El color de la mezcla obtenida se compara contra colores estándar que pueden ser soluciones coloreadas o tablas, de papel coloreado.

El método colorimétrico es susceptible de error por temperatura, efecto del solvente, oxidación, reducción, efecto salino, proteínico, coloidal y por soluciones "buffer" diluidas. Los mayores errores son introducidos por el efecto coloidal y escasez de "buffer" en una solución, aunque la oxidación y reducción pueden causar errores notables.

Puesto que la mayoría de los indicadores usados son ácidos o bases orgánicas débiles, es obvio que cuando se agregan a soluciones no "buffer" tenderán a cambiar el pH exactamente como lo haría la adición de otros ácidos o bases.

Esto ocasiona que los valores de pH cuando se determinan con indicadores en soluciones débilmente “buffer” sean susceptibles de error. En soluciones “buffer” concentradas el efecto del indicador no es notable.

El efecto coloidal es debido a materiales coloidales en ciertas soluciones de suelos, las cuales con frecuencia exhiben absorción específica, aumentando el error en varias unidades de pH.

La oxidación y reducción afectan los indicadores, puesto que ellos son por naturaleza colorantes orgánicos. Con frecuencia son blanqueados por la oxidación o la reducción causada por constituyentes del suelo, dando como resultado indicaciones falsas en el color.

La temperatura afecta el grado de ionización de ácidos, bases o sales. Consecuentemente, pueden introducirse errores en el pH si no se considera la temperatura. Es mejor llevar a cabo todas las determinaciones de pH a la misma temperatura (20 a 30°C) o en todo caso, anotar la temperatura a la cual se hizo la determinación.

6.1.3.10.2. EQUIPOS Y MATERIALES

- Ph Metros, existen dos tipos de estos medidores: (1) potenciométricos, los cuales tienen indicación nula, y (2) tipo amplificador de alta impedancia, el cual da el pH directamente (sin indicación nula).

Los medidores se consiguen portátiles, de baterías, de modo que pueden ser usados en el campo. El medidor potenciométrico es más exacto y generalmente más versátil.

- Electrodo de vidrio y de calomel, en la determinación del pH debe usarse un electrodo saturado de calomel, de referencia, o equivalente. Unos pocos cristales de KCl deben estar siempre presentes dentro de la cámara que rodea al calomel para asegurar que la solución esté saturada bajo las condiciones de uso. El diseño del electrodo debe permitir la formación de una interfase fresca entre la solución de KCl y el “buffer” o la muestra de suelo para cada ensayo, y debe permitir que los trozos de suelo que queden, sean fácilmente removidos mediante lavado.

También se requiere un electrodo de vidrio de construcción fuerte. La respuesta al pH del electrodo de vidrio debe considerarse satisfactoria si provee el valor correcto de pH (con tolerancia de $\pm 0,1$ unidades de pH) para soluciones en equilibrio (soluciones buffer).

Nota 1: *Estas soluciones de equilibrio (soluciones buffer) se obtienen añadiendo agua destilada a un producto fabricado en forma de tabletas o de polvo por compañías de productos químicos o suministrados por los fabricantes de los medidores de pH.*

Puede aceptarse que los electrodos, el de calomel y el de vidrio, se encuentren formando una sola unidad o electrodo combinado, siempre y cuando se cumplan los requisitos arriba mencionados.

- Sonda, cuando se requiera medir el pH en un sitio por debajo de la superficie del suelo, es necesario utilizar una sonda de longitud apropiada que permita efectuar las mediciones a la profundidad de interés. Esta sonda consiste en un electrodo de vidrio o en un electrodo combinado localizado dentro de una cubeta de caucho, al final de un tubo plástico.

6.1.3.10.3. ENSAYO DEL EQUIPO

Previamente a su utilización en el campo o periódicamente cuando su uso es extensivo allí, el aparato debe ser revisado para comprobar su linealidad y respuesta. El procedimiento de revisión es el siguiente:

- Enciéndase el instrumento, déjese calentar suficientemente, y llévase hasta un balance eléctrico, de acuerdo a las instrucciones del fabricante. Antes de usarlo, límpiese y lávense los electrodos de vidrio y de calomel con agua destilada.

Nota 2: *Los electrodos de vidrio nuevos, y aquéllos que han sido almacenados en seco deben ser previamente acondicionados según las recomendaciones del fabricante.*

- Se requieren al menos dos soluciones de equilibrio (buffer) estándar, para pH, que abarquen el valor de pH del suelo que va a ser determinado. Por experiencia se recomiendan las soluciones de pH igual a 4, 7 y 8. La temperatura de ensayo de estas soluciones no deberá diferir en más de 5°C entre ellas.
- Ajústese el dial compensador de temperatura del pH-metro, a la temperatura estándar de la solución.
- Sumérjense los electrodos en un pequeño volumen de la primera solución estándar conocida. Ahora ajústese el pH-metro para corregir la lectura observada al valor de pH conocido, mediante el dial correspondiente.
- Remuévanse los electrodos de la primera solución estándar y lávense con agua destilada.
- Sumérjense los electrodos en la segunda solución estándar. Si la lectura observada no difiere en más de 0,1 unidades del valor de pH conocido de la segunda solución, puede considerarse que el aparato está funcionando satisfactoriamente.

6.1.3.10.4. CALIBRACIÓN DEL PH-METRO

a) Calíbrese el pH-metro antes de su utilización. Si es necesario efectuar una serie larga de mediciones, compléntese la calibración inicial con una calibración cada 30 min. La calibración se efectuará como sigue:

b) Úsese una solución estándar en un intervalo que incluya el pH del suelo de ensayo, si esta información puede estimarse. De otro modo, comiencese con una solución que tenga un pH de 7. Estabilícese la temperatura de la solución de forma tal que se ajuste a la temperatura del suelo de ensayo, con una tolerancia de $\pm 10^{\circ}\text{C}$.

c) Sumérjense los electrodos en la solución estándar y ajústese la lectura del pH-metro a la real conocida, de la solución, utilizando el dial calibrador.

6.1.3.10.5. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Idealmente, la medición del pH debería hacerse en el campo, sobre muestras inalteradas con el electrodo de vidrio haciendo contacto con el suelo a la profundidad de interés. Si se desea medir el pH del suelo de la superficie, el suelo puede ser desintegrado si está compactado, para dar cabida a los electrodos. Si se desea una medición subterránea del pH, es necesario efectuar una perforación o una excavación que permita colocar el electrodo en el suelo a la profundidad deseada. La sonda es ideal para usarla con una herramienta perforadora, como por ejemplo una barrena de mano. Después de haber hecho la perforación, puede bajarse cuidadosamente la sonda en la cavidad, sin una preparación adicional del suelo.

Las muestras de suelo pueden ser extraídas a la superficie con una herramienta perforadora o algún extractor de muestras, y la medida puede hacerse en el campo, sobre la muestra así obtenida. Esta técnica es menos deseable que la de la sonda, descrita arriba.

La técnica menos aconsejable para medir el pH es aquella basada en una muestra transportada a un laboratorio para efectuar allí el ensayo. Sin embargo, si es inevitable hacerlo así, la medición del pH debe hacerse tan pronto como sea recibida la muestra. Colóquese la muestra en un recipiente de vidrio, limpio y hermético, o en una bolsa plástica de manera que el suelo no tenga contacto con algún metal. Si la medida del pH no se hace dentro de las 24 horas siguientes al momento de extracción de la muestra, se recomienda empacar la muestra en hielo seco, para retardar cualquier cambio en el pH debido a reacciones químicas o biológicas. Efectúese la medición del pH sobre la muestra tal como se recibió, y a la temperatura ambiente.

La adición de agua en ningún caso es recomendada, ya que existen suelos que con ello pueden variar su pH. Sin embargo, si un suelo es extremadamente seco y tiene una resistividad que excede de 106-cm, lo cual es una condición poco común, entonces la medición del pH no puede y no debe hacerse. Esta situación se manifestará con un movimiento aleatorio de la lectura del pH-metro.

6.1.3.10.6. PROCEDIMIENTO

- a. Calíbrese el aparato como se indicó en el punto “Calibración del Ph Metro”. La temperatura del suelo deberá ajustarse a la temperatura de la solución estándar con una tolerancia de $\pm 10^{\circ}\text{C}$. Sin embargo, el dial compensador de temperatura deberá permanecer como se ajustó en el momento de la calibración.
- b. Límpiense la superficie de los electrodos, lavándolos con agua destilada.
- c. Presiónese el área de contacto del electrodo de vidrio o del electrodo combinado, según el caso, contra el suelo inalterado, en el sitio de interés.
- d. El electrodo de referencia deberá ponerse en contacto con el suelo cercano al electrodo de vidrio, en caso de electrodos separados. Se sugiere una separación de 300 mm (1 pie) para mediciones superficiales. Para mediciones subterráneas, el electrodo de referencia puede ser colocado sobre la superficie, a 300 mm (1 pie) aproximadamente del orificio de perforación.
- e. Con los electrodos colocados en sitio, dispóngase el aparato para leer el pH, déjense unos minutos para que se establezca el equilibrio, y tómesese luego la lectura.
- f. Después de varios minutos, repítase la medición. Los valores obtenidos no deberán diferir en más de 0,2 unidades de pH entre ellos.

6.1.3.10.7. MÉTODO COLORIMÉTRICO USANDO EL JUEGO DE INDICADOR DE CAMPO LA MOTTE KENNY

El aparato consiste en tres ampollas de solución de indicador: rojo de metilo (para pH 4,4 a 6,0), azul de bromotymol (para pH 6,0 a 7,6) y rojo cresol (para pH 7,2 a 8,8), cada frasco con una pipeta y tres ampollas para hacer los ensayos. Este equipo está completamente dispuesto en una caja de madera de tamaño de bolsillo; también acompaña al aparato una tabla de comparación de color.

El procedimiento para realizar el ensayo correspondiente debe seguir los siguientes pasos:

- a) Llénese cada uno de los tres tubos hasta la marca más baja con el suelo que se va a ensayar y luego llénese cada tubo hasta la marca superior con agua destilada. Agítese cada tubo fuertemente y colóqueseles nuevamente en los huecos correspondientes.

b) Al primer tubo agréguese una gota de indicador rojo de metilo, sosteniendo la pipeta en una posición vertical; al segundo una gota de azul de bromotymol y al tercero una gota de rojo de cresol. Agítense cada tubo y vuélvasele de nuevo a los huecos. Si después de agitar los tubos no están llenos hasta la marca, agréguese suficiente agua para llevar el nivel a la marca exacta.

Tápense los frascos y déjense quietos en los huecos. Déjese en una posición vertical el tubo con el suelo para que se asiente hasta que las porciones claras de los tubos muestren colores definidos.

c) Primero compárese el color del tubo al cual se le agregó rojo de metilo, con la tabla de comparación rojo de metilo; si se obtiene una igual, léase directamente la reacción del suelo en la tabla o sea 4,6, 5,2, 5,6 etc. En este caso, no hay necesidad de hacer nuevas lecturas. Si este primer tubo muestra un color que es tan amarillo como el normal rojo de metilo de pH 6,0, compárese el color del segundo tubo al cual se le agregó azul de bromotimol con la tabla de azul bromotimol. Si se encuentra un color igual al del normal, se hace la lectura directa. Pero si este tubo muestra un color azul igual al normal de azul bromotimol de pH 7,6, compárese el último tubo al que se le agregó rojo de cresol con el normal de rojo cresol y hágase la lectura directamente.

Nota 3: *Para asegurar resultados satisfactorios, el ensayo de suelos arcillosos, por el método La Motte Kenny, requiere la siguiente modificación: la muestra de arcilla se debe mezclar con BaCl₂ 0.1N y agitar con un agitador de vidrio. Los indicadores deben agregarse a la mezcla bien agitada y dejarse precipitar. El suelo se asentará aproximadamente en 5 minutos. La comparación debe hacerse directamente con la tabla de comparación.*

6.1.3.10.8. PROCEDIMIENTO COLORIMÉTRICO USANDO EL JUEGO SOILTEST (USADO EN EL ESTADO DE MICHIGAN)

Un método colorimétrico económico y conveniente para determinar valores de pH aproximados, es el procedimiento de juego Soiltest.

Se utiliza una solución indicadora universal que cubre una gama de pH entre 3,0 a 9,0.

A. ACOMPAÑAN EL APARATO LAS INSTRUCCIONES Y UNA TABLA DE COMPARACIÓN.

El procedimiento incluye las instrucciones siguientes:

a) Para abrir el tubo gotero quítense la tapa del frasco y fuércese un pin o aguja a través del centro de la junta de enchufe de metal delgado.

b) Para efectuar el ensayo, tómese un pedazo de papel parafinado y dóblesele a lo largo. Dóblense los extremos del papel, formando una especie de barquito. Con un cuchillo apropiado, colóquese una pequeña cantidad de suelo, igual aproximadamente a 3 gotas de solución de ensayo, en la mitad del papel.

c) Agréguese 8 a 10 gotas de la solución de indicador Soiltest. Agítense el papel hasta que el color del líquido permanezca constante más o menos durante medio minuto. Entonces, agítense el suelo de manera que el líquido se separe del sólido en el mismo papel. Compárese el color del líquido con la tabla de comparación de pH.

d) Si el líquido fuere muy turbio para hacer la lectura, debe esperarse que el residuo sólido se precipite. El líquido claro se puede derramar sobre otro pedazo de papel. Demasiado suelo aumenta la turbidez.

- e) Las partículas del suelo resaltan el color amarillo de la solución. Hágase, por lo tanto, la lectura en el borde de la solución clara.
- f) Los suelos que tengan fibras de humus deben separarse de la solución que esté en el papel.
- g) El ensayo Soiltest es muy sensible y se debe tener mucho cuidado para lograr resultados exactos.
- h) Los ensayos se hacen mejor en suelos húmedos, no en suelo cenagosos o plásticos, sino cuando son desmenuzables y aptos para el cultivo.

B. PAPELES INDICADORES

Para la medición rápida de pH se usan papeles indicadores merck los cuales prácticamente abarcan la escala entera de los pH. Existe la posibilidad de determinar en la práctica con ayuda del papel indicador universal (pH 1 a 10) valores entre el pH 1 a 10 sin detalles, y con el papel indicador especial, ante todo en las gamas entre 3,8 y 10, valores más precisos. Los papeles indicadores merck y los papeles indicadores especiales merck son fáciles de operar y no requieren conocimientos especiales para su manejo.

B.1. Modo de empleo

Se prepara la muestra mezclando aproximadamente 5 g de suelo con suficiente agua para formar una pasta un poco por encima del límite líquido. Cuando el terreno está bien húmedo, no es necesario preparar la muestra sino operando directamente sobre el terreno que se va a ensayar. Se sumerge o se aplica la tira de papel indicador universal durante unos pocos segundos en la muestra que se va a ensayar.

Los líquidos viscosos o coloreados, así como las suspensiones, se gotean en el papel. Luego se compara el color del papel humedecido (tratándose de líquidos goteados con el dorso del papel), con la escala de colores. El color de la escala que más se aproxime a la coloración del papel humedecido, da directamente el pH aproximado de la muestra ensayada.

SECCION 6.1.3.11.

EVALUACIÓN Y DETERMINACIÓN DE SUELOS EXPANSIVOS (ASTM D4546 AASHTO T258)

6.1.3.11.1. OBJETO

Este método se usa para determinar si un suelo es potencialmente expansivo, así como a los métodos para predecir la magnitud del hinchamiento que se pueda producir.

El potencial de expansión de un suelo puede determinarse mediante los límites de Atterberg y la succión natural del suelo.

Empleando los Métodos normales se determinan el Límite Líquido (LL) Índice de Plasticidad (IP) y la succión del Suelo (nat.) según la **AASHTO T-273**. Usando estas propiedades índices y con la ayuda de la **Tabla 6.1_ S0312_1**, se puede determinar cualitativamente el potencial expansivo del suelo.

Tabla 6.1_21.

Grado de expansión	LL %	IP %	τ_{nat} (Ton/pie ²)
Elevado	> 60	> 35	> 4
Marginal	50-60	25-35	1,5 - 4
Bajo	< 50	< 25	< 1,5

Mediante el aparato de expansión desarrollado por Lambe (**Véase Figura 6.1_88**), puede medirse la presión de expansión desarrollada por el espécimen de suelo, después de 2 horas de inmersión, para predecir en forma preliminar su Potencial de Cambio Volumétrico (PCV), así:

PCV	Condición para el suelo
< 2 no crítica	2 – 4 crítica
	0 > 6 muy critica

Puede también definirse el PCV, a partir del Índice de Plasticidad y del Límite de contracción de acuerdo con los valores de la Tabla N° 2 según Holts y Gibs (1956).

Tabla 6.1_22. LÍMITES DE CONSISTENCIA Y POTENCIAL DE CAMBIO VOLUMÉTRICO (PCV)

PCV	IP		LIM. CONTRACCIÓN
	ZONA SECA	ZONA HÚMEDA	
BAJO	0 - 15	0 - 30	> 12
MODERADO	15 - 30	30 - 50	10 - 12
ALTO	> 30	> 30	< 10

Finalmente, se puede obtener indicación del carácter expansivo del suelo, a partir de la expansión lineal medida en especímenes sumergidos para el ensayo de CBR.

6.1.3.11.2. DETERMINACIÓN DE LA MAGNITUD DE LA EXPANSIÓN

La magnitud de la expansión que puede esperarse en una capa de suelo, se determina mediante uno de los métodos que se describen enseguida. Cuando se requiera una determinación más exacta, deberá efectuarse un ensayo de Expansión con Sobrecarga. Debido a lo prolongado del

tiempo y a los costos requeridos para efectuarlo, podrá emplearse también un procedimiento empírico llamado el Método del potencial de levantamiento vertical.

6.1.3.11.3. ENSAYO DE EXPANSIÓN CON SOBRECARGA. PROCEDIMIENTO DE PRE-DICCIÓN

A. MÉTODO I

Prepárese una muestra inalterada para el ensayo de consolidación de acuerdo con el **Método 6.1.4.7**, teniendo cuidado de evitar la pérdida de humedad durante su preparación. De los recortes de la muestra, determínese la humedad en el terreno y el peso específico del suelo.

La humedad natural se determina como un porcentaje del peso del suelo secado al horno:

$$\text{Humedad} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso del suelo secado al horno}} \times 100$$

Después de colocada la muestra en el consolidómetro, se le aplica una carga igual a la sobrecarga existente en el terreno, la cual deberá mantenerse hasta cuando el dial del extensómetro indique que ha cesado cualquier ajuste, por la carga aplicada.

Durante la aplicación de esta carga y durante el período de ajuste, debe tenerse cuidado de evitar el secamiento. Es extremadamente importante que no se pierda humedad en la muestra, lo cual puede lograrse cubriendo el consolidómetro con algodón húmedo. Este procedimiento de carga hace retornar la muestra, en cuanto es posible, a la relación de vacíos de campo, real y a la condición en el terreno, ya que la extrusión permite que las muestras inalteradas reboten inmediatamente en forma elástica.

Las condiciones reales en el terreno están definidas por el punto (1) de la Figura 6.1_ 89. En seguida, se inunda la muestra y se le deja alcanzar equilibrio como se indicó anteriormente. Esta condición se define, entonces, con el punto (2) en la misma Figura. La muestra se descarga luego mediante las disminuciones de carga normalmente empleadas en el laboratorio, hasta la presión deseada, obteniéndose en esta forma una curva de expansión desde el punto (2) hasta el (3). A partir de este último punto, se prosigue con un ensayo normal de consolidación.

Las curvas de carga-expansión forman aproximadamente líneas rectas en un gráfico semilogarítmico; la presión que no implica cambio de volumen, se determina entonces extrapolando las curvas de expansión entre los puntos 2 y 3, hasta interceptar la relación de vacíos en el terreno, representada por el punto (4). Esta se determina en la siguiente forma:

$$e_f = \frac{\text{humedad en el campo} \times \text{peso específico}}{\text{porcentaje de saturación}}$$

B.MÉTODO II

Se presenta este método porque puede ser necesario abreviar el trabajo; y la sobrecarga existente puede ser tan pequeña, que no tenga significado alguno obtener directamente curvas de expansión.

Este método puede emplearse únicamente después de ejecutados varios ensayos mediante el Método I y de verificar que la pendiente de la curva de rebote, sea secuencialmente la misma que la de expansión. El método II es igual al Método I hasta el punto en el cual se inunda la muestra y se registra la expansión total. En este punto, se prosigue con una secuencia de carga de consolidación normal con rebote, hasta obtener las curvas deseadas. Puesto que las pendientes de las curvas de expansión y rebote son esencialmente las mismas, puede obtenerse la curva de expansión haciendo pasar una curva a través del punto (2) de la **Figura 6.1_ 89**, que

sea paralela a la de rebote. La intersección de esta última con la relación de vacíos en el terreno, corresponde al punto para el cual no hay cambio de volumen, o de potencial máximo de presión de expansión.

6.1.3.11.4. CÁLCULOS

La magnitud de la expansión que puede esperarse en un estrato, se calcula de la siguiente manera:

$$S = \frac{\Delta e H}{1 + e_f}$$

Donde:

S : Expansión en cm (pulg.)

Δe : Diferencia de la relación de vacíos, a la presión de la sobrecarga (sin cambio de volumen) y la presión para la sobrecarga deseada.

H : Espesor de la capa en cm (pulg.)

e_f : Relación de vacíos en las condiciones de los esfuerzos existentes en el terreno.

6.1.3.11.5. PREDICCIÓN DEL POTENCIAL VERTICAL DE LEVANTAMIENTO (PVL)

1. Es necesario para este procedimiento conocer la humedad de cada muestra. Preferiblemente, esas muestras deben tomarse en el momento del muestreo o de núcleos que hayan sido sellados.
2. Cuando se hayan tomado núcleos, el peso unitario húmedo se determina formando cilindros en los cuales se mide su altura y diámetro, con aproximación a 0,25 mm (0,01"), se pesan con aproximación a 0,5 g (0,001lb), verificando luego los cálculos necesarios. Cuando hayan sido tomados únicamente recortes durante el muestreo, úsese un peso unitario húmedo de 2025 kg/m³ (125 lb/pe³), el cual es un valor medio razonable.
3. A partir de porciones representativas de recortes o de núcleos, determínese el Límite Líquido, el Índice Plástico y el porcentaje de suelo ligante (pasa tamiz 425 μ m o N°. 40) en las capas de suelo.

Comenzando con la capa superior en la superficie del terreno y a partir del registro de perforación prepárese la Tabla S0312_4. Determínese si las capas se hallan en condición "húmeda", "seca" o en un estado intermedio.

4. Se ha encontrado que 0,2 LL + 9, es la condición seca a partir de la cual se produce poca contracción, pero a la cual el potencial de expansión volumétrica es mayor. Esta es la mínima humedad, hasta la cual generalmente se secan las arcillas expansivas.

La condición "húmeda"; 0,47 LL + 2; corresponde a la absorción capilar máxima obtenida mediante ensayos de laboratorio sobre especímenes moldeados a la humedad óptima, y con sobrecarga de 7 kPa (1 lb/pulg²). Esta humedad, análoga a la hallada bajo pavimentos viejos y otras estructuras livianas, es la condición óptima.

Empleando la Figura 6.1_90 y considerando la condición húmeda, seca, o intermedia, con el IP de la primera capa, sígase verticalmente hasta la curva de expansión que corresponda y léase el porcentaje del cambio volumétrico en la ordenada. Este fue determinado para una sobrecarga de 7 kPa (1 lb/pulg²).

5. Las curvas del potencial de levantamiento vertical (PLV) vs. Carga, de las Figuras 6.1_91 y 6.1_92 son para arcillas que se expanden libremente, sin carga; y se basan en un peso unitario húmedo del suelo de 2025 kg/m³ (125 lb/pie³). Para emplear estas curvas, se ha encontrado que bajo las condiciones dadas de expansión libre y del cambio volumétrico, bajo una sobrecarga de 7 kPa (1 lb/pulg²) con base en la Figura 6.1_90, existe la siguiente relación:

Porcentaje de cambio volumétrico sin carga = (Porcentaje de cambio volumétrico a 7 kPa (1 lb/pulg²)) x (1,07) + 2,6.

Ejemplo. De la Figura 6.1_90 la expansión para 1 lb/pulg² = 10. Porcentaje sin carga o expansión libre = 10 (1,07) + 2,6 = 10,7 + 2,6 = 13,3.

Estas curvas pueden ser marcadas con lápiz sobre las **Figuras 6.1_91** o **6.1_92**, para lecturas exactas.

6. Para la condición óptima pueden considerarse igualmente válidas las relaciones siguientes, en la **Figura 6.1_90**.

a) Porcentaje de cambio volumétrico PCV, con sobrecarga de 7 kPa (1 lb/pulg²) = 0,217 (IP) – 2,9.

b) Porcentaje de expansión libre = 0,232 (IP) – 0,5.

Para cálculos del Potencial de Levantamiento Vertical (PLV), es conveniente emplear capas de 0,6 m (2) en el supuesto de que las humedades y el registro de la perforación lo permitan. El empleo de capas de 0,6 m y el supuesto de que el peso unitario húmedo es de 2025 kg/m³ (125 lb/pie³), el cual es generalmente un peso unitario razonable, hace más simple la tabulación. La modificación causada empleando el peso unitario anterior en lugar de 2333 kg/m³ (144 lb/pie³) para 7 kPa (1 lb/pulg²), por 0,3 m (pie), ha sido incorporada a las curvas de las Figuras 6.1_91 y 6.1_92. Si varían los pesos unitarios a partir de 2025 kg/m³ (125 lb/pie³) y se desea una precisión mayor, deberá aplicarse un factor de corrección a la capa, equivalente a 2025 kg/m³ (125 lb/pie³) dividido por el peso unitario húmedo real.

7. Análogamente en la capa de 0,6 m, en la superficie, la carga promedio es 7 kPa (1 lb/pulg²); igualmente en la capa de 0,6 m a 1,2 m, la carga es de 14 kPa (2 lb/pulg²) para los 0,6 m superiores más la mitad de la capa de 0,6 m a 1,2 m; o de 21 kPa (3 lb/pulg²) en total. Por lo tanto, la carga promedio en cualquier capa de 0,6 m (2'), es la profundidad media de la capa.

Empleando la columna para el material que pasa tamiz de 425 µm (N°. 40), el PLV posteriormente determinado, deberá modificarse así:

a) Úsese la expansión de cero cuando el porcentaje que pasa tamiz 425 µm (N°. 40), sea menor del 25%

b) Multiplíquese la expansión obtenida para la capa, por el porcentaje que pasa tamiz 425 µm (N°. 40), cuando el porcentaje exceda del 25%. Empleando la Figura 6.1_90, determínese el porcentaje de expansión volumétrica en la primera capa de 0 - 0,6 m (0-2'). Puesto que esta expansión es determinada empleando una sobrecarga de 7 kPa (1 lb/pulg²), deberá modificársela por expansión libre, o sea sin sobrecarga, como se anota en el numeral 3.

Empleando las Figuras 6.1_91 y 6.1_92, y la curva de porcentaje de expansión libre, acabada de determinar, comiencese a registrar la expansión en la capa.

a) En la capa de 0 a 0,6 m, léase la ordenada (PLV) para la carga de 7 kPa (1 lb/pulg²) de la curva de expansión, y anótese en la Tabla S0312_4 como “fondo de la capa”.

b) A partir de la curva, léase la carga de 0 en la parte superior de esta capa y anótese en la Tabla S0312_4.

c) La diferencia entre estas dos lecturas, es el PLV en la primera capa de 0,6 m, sujeta a la corrección por peso unitario (véase numeral 6.b) y por suelo ligante (pasa tamiz 425 μm o N°. 40), a que se refiere el numeral 3.

Tómese la capa de 0,6 a 1,2 m y determínese el porcentaje de cambio volumétrico, modificándolo con el valor determinado en la **Figura 6.1_90**. Sobre esta curva de porcentaje de expansión volumétrica, o sobre un esquema dibujado a lápiz, donde la línea no quede realmente sobre las **Figuras 6.1_91 y 6.1_92**, léase el PLV en la ordenada correspondiente a 21 kPa (3 lb/pulg²) (fondo de la capa). Léase en la misma curva la ordenada correspondiente a 7 kPa (1 lb/pulg²) (parte superior de la capa) y anótese. La diferencia entre las dos lecturas, es la expansión en la capa entre 0,6 y 1,2 m, sometida a modificaciones por peso unitario o suelo ligante (pasa tamiz de 420 μm (N°. 40)).

Continúense las determinaciones del PLV en cada capa de 0,6 m, hasta cuando cada capa expansiva haya sido contrabalanceada como lo indica la nivelación horizontal de las curvas de las **Figuras 6.1_91 y 6.1_92**, lo que significa que no hay diferencia cuando se lee el PLV de estas curvas. (Realmente la expansión es despreciable o nula en cualquier punto más allá del extremo de cualquier curva dada, como se muestra en estas dos Figuras). Pueden emplearse capas más gruesas para el cálculo, cuando consistan de suelo uniforme con IP y contenidos similares de humedad.

Compruébese el factor de corrección debido al suelo ligante y al peso unitario para cada capa.

Súmense los PLV en la totalidad de todas las capas, para obtener el PLV total para el sitio.

8. La Tabla S0312_4 ha sido calculada sin considerar cargas debidas a una estructura. Cuando éstas se conozcan, simplemente se agregan en la columna de “carga promedio”, kPa (lb/pulg²) y se aumenta cada cifra en la columna, por el incremento de la carga unitaria de la estructura, pero nótese que se reducirá la expansión por causa del aumento de la carga.

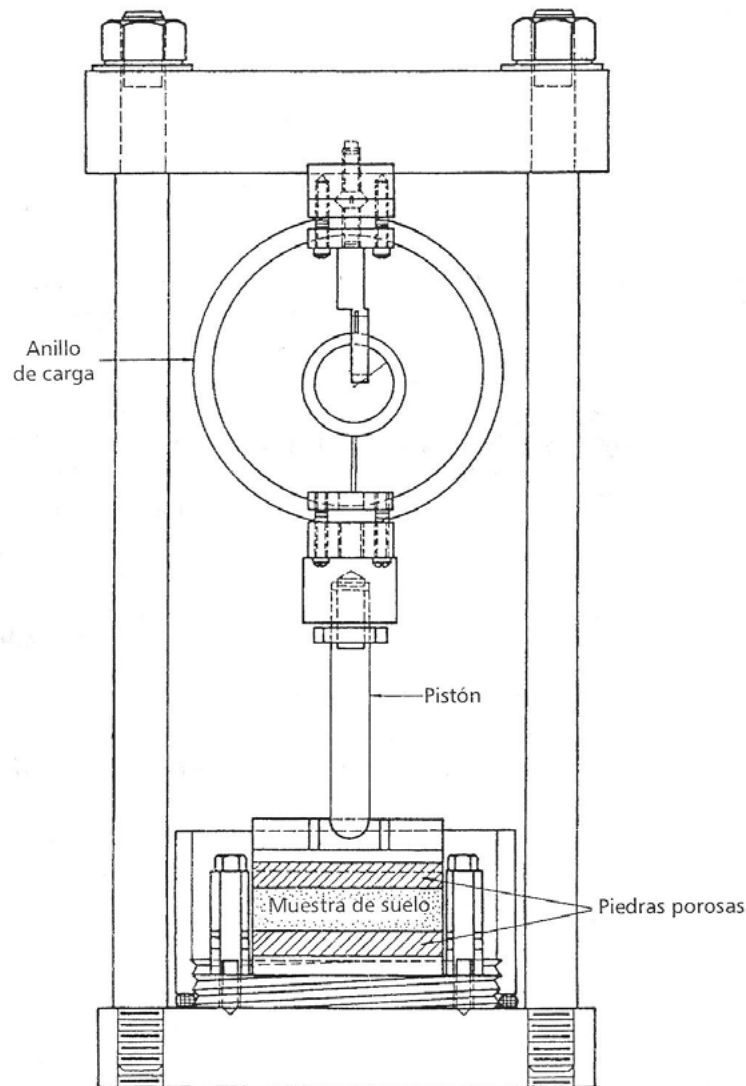
Para informar los resultados del ensayo, remítase una copia de la Tabla S0312_3 con la identificación de la obra y de su ubicación.

9. Frecuentemente, durante el diseño, es necesario estimar el PLV sin conocer las humedades esperadas durante la construcción. En tales casos, el diseño y planeamiento de una obra deberán influir en la escogencia de la línea de la **Figura 6.1_90**, que se va a emplear. Si se trata de un clima entre árido y semiárido y los planos y especificaciones no prevén control de la humedad-peso unitario, ni preservación de la humedad, se sugiere emplear la línea para 0,2 LL + 9, pero podrá también emplearse la línea promedio.

Si los planos y especificaciones exigen control del peso unitario y de la humedad, y el mantenimiento de ésta, podrá emplearse la línea promedio.

En las regiones de precipitación alta, podrá utilizarse la línea promedio, cuando se contemple la conservación de la humedad; pero si además, se prevé control de la humedad-peso unitario, podrá emplearse, la línea inferior (0,47 LL + 2) de la **Figura 6.1_90**.

La expresión “mantenimiento de la humedad”, se refiere al empleo de tramos recubiertos con capas y con banquetas amplias de material granular, suelos estabilizados, o membranas asfálticas donde se apliquen con este objeto.



Aparato para medir la presión de expansión (según Lambe).

Figura 6.1_88. APARATO PARA MEDIR LA PRESIÓN SEGÚN LAMBE

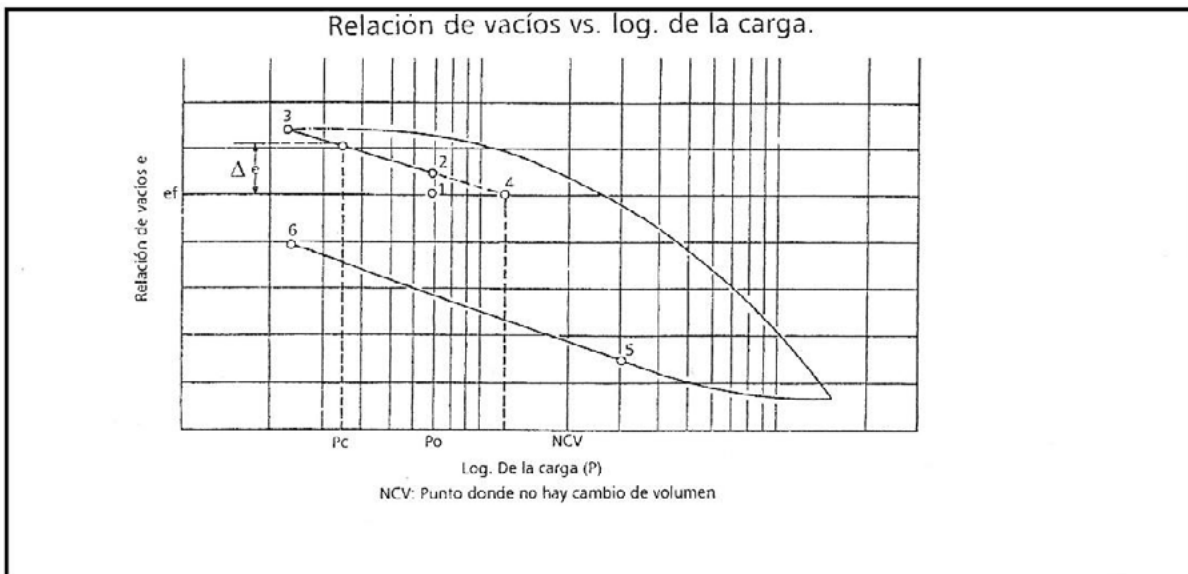


Figura 6.1_89. RELACIÓN DE VACÍOS VS LOG DE LA CARGA

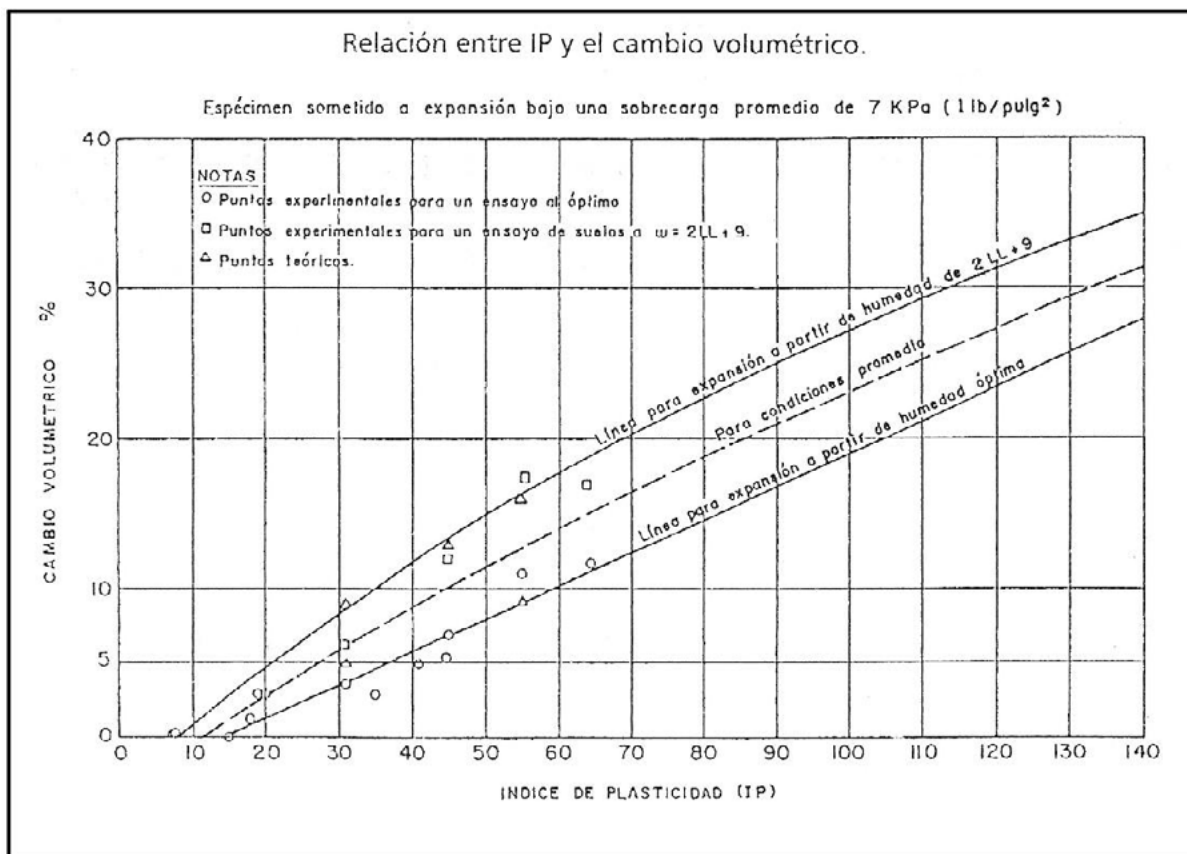


Figura 6.1_90. RELACIÓN ENTRE EL IP Y EL CAMBIO VOLUMÉTRICO

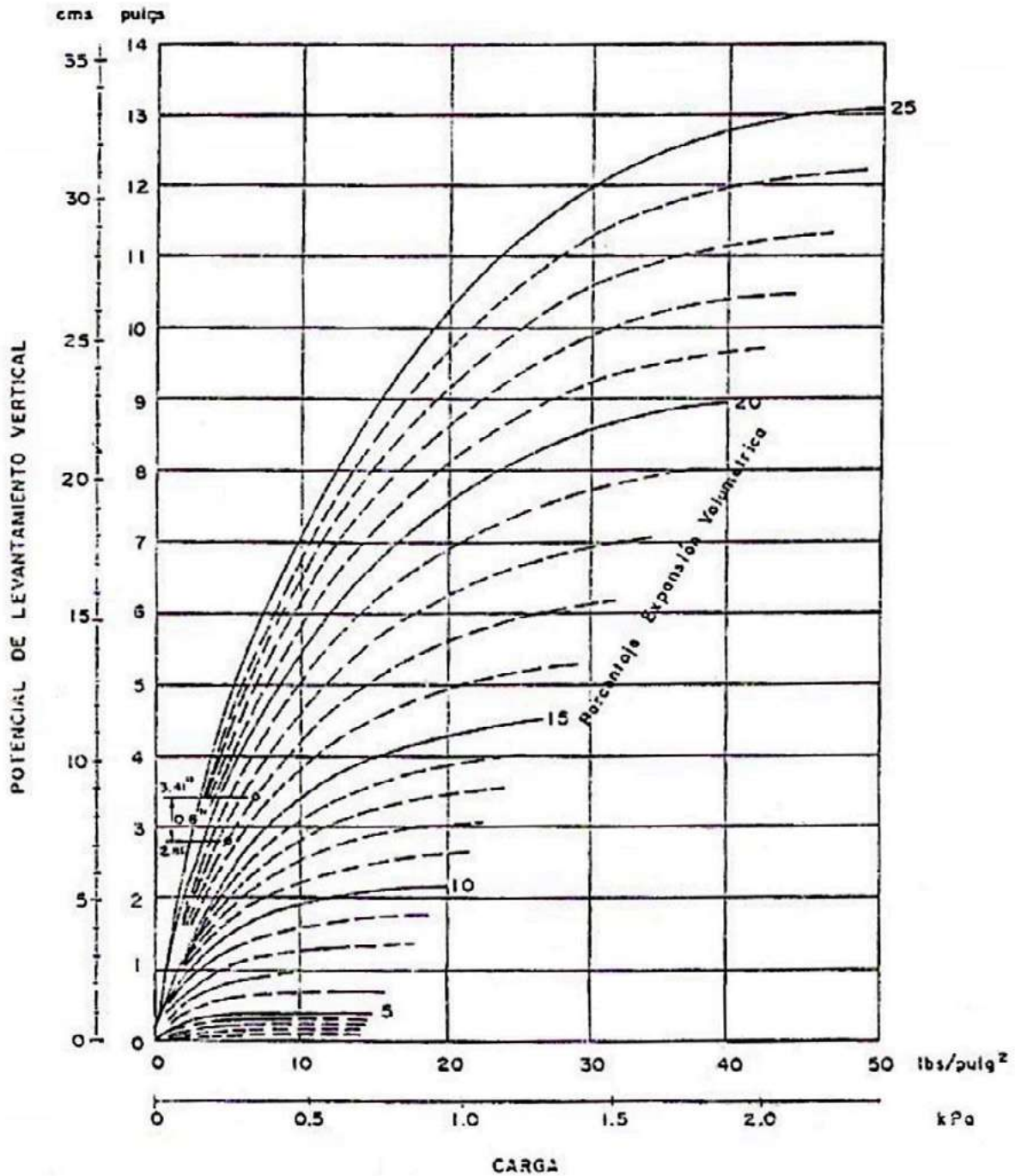


Figura 6.1_91. GRÁFICO DE POTENCIAL DE LEVANTAMIENTO VERTICAL VS CARGA

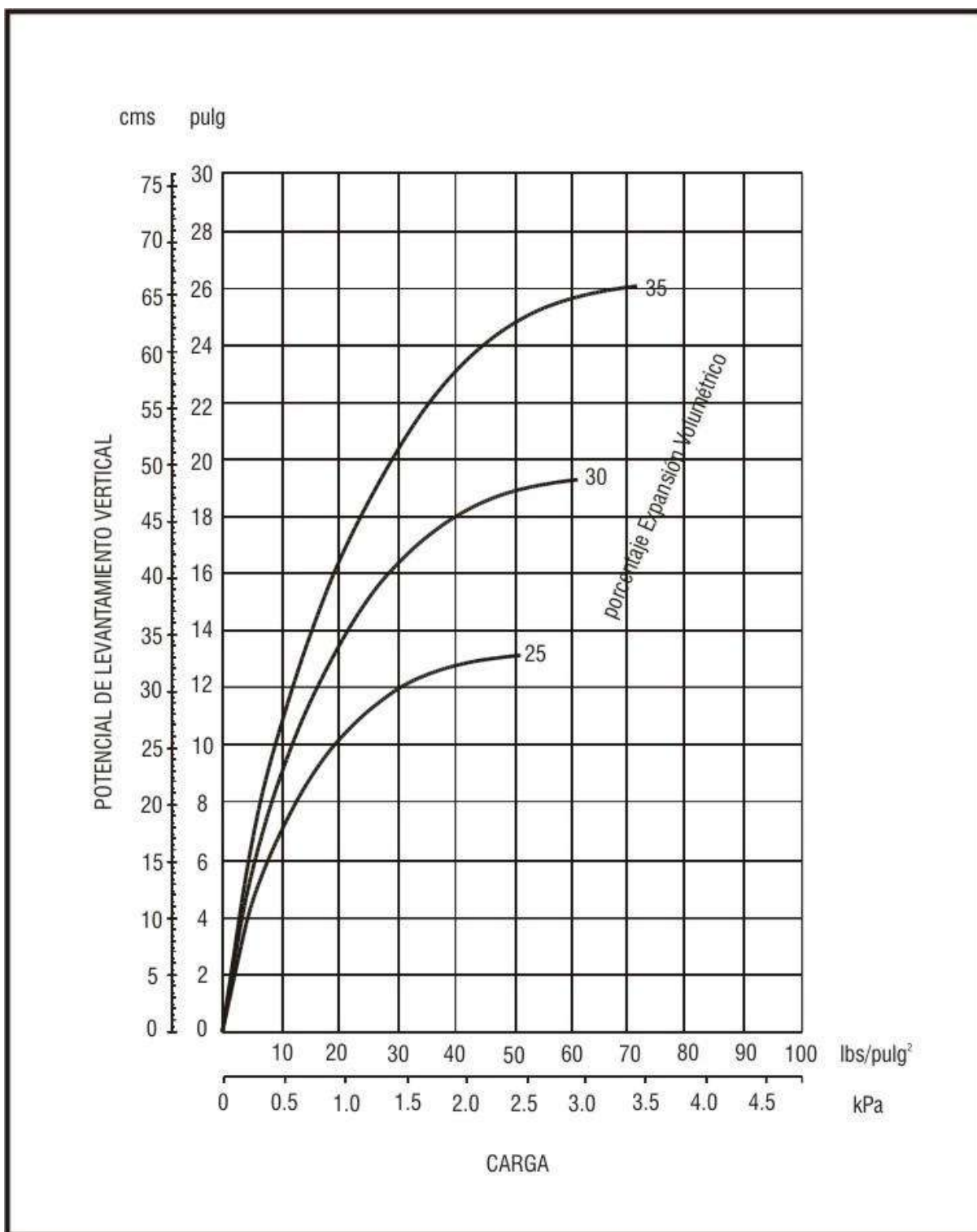


Figura 6.1_92. GRÁFICO DE POTENCIAL DE LEVANTAMIENTO VERTICAL VS CARGA

CAPITULO 6.1.4.

ENSAYOS RELACIONADOS A LA COMPACTACIÓN Y RESISTENCIA DE LOS SUELOS

SECCION 6.1.4.1.**ENSAYO DE COMPACTACIÓN
CONSIDERANDO FAMILIAS DE CURVAS
MÉTODO DE UN PUNTO (AASHTO T272)****6.1.4.1.1. OBJETO**

Este método de ensayo se emplea para la determinación rápida del peso unitario máximo y de la humedad óptima de una muestra de suelo empleando una familia de curvas y un punto.

Las determinaciones de los puntos sencillos se efectúan compactando el suelo dentro de un molde de un tamaño dado, con un martillo de 2,5 kg (5,5 lb) que se deja caer desde una altura de 305 mm (12"). Se dispone de cuatro procedimientos alternos en la siguiente forma:

Método A

- Molde de diámetro 102 mm (4"), suelo que pasa tamiz de 4,75 mm (N° 4).

Método B

- Molde de diámetro 152 mm (6"), suelo que pasa tamiz de 4,75 mm (N°4).

Método C

- Molde de diámetro 102 mm (4"); suelo que pasa tamiz de 19,0 mm (3/4").

Método D

- Molde de diámetro 152 mm (6"); suelo que pasa tamiz de 19,0 mm (3/4").

Los métodos aquí descritos corresponden al **Método 6.1.4.2.** y deberán seleccionarse en correspondencia con aquel, esto es, cuando se empleen las relaciones de humedad-peso unitario, determinadas mediante el Método C de dicho método para formar la familia de curvas, entonces el Método C descrito en ésta deberá emplearse para la determinación del punto sencillo.

A través de estos métodos de ensayo se hace referencia directa el **Método 6.1.4.2.** y la mayor parte de la terminología, aparatos y procedimientos son los mismos.

Adicionalmente, los conceptos descritos aquí, son aplicables a las determinaciones de un solo punto y a las relaciones de humedad-peso unitario especificadas en el **Método 6.1.4.3.**, cuando se emplean los aparatos y métodos apropiados.

6.1.4.1.2. DEFINICIONES

Una familia de curvas es un grupo de relaciones típicas de humedad-peso unitario, determinadas empleando el **Método 6.1.3.5.**, que revelan ciertas similitudes y tendencias características del tipo y de la procedencia del suelo. Cuando son muestreados de una misma cantera, los suelos tendrán muchas curvas diferentes de humedad-peso unitario; pero si un grupo de tales curvas se dibuja sobre las mismas escalas, generalmente se hacen claras las relaciones entre ellas. Se encontrará, en general, que los pesos unitarios más altos del suelo, presentarán curvas con pendientes más pronunciadas, para pesos unitarios secos máximos con contenidos óptimos de

humedad más bajos; mientras que los pesos unitarios más bajos suponen curvas más planas y suavemente curvadas con contenidos de humedad óptimos mayores.

Un ejemplo de estas curvas se presenta en la **Figura 6.1_ 93**.

6.1.4.1.3. EQUIPOS Y MATERIALES

Véase el punto “Equipos y materiales” del capítulo **S0402**.

6.1.4.1.4. METODO A

A. MUESTRA

Véase el punto “Extracción y preparación de la muestra” del capítulo 6.1.4.2.

B. PROCEDIMIENTO

1. Mézclase completamente la muestra representativa escogida, con agua suficiente para humedecerla hasta obtener 4 puntos de porcentaje por debajo del contenido de humedad óptimo. Se obtendrá una mayor precisión en la determinación del peso unitario máximo, a medida que la humedad se aproxime al contenido de agua óptimo. El contenido de agua de la muestra nunca deberá exceder al óptimo.
2. Fórmese un espécimen compactando el suelo preparado en el molde de diámetro 102 mm (4”) de diámetro (con el collar ajustado) en tres capas aproximadamente iguales, que proporcionen una profundidad total compactada de alrededor de 127 mm (5”). Compáctese cada capa mediante 25 golpes uniformemente distribuidos, del martillo con caída libre de 305 mm (12”) de altura por encima del suelo cuando se emplee un martillo con guía; o de 305 mm (12”) por encima de la altura del suelo compactado cuando se emplee un martillo estacionario operado mecánicamente. Durante la compactación, el molde deberá mantenerse firmemente sobre una base uniforme densa, rígida y estable.-Las siguientes bases son satisfactorias para que descanse el molde durante el ensayo de compactación: un bloque de concreto que pese más de 91 kg (200 lb) soportado por una fundación relativamente estable; un piso sano de concreto; y para su aplicación en el terreno, superficies como las que se encuentran en alcantarillas de concreto, puentes y pavimentos.

Después de la compactación, remuévase el collar de extensión, recórtese cuidadosamente el suelo desigual compactado con respecto a la parte superior de éste mediante una regla con filo, y pésese el molde y el suelo húmedo en kg con aproximación a 5 g (o en lb con aproximación a 0.01 lb). Para moldes que cumplen con la tolerancia del numerales 1, 2 y 3 (Método 6.1.4.2.) y cuyos pesos se registren en libras, multiplíquese el peso del suelo compactado y del molde, menos el peso del molde, por 30, y regístrese el resultado como peso unitario húmedo, 1, en lb/pie³ de suelo compactado. Para moldes cuyos pesos se registran en kilogramos, multiplíquese el peso del espécimen compactado y del molde menos el peso del molde, por 1059,43 y regístrese el resultado como el peso unitario húmedo 1, en kg/m³ del suelo compactado. Para moldes usados que no cumplan con la tolerancia del 50%, hágase el cálculo teniendo en cuenta el volumen calibrado del molde.

3. Remuévase el material del molde y córtese verticalmente a través del centro. Tómese una muestra representativa del material de una de las caras de corte, pésese inmediatamente y séquese en un horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$), por lo menos durante 12 horas o hasta peso constante, para determinar el contenido de humedad. La muestra no deberá pesar menos de 100 gramos.

6.1.4.1.5. METODO B

A. MUESTRA

4. Véase el punto “Extracción y preparación de la muestra” del Método 6.1.4.2.

B. PROCEDIMIENTO

5. Sígase el mismo procedimiento descrito para el método A en el punto “Extracción y preparación de la muestra”, excepto en lo siguiente: fórmese un espécimen compactando el suelo preparado en el molde de 152 mm diámetro (6”) (con el collar ajustado), en tres capas aproximadamente iguales, que den una altura total compactada de alrededor de 125 mm (5”), compactando cada capa mediante 56 golpes de martillo uniformemente distribuidos. Para moldes que cumplan con las tolerancias del numerales 1, 2 y 3 del **Método 6.1.4.2.** y cuyos pesos se registren en libras, multiplíquense el peso del espécimen compactado y del molde, menos el peso del molde, por 13,33 y regístrese el resultado como el peso unitario húmedo 1, en lb/pie³ del suelo compactado. Para moldes cuyos pesos se registran en kilogramos, multiplíquese el peso del espécimen compactado y del molde, menos el peso del molde, por 470,74 y regístrese el resultado como el peso unitario húmedo, 1, en kg/m³, del suelo compactado. Para moldes usados fuera de la tolerancia del 50% (numerales 1, 2 y 3), hágase el cálculo teniendo en cuenta el volumen calibrado del molde.

6.1.4.1.6. METODO C

A. MUESTRA

6. Si la muestra del suelo está húmeda cuando se recibe del terreno, séquese hasta que se pueda desmoronar con un palustre. El secamiento puede ser al aire o mediante el empleo de aparatos de secamiento, mientras que la temperatura no exceda de 60°C (140°F). Disgréguese perfectamente los terrones, pero sin reducir el tamaño natural de las partículas individuales.
7. Tamícese una cantidad apropiada representativa del suelo pulverizado, sobre el tamiz de 19,0 mm (3/4”), y deséchese el material grueso, retenido en dicho tamiz, si lo hubiere.

-Es aconsejable mantener el mismo porcentaje de material grueso [(pasa tamiz de 50 mm (2”) retenido sobre tamiz de 4,75 mm (N°4)], en la muestra para humedad-peso-unitario, que en la muestra de terreno original. El material retenido sobre el tamiz de 19,0 mm (3/4”), debe reemplazarse en la siguiente forma: tamícese una cantidad apropiada de suelo representativo pulverizado sobre los tamices de 50 mm (2”) y de 19,0 mm (3/4”). Pésese el material que pasa el tamiz de 50 mm (2”) y queda retenido en el de 19 mm (3/4”), y reemplácese con un peso igual de material, que pase este último tamiz y que quede retenido en el de 4,75 mm (N°4).

Tómese el material para el reemplazo de la porción remanente de la muestra.

8. Escójase una muestra representativa que tenga un peso de aproximadamente 5 kg (12 lb) o más, de suelo preparado como se describió en los numerales 6 y 7.

B. PROCEDIMIENTO

9. Mézclase completamente la muestra de suelo representativa escogida, con agua suficiente para humedecerla hasta aproximadamente 4 puntos de porcentaje por debajo del contenido óptimo de agua. Se traducirá en una precisión mayor la determinación del peso unitario, a medida que el contenido de humedad empleado se aproxime a la humedad óptima.

10. Fórmese un espécimen compactando el suelo preparado en el molde de 102 mm (4") de diámetro (con el collar ajustado), en tres capas aproximadamente iguales que proporcionen una altura total compactada de alrededor de 127 mm (5"). Compáctese cada capa, mediante 25 golpes uniformemente distribuidos del martillo con caída libre de 305 mm (12"), por encima de la altura del suelo (cuando se emplea un martillo con guía), o desde 305 mm (12") por encima de altura aproximada de cada capa finalmente compactada, cuando se emplea un martillo estacionario operado mecánicamente. Durante la compactación, el molde deberá permanecer firmemente sobre una base sólida, uniforme, rígida y estable.
11. Después de la compactación, remuévase el collar de extensión, recórtese cuidadosamente la superficie superior desigual del suelo compactado, usando la regla con filo. Los huecos formados en la superficie por remoción del material grueso, deberán llenarse con material de tamaño más pequeño.
12. Pésese el molde y el suelo húmedo, en libras con aproximación a 0.01 lb, o en kilogramos con aproximación a 5g. Para moldes que cumplan con la tolerancia del numerales 1, 2 y 3 y cuyos pesos estén registrados en libras, multiplíquese el peso del espécimen compactado y del molde menos el peso del molde por 30, y anótese el resultado, como peso unitario húmedo, 1 en lb/pie³ del suelo compactado. Para moldes cuyos pesos se registran en kilogramos, multiplíquese el peso del espécimen compactado y del molde, menos el peso del molde por 1059,43 y anótese el resultado como peso unitario húmedo, 1, en kg/m³ de suelo compactado. Para moldes usados que no cumplen con la tolerancia del 50% (numerales 1, 2 y 3), hágase el cálculo teniendo en cuenta el volumen calibrado del molde.
13. Remuévase el material del molde y córtese verticalmente a través del centro. Tómese una muestra representativa del material de una de las caras de corte, pésese inmediatamente y séquese hasta peso constante empleando un horno para secamiento. La muestra para ésta última no deberá ser de menor de 500 gramos.
14. Determínese el contenido de humedad en porcentaje, y luego calcular el peso unitario seco en kg/m³.

6.1.4.1.7. METODO D

A. MUESTRA

Escójase la muestra representativa de acuerdo con el numeral 8, excepto en que deberá tener un peso de aproximadamente 11 kg (25 lb).

B. PROCEDIMIENTO

- a. Sígase el procedimiento descrito para el Método C, en el "Procedimiento" del Método B excepto en lo siguiente:
- b. Fórmese un espécimen compactando el suelo preparado en el molde de 152 mm (6") de diámetro (con el collar ajustado) en tres capas aproximadamente iguales, para proporcionar una altura total compactada de alrededor de 127 mm (5"), compactándose cada capa mediante 56 golpes del martillo, uniformemente distribuidos.
- c. Para moldes que cumplan con las tolerancias dadas en el numerales 1, 2 y 3 del Método 6.1.4.2. y con pesos registrados en libras, multiplíquese el peso del espécimen compactado y del molde, menos el peso del molde, por 13,33 y regístrese el resultado como el peso unitario húmedo, 1, en lb/pie³ del suelo compactado. Para moldes cuyos pesos se dan en

kilogramos, multiplíquese el peso del espécimen compactado y del molde, menos el peso del molde, por 470,4 y regístrese el resultado como el peso unitario húmedo, ρ_w , en kg/m³, del suelo compactado. Para moldes usados que no cumplen con la tolerancia del 50% (numerales 1, 2 y 3), hágase el cálculo teniendo en cuenta el volumen calibrado del molde.

d. Calcúlese el peso unitario seco en kg/m³.

6.1.4.1.8. CÁLCULOS

Véase el punto “Cálculos” del **Método 6.1.4.2.**

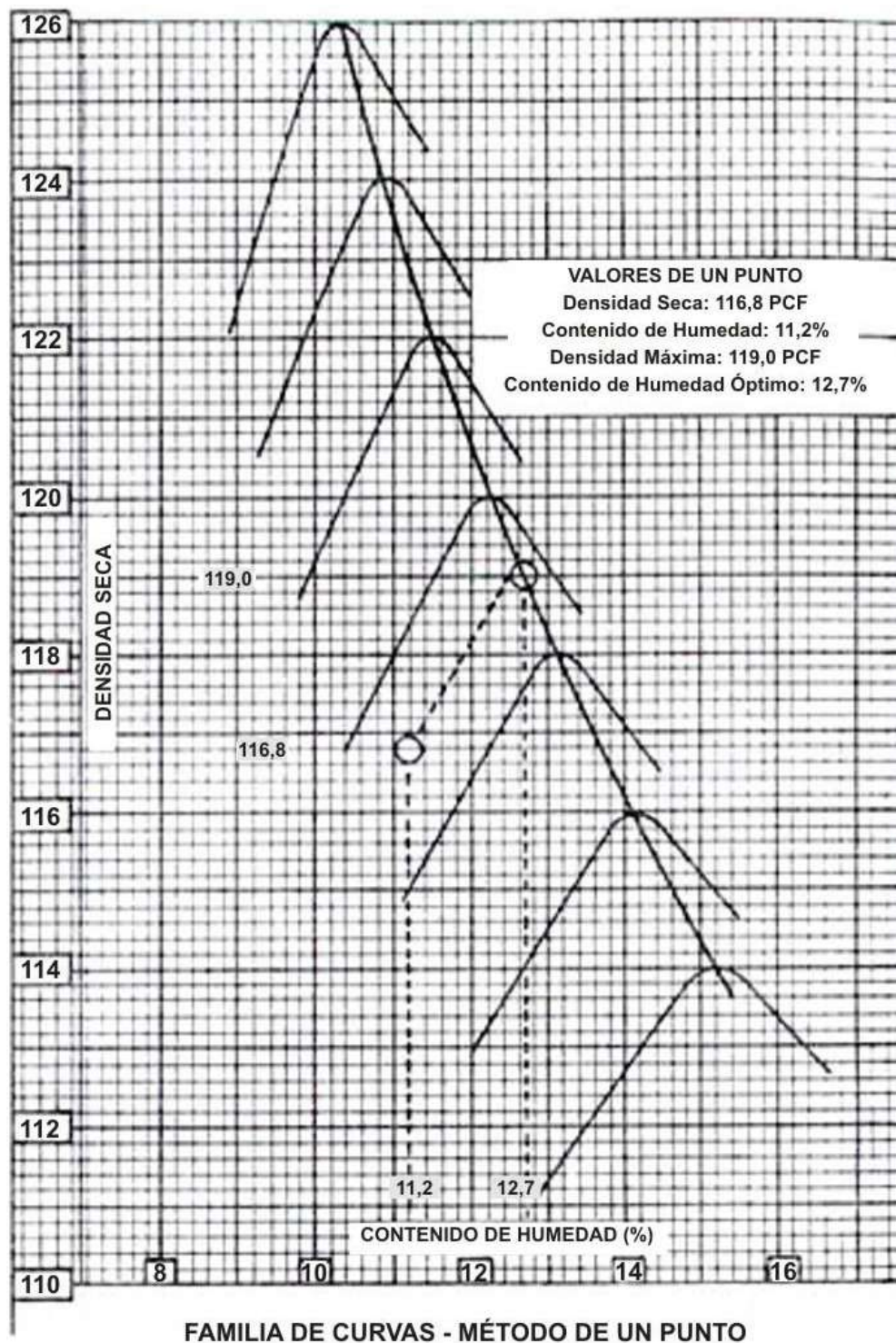


Figura 6.1_93. FAMILIA DE CURVAS, MÉTODO DE UN PUNTO

SECCION 6.1.4.2.

RELACIONES PESO UNITARIO-HUMEDAD EN SUELOS – MÉTODO ESTÁNDAR (ASTM D698 AASHTO T99)

6.1.4.2.1. OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar la relación entre la humedad y la densidad de un suelo compactado en un molde normalizado, mediante un pisón de 2,5 Kg. en caída libre desde una altura de 305 mm, con una energía específica de compactación de $0,59 \text{ J/cm}^3$ (6 kgf cm/cm^3). En los suelos que no permiten obtener una curva definida de relación humedad/densidad y que contengan menos de un 12 % de partículas menores que 0,075mm (N° 200), se debe determinar la densidad de acuerdo con el Método para Determinar la Densidad Relativa en Suelos No Cohesivos que explicará más adelante.

Se describen cuatro procedimientos alternativos:

- a) Método A - molde de 100 mm de diámetro: material de suelo que pasa por el tamiz de 4,75mm (N° 4).
- b) Método B - molde de 150 mm de diámetro: material de suelo que pasa por el tamiz de 4,75mm (N° 4).
- c) Método C - molde de 100 mm de diámetro: material de suelo que pasa por el tamiz de 19mm (3/4").
- d) Método D - molde de 150 mm de diámetro: material de suelo que pasa por el tamiz de 19mm (3/4").

El método por emplear debe indicarse en las especificaciones, según el material por ensayar. Si no se especifica, debe regirse por las indicaciones del método A.

6.1.4.2.2. EQUIPOS Y MATERIALES

1. Moldes Metálicos

Deben ser de forma cilíndrica que pueden estar constituidos por una pieza completa o hendida por una generatriz o bien por dos piezas semicilíndricas ajustables.

El molde debe contar con un collar separable de aproximadamente 60 mm de altura.

El conjunto de molde y collar debe estar construido de modo que pueda ajustarse firmemente a una placa base. Oportivamente puede estar provisto de un dispositivo para extraer las muestras compactadas en el molde (extrusor).

Los moldes deben tener las dimensiones y capacidad volumétrica que se indican.

2. Molde de 100 mm de Diámetro Nominal

Debe tener una capacidad (V) de $0,944 \pm 0,008 \text{ l}$, un diámetro interno de $101,6 \pm 0,4 \text{ mm}$ y altura de $116,4 \pm 0,1 \text{ mm}$ (Ver Figura 6.1_94).

3. Molde de 150 mm de Diámetro Nominal

Debe tener con una capacidad (V) de $2,124 \pm 0,021$ l, un diámetro interno de $152,4 \pm 0,7$ mm y altura de $116,4 \pm 0,1$ mm (**Ver Figura 6.1_95**).

4. Pisón Metálico

Debe tener una cara circular de $50 \pm 0,2$ mm de diámetro y una masa de 2500 ± 10 g. Debe estar equipado con una guía tubular para controlar la altura de caída a 305 ± 2 mm. La guía debe tener a lo menos cuatro perforaciones no menores que 10mm ubicadas a 20mm de cada extremo, separadas en 90° entre sí y dejar una holgura suficiente para no restringir la libre caída del pisón.

Nota 1: *Se pueden emplear otros tipos de pisón siempre que se obtenga la misma energía específica de compactación y siempre que se calibre con varios tipos de suelo, de modo de obtener los mismos resultados de relación humedad/densidad.*

5. Probetas Graduadas

Una de 500 cm^3 de capacidad, graduada a 5 cm^3 y otra de 250 cm^3 de capacidad, graduada a $2,5 \text{ cm}^3$.

6. Balanzas

Una de 10Kg. de capacidad y precisión de 5g y otra de 1Kg. de capacidad y 0,1g de precisión.

Una balanza de 200 a 300 gramos de capacidad y 0,01 gramo de sensibilidad.

7. Horno

La temperatura debe poder regularse y contar con circulación de aire.

8. Regla de Acero

De 300 mm de largo y con un canto biselado.

9. Tamices

Tamices tejidos de alambre de abertura cuadrada que cumplan con el **Método 6.1.3.2.**, de 50 mm (2"), 19 mm (3/4") y 4,75 mm (N° 4) de abertura nominal.

10. Herramientas

Herramientas y paila para mezclar, cuchara, llana, espátula, etc., o un dispositivo mecánico para mezclado.

6.1.4.2.3. CALIBRACIÓN DEL MOLDE

Pese y registre la masa del molde vacío sin collar (mm), aproximando a 1 g.

Determine la capacidad volumétrica del molde como sigue:

- a) Coloque glicerina u otro material impermeabilizante en la unión entre el cilindro y la placa base y ajústelos firmemente sin el collar.
- b) Coloque el molde sobre una superficie firme, plana y horizontal.
- c) Llene el molde con agua a temperatura ambiente y enrase con una placa de vidrio, eliminando burbujas de aire y el exceso de agua.
- d) Determine la masa de agua que llena el molde (mw), aproximando a 1 g.

e) Mida la temperatura del agua y determine su densidad (w) de acuerdo con la **Tabla 6.1_23**, interpolando si fuere necesario.

Tabla 6.1_23. DENSIDAD DEL AGUA SEGÚN TEMPERATURA

Temperatura °C	Densidad (Kg/m ³) o (g/l)
16	999,09
18	998,59
20	998,20
23	997,54
26	996,78
29	995,94

Determine y registre la capacidad volumétrica aproximando a 1 cm³ (1 ml), dividiendo la masa de agua que llena el molde por su densidad: $V = mw/w$.

6.1.4.2.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

Obtenga las muestras de acuerdo con lo indicado por la especificación técnica correspondiente, en el caso de controles de obra o según lo indicado por el profesional responsable, en el caso de una prospección.

B. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

- Seque la muestra al aire o en horno a una temperatura menor que 60°C hasta que se vuelva desmenuzable; disgregue entonces los terrones evitando reducir el tamaño natural de las partículas.
- Pase por el tamiz de 4,75 mm (N° 4) para los métodos A y B y por el tamiz de 19 mm (3/4") para los métodos C y D, respectivamente. Descarte el material retenido.

Nota 2: Si en el método D (molde de 150 mm) es conveniente mantener el porcentaje de material grueso (que pasa por el tamiz de 50 mm (2")) y retenido en el tamiz de 4,75 mm (N° 4)) del material original, proceda como sigue: Determine por tamizado el porcentaje de material que pasa por el tamiz de 50 mm (2") y retenido en el tamiz de 19 mm (3/4").

- Reemplace ese material por una masa igual de material que pasa por el tamiz de 19 mm (3/4") y queda retenido en 4,75 mm (N° 4), tomado de la porción no utilizada del material original.

C. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Del material preparado según 15, obtenga un tamaño de muestra de ensayo de acuerdo con la **Tabla 6.1_24**

Tabla 6.1_24. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Dimensión del molde (mm)	Método	Masa mínima de la muestra (g)	Masa aproximada de fracción de muestra para cada determinación (g)
100	A	20.000	3.000
150	B	40.000	6.000

100	C	30.000	3.000
150	D	50.000	6.000

D. ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Homogéneise el material de la muestra de ensayo y separe en cinco fracciones del tamaño indicado en la Tabla 6.1_24.

Mezcle completamente cada fracción por separado con agua suficiente para que las humedades alcanzadas por las cinco fracciones varíen aproximadamente dos puntos porcentuales entre sí y se distribuyan en las proximidades de la humedad óptima (w_o).

Cure cada fracción durante el tiempo necesario para que las fases líquida y sólida se mezclen homogéneamente.

Nota 3: En suelos de alta plasticidad este plazo no debe ser menor que 24 h. En suelos de plasticidad media bastará con 3 h y en los de plasticidad nula, con 30 min.

6.1.4.2.5. PROCEDIMIENTO

- a. Coloque el molde con su base y collar sobre una base firme, plana y horizontal (tal como la provista por un cubo o cilindro de hormigón de 90 Kg. o más).
- b. Llene el molde con una capa de las fracciones de muestra como sigue:
 - a) Coloque una capa de material de aproximadamente un tercio de la altura del molde más el collar.
 - b) Compacte la capa con 25 golpes de pisón uniformemente distribuidos en el molde de 100 mm (Métodos A y C) y 56 golpes en el molde de 150 mm (Métodos B y D).
 - c) Repita dos veces las operaciones a) y b), escarificando ligeramente las superficies compactadas antes de agregar una nueva capa. Al compactar la última capa debe quedar un pequeño exceso de material por sobre el borde del molde.
- c. Terminada la compactación, retire el collar y enrase cuidadosamente con la regla al nivel del borde del molde. Retape con material más fino los agujeros superficiales que resulten de la remoción de partículas gruesas en el enrasado.
- d. Pese el molde con el suelo compactado, sin la base y collar. Reste la masa del molde, determinando la masa de suelo compactado que llena el molde (m); registre aproximando a 1 g.
- e. Determine la densidad húmeda del suelo compactado (h) dividiendo la masa del suelo compactado que llena el molde por la capacidad volumétrica de él.

$$\rho_h = \frac{m}{v}$$

Registre aproximando a 10 Kg./m³.

Retire el material del molde y extraiga dos muestras representativas del suelo compactado. Coloque en recipientes herméticos y efectúe dos determinaciones de humedad de acuerdo con el Método para Determinar el Contenido de Humedad. Registre el promedio de ambas determinaciones como humedad del suelo compactado (w).

- f. Repita las operaciones 19 a 24 con cada una de las fracciones restantes hasta que haya un decrecimiento en la densidad húmeda del suelo, con un mínimo de cinco determinaciones. El ensayo se debe efectuar desde la condición más seca a la condición más húmeda.

6.1.4.2.6. CÁLCULOS

A. DENSIDAD SECA

Calcule la densidad seca del suelo compactado para cada determinación de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a 10 Kg./m³.

$$\rho_d = \frac{100 \rho_h}{w + 100}$$

Donde:

ρ_d : densidad seca del suelo compactado (Kg/m³).

ρ_h : densidad húmeda del suelo compactado (Kg/m³).

w: Humedad del suelo compactado (%).

B. RELACIÓN HUMEDAD/DENSIDAD

- a. Construya un gráfico con la densidad seca del suelo compactado en las ordenadas y la humedad en las abscisas.

Nota 4: Se recomienda incluir en el gráfico la curva paramétrica correspondiente al 100% de saturación para la densidad de partículas sólidas del suelo ensayado, determinada según Método para Determinar la Densidad de Partículas Sólidas.

- b. Registre puntos correspondientes a cada determinación y construya una curva conectando dichos puntos.
- c. Expresar la humedad óptima (w_o) como la correspondiente al punto máximo de la curva.
- d. Expresar la densidad seca máxima (ρ_d máx.) como la correspondiente a la humedad óptima.

6.1.4.2.7. INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Método empleado (normal A, B, C o D).
- b) Humedad óptima.
- c) Densidad seca máxima.
- d) En los métodos C y D indique el porcentaje de material retenido en 20 mm y su descarte o reemplazo.
- e) Cualquier información específica respecto al ensayo o al suelo en estudio.
- f) La referencia a este Método.

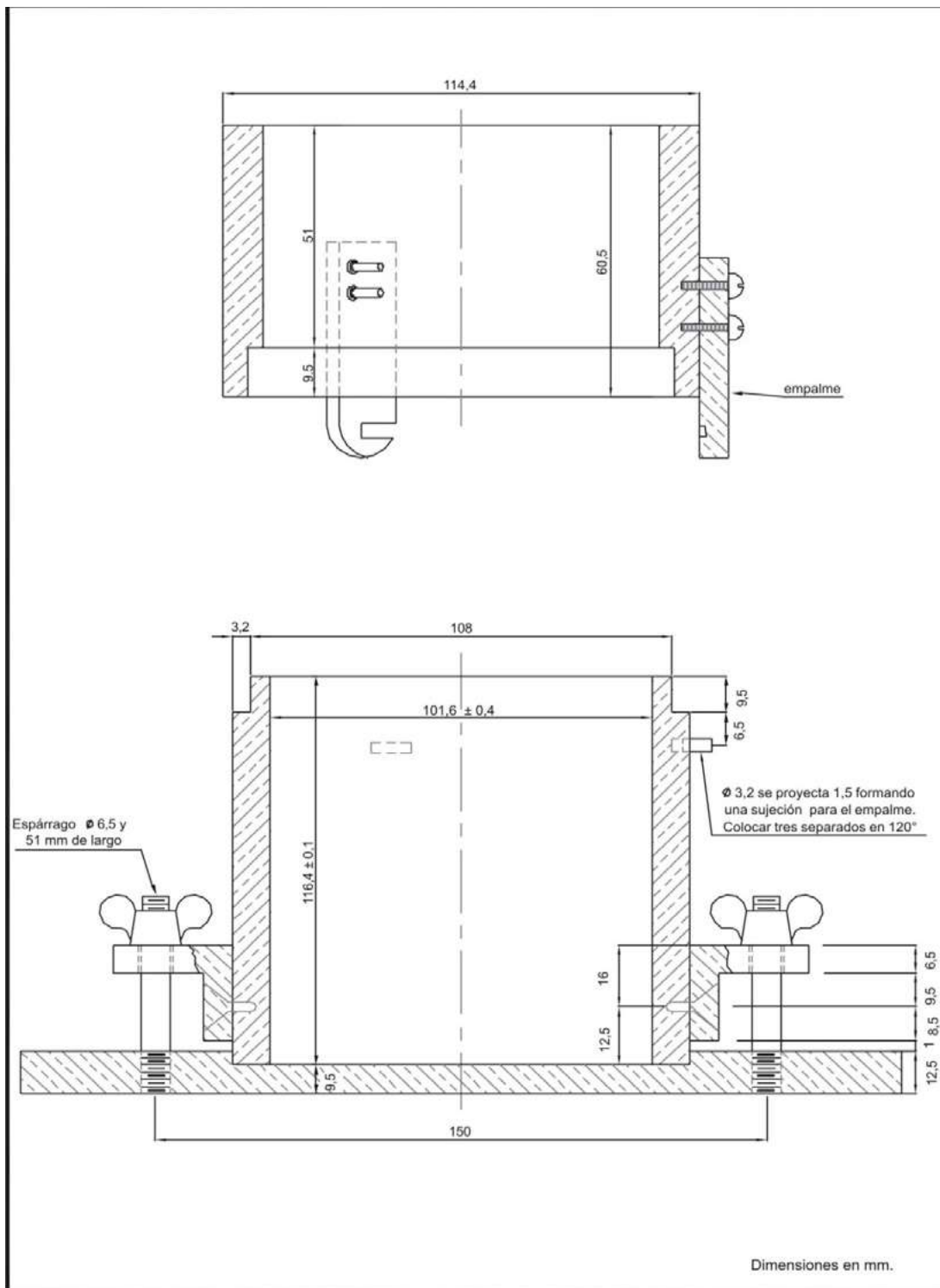


Figura 6.1_94. MOLDE 100MM DE DIÁMETRO NOMINAL

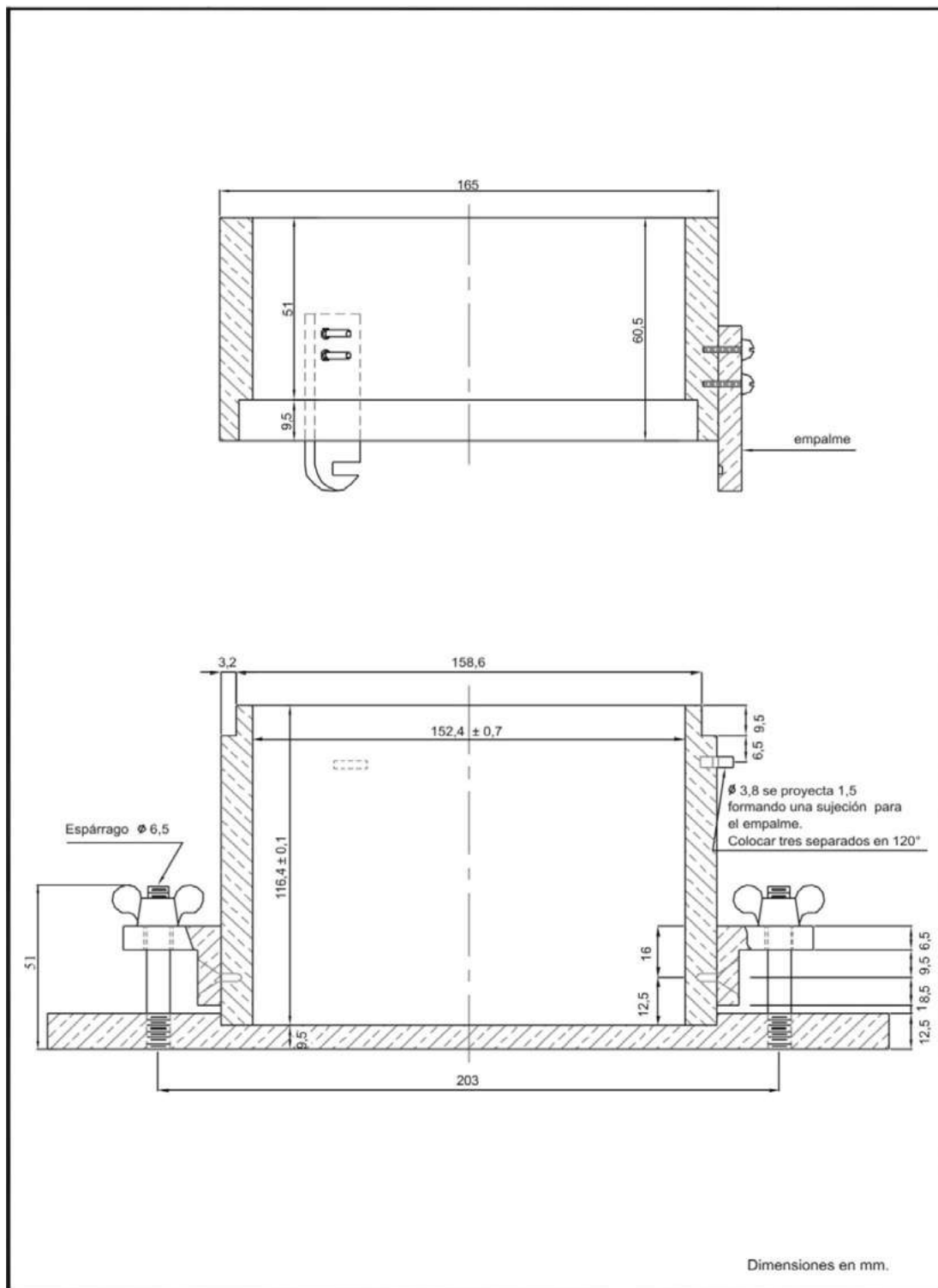


Figura 6.1_95. MOLDE 150MM DE DIÁMETRO

ENSAYO DE COMPACTACIÓN

Proyecto _____ Trabajo No. _____
 Localización del proyecto _____ Perforación No. _____ Muestra No. _____
 Descripción del suelo _____
 Realizado por _____ Fecha de la practica _____
 Golpes/Capa _____ No. De Capas _____ Peso de martillo _____ N
 Dimensiones del molde: Diam. _____ cm Altura _____ cm Vol. _____ cm³

Determinación del contenido de humedad

Muestra No.	1	2	3	4	5	6
Lata de humedad No.						
Peso de lata + suelo						
Peso de lata + suelo sueco						
Peso del agua						
Peso de la lata						
Peso del suelo seco						
Contenido de humedad, w%						

Determinación de la densidad

Contenido de humedad deseado						
Contenido de humedad, w%						
Peso de suelo + molde						
Peso del molde						
Peso del suelo seco en molde, g						
Densidad húmeda, kN/m ³						
Densidad seca, kN/m ³						

Densidad seca, kN/m³

Contenido de humedad, w%

Contenido de humedad óptimo _____ % Densidad seca máxima = _____ kN/m³

Figura 6.1_96. FORMULARIO TIPO

SECCION 6.1.4.3.

RELACIONES PESO UNITARIO-HUMEDAD EN LOS SUELOS – MÉTODO MODIFICA- DO (ASTM D422 AASHTO T180)

6.1.4.3.1. OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar la relación entre la humedad y la densidad de un suelo, compactado en un molde normalizado, mediante un pisón de 4,5 Kg. en caída libre, desde una altura de 460 mm, con una energía específica de compactación de 2,67 J/cm³ (27,2 kgf cm/cm³). En suelos que no permiten obtener una curva definida de relación humedad/densidad y que contengan menos de un 12% de partículas menores que 0,08 mm (ASTM N° 200), se debe determinar la densidad de acuerdo con el Método para Determinar la Densidad Relativa en Suelos No Cohesivos.

Se describen cuatro procedimientos alternativos:

- a) Método A - molde de 100mm de diámetro: suelo que pasa por el tamiz de 4,75mm (N° 4).
- b) Método B - molde de 150mm de diámetro: suelo que pasa por el tamiz de 4,75mm (N° 4).
- c) Método C - molde de 100mm de diámetro: suelo que pasa por el tamiz de 19mm (3/4").
- d) Método D – molde de 150mm de diámetro: suelo que pasa por el tamiz de 19mm (3/4").

El método por emplear debe indicarse en las especificaciones para el material que debe ensayarse. Si no se especifica debe regirse por las indicaciones del método D.

6.1.4.3.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A. MOLDES METÁLICOS

Deben tener forma cilíndrica; pueden estar constituidos por una pieza completa o hendida por una generatriz o bien por dos piezas semicilíndricas ajustables.

El molde debe tener un collar separable de aproximadamente 60mm de altura.

El conjunto de molde y collar debe estar construido de modo que pueda ajustarse firmemente a una placa base. Optativamente puede estar provisto de un dispositivo para extraer las muestras compactadas en el molde (extrusor).

Los moldes deben tener las dimensiones y capacidad volumétrica que se indican:

- a) Molde de 100mm de diámetro nominal, con capacidad (V) de $0,944 \pm 0,008$ l, un diámetro interno de $101,6 \pm 0,4$ mm y altura de $116,4 \pm 0,1$ mm (Figura 6.1_97).
- b) Molde de 150mm de diámetro nominal, con capacidad (V) de $2,124 \pm 0,021$ l, un diámetro interno de $152,4 \pm 0,7$ mm y altura de $116,4 \pm 0,1$ mm (Figura 6.1_98).

B. PISÓN METÁLICO

Debe tener una cara circular de $50 \pm 0,2$ mm de diámetro y una masa de 4.500 ± 10 g. Debe estar equipado con una guía tubular para controlar la altura de caída de 460 ± 2 mm.

La guía debe tener a lo menos cuatro perforaciones no menores que 10 mm ubicadas a 20 mm de cada extremo, separadas en 90° entre sí y dejar una holgura suficiente para no restringir la libre caída del pisón.

Nota 1: *Se pueden emplear otros tipos de pisón siempre que se obtenga la misma energía específica de compactación y siempre que se calibre con varios tipos de suelo de modo de obtener los mismos resultados de relación humedad/densidad.*

C. PROBETAS GRADUADAS

Una de 500 cm^3 de capacidad, graduada a 5 cm^3 y otra de 250 cm^3 de capacidad, graduada a $2,5 \text{ cm}^3$.

D. BALANZAS

Una de 10Kg. de capacidad y una precisión de 5 g y otra de 1 Kg. de capacidad y una precisión de 0,1g.

E. HORNO

De temperatura regulable y circulación de aire.

F. REGLA DE ACERO

De 300mm de largo y con un canto biselado.

G. TAMICES

Tejidos de alambre, de abertura cuadrada de 50 mm (2''), 19 mm (3/4'') y 4,75 mm (N° 4) de abertura nominal.

H. HERRAMIENTAS

Herramientas y paila para mezclado, cuchara, llana, espátula, etc., o un dispositivo mecánico para mezclado.

6.1.4.3.3. CALIBRACIÓN DEL MOLDE

Pese y registre la masa del molde vacío sin collar (mm), aproximando a 1 g.

Determine la capacidad volumétrica del molde como sigue:

- a) Coloque glicerina u otro material impermeabilizante en la unión entre el cilindro y la placa base y ajústelos firmemente sin el collar.
- b) Coloque el molde sobre una base firme, plana y horizontal.

- c) Llene el molde con agua a temperatura ambiente y enrase con una placa de vidrio, eliminando burbujas de aire y el exceso de agua;
- d) Determine la masa de agua que llena el molde (mw) aproximando a 1 g.
- e) Mida la temperatura del agua y determine su densidad (w) de acuerdo con la **Tabla 6.1_25**, interpolando si fuere necesario.

Tabla 6.1_25. DENSIDAD DEL AGUA SEGÚN TEMPERATURA

Temperatura °C	Densidad (Kg/m ³) o (g/l)
16	999,09
18	998,59
20	998,20
23	997,54
26	996,78
29	995,94

Determine y registre la capacidad volumétrica aproximando a 1 cm³ (1 ml), dividiendo la masa de agua que llena el molde por su densidad: $V = mw / w$.

6.1.4.3.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

Las muestras se deben obtener de acuerdo con lo indicado por la especificación técnica correspondiente, en el caso de controles de obra o lo indicado por el profesional responsable, en el caso de una prospección.

B. PREPARACIÓN DE MUESTRAS

- a. Seque la muestra al aire o en horno a una temperatura menor que 60°C, hasta que se vuelva desmenuzable. Disgregue luego los terrones, evitando reducir el tamaño natural de las partículas.
- b. Pase por el tamiz de 4,75 mm (N° 4) para los métodos A y B y por el tamiz de 19 mm (3/4") para los métodos C y D, respectivamente. Descarte el material retenido.

Nota 2: Si en el método D (molde de 150 mm) es conveniente mantener el porcentaje de material grueso (que pasa por el tamiz de 50 mm (2") y retenido en el tamiz de 4,75 mm (N°4)) del material original, proceda como sigue:

- c. Determine por tamizado el porcentaje de material que pasa por el tamiz de 50 mm (2") y es retenido en el tamiz de 19 mm (3/4");
- d. Reemplace ese material por una masa igual de material que pasa por el tamiz de 19 mm (3/4") y es retenido en 4,75 mm (N°4), tomada de la porción no utilizada del material original.

C. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Del material preparado según descripción anterior, obtenga un tamaño de muestra de ensayo de acuerdo con la **Tabla 6.1_26**

Tabla 6.1_26. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Dimensión del molde (mm)	Método	Masa mínima de la muestra (g)	Masa aproximada de fracción de muestra para cada determinación (g)
100	A	20.000	3.000
150	B	40.000	6.000
100	C	30.000	3.000
150	D	50.000	6.000

D. ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

- Homogenice el material de la muestra de ensayo y separe en cinco fracciones del tamaño indicado en la **Tabla 6.1_26**.
- Mezcle completamente cada fracción por separado con agua suficiente para que las humedades alcanzadas por las cinco fracciones varíen aproximadamente dos puntos porcentuales entre sí y que se distribuyan próximas a la humedad óptima (w_o).
- Cure cada fracción durante el tiempo necesario para que las fases líquida y sólida se mezclen homogéneamente.

Nota 3: En suelos de alta plasticidad este plazo no debe ser menor que 24 h. En suelos de plasticidad media bastará con 3 h. y en los de plasticidad nula con 30 min.

6.1.4.3.5. PROCEDIMIENTO

- Coloque el molde con su base y collar sobre una base firme, plana y horizontal (tal como la provista por un cubo o cilindro de hormigón de 90 Kg. o más).
- Llene el molde con una de las fracciones de muestra como sigue:
 - Coloque una capa de material de aproximadamente un quinto de la altura del molde más el collar.
 - Compacte la capa con 25 golpes de pisón, uniformemente distribuidos en el molde de 100 mm (Métodos A y C) y 56 golpes en el molde de 150 mm (métodos B y D).
 - Repita cuatro veces las operaciones a) y b), escarificando ligeramente las superficies compactadas antes de agregar una nueva capa. Al compactar la última capa debe quedar un pequeño exceso de material por sobre el borde del molde.
- Terminada la compactación, retire el collar y enrase cuidadosamente con la regla al nivel del borde del molde. Tape con material más fino los agujeros superficiales que resulten de la remoción de partículas gruesas en el enrasado.
- Pese el molde (sin la base y collar) con el suelo compactado. Reste la masa del molde para determinar la masa de suelo compactado que llena el molde (m). Registre, aproximando a 1 g.
- Determine la densidad húmeda del suelo compactado (h) dividiendo la masa de suelo compactado que llena el molde por la capacidad volumétrica del molde:

$$\rho_h = \frac{m}{v}$$

Registre aproximando a 10 Kg/m³.

- f. Retire el material del molde y extraiga dos muestras representativas del suelo compactado. Coloque en recipientes herméticos y efectúe dos determinaciones como humedad del suelo compactado (w).
- g. Repita las operaciones del 20 al 25 con cada una de las fracciones restantes, hasta que haya un decrecimiento en la densidad húmeda del suelo, con un mínimo de cinco determinaciones. El ensayo se debe efectuar desde la condición más seca a la condición más húmeda.

6.1.4.3.6. CÁLCULOS

A. DENSIDAD SECA

Calcule la densidad seca del suelo compactado para cada determinación, de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a 10 Kg/m³.

$$\rho_d = \frac{100 \rho_h}{w + 100}$$

Donde:

ρ_d : densidad seca del suelo compactado (Kg/m³).

ρ_h : densidad húmeda del suelo compactado (Kg/m³).

w: Humedad del suelo compactado (%).

B. RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD

a) Construya un gráfico con la densidad seca del suelo compactado en las ordenadas y la humedad en las abscisas.

Nota 4: Se recomienda incluir en el gráfico la curva paramétrica correspondiente al 100% de saturación para la densidad de partículas sólidas del suelo ensayado, determinada según Método para Determinar la Densidad de Partículas Sólidas.

b) Registre los puntos correspondientes a cada determinación y construya una curva conectando dichos puntos.

c) Exprese la humedad óptima (w_o) como la correspondiente al punto máximo de la curva.

d) Exprese la densidad seca máxima (d máx.) como la correspondiente a la humedad óptima.

6.1.4.3.7. INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Método empleado (modificado A, B C o D).
- b) Humedad óptima.
- c) Densidad seca máxima.

- d) En métodos C y D, indicar el % de material retenido en 20 mm y su descarte o reemplazo.
- e) Cualquier información específica respecto al ensayo o al suelo en estudio.
- f) La referencia a este método.

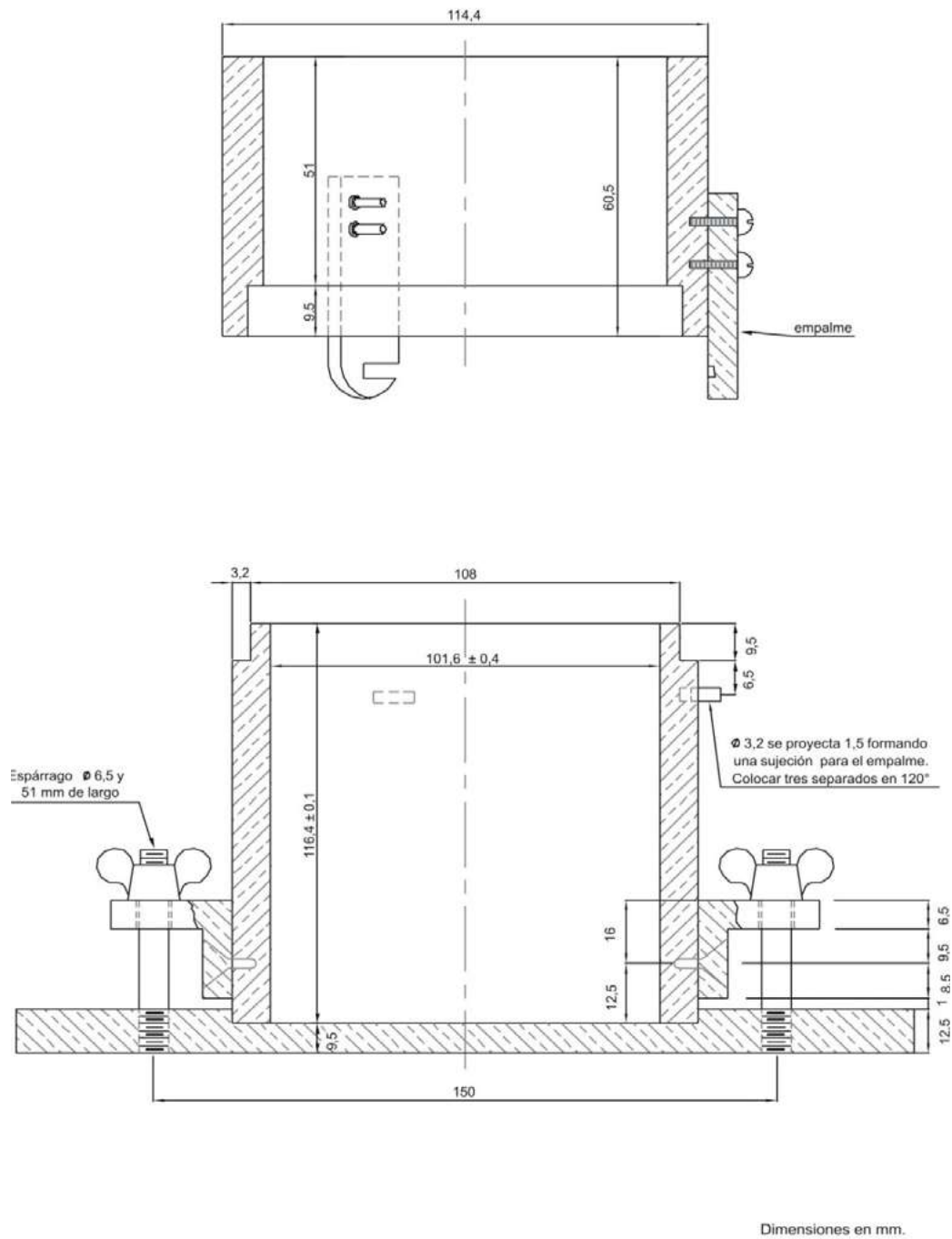


Figura 6.1_97. MOLDE 100MM DE DIÁMETRO NOMINAL

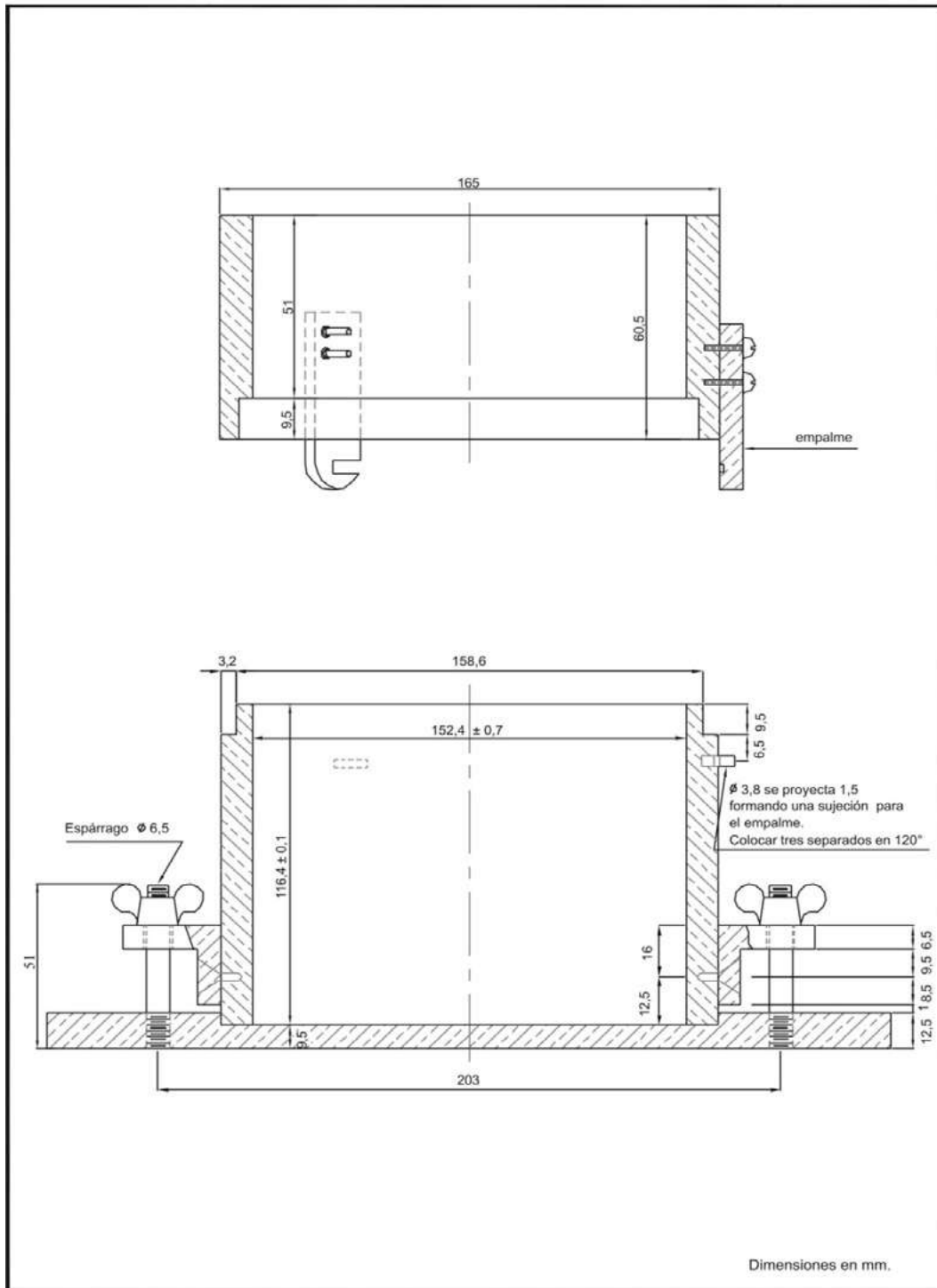


Figura 6.1_98. MOLDE 150MM DE DIÁMETRO

ENSAYO DE COMPACTACIÓN

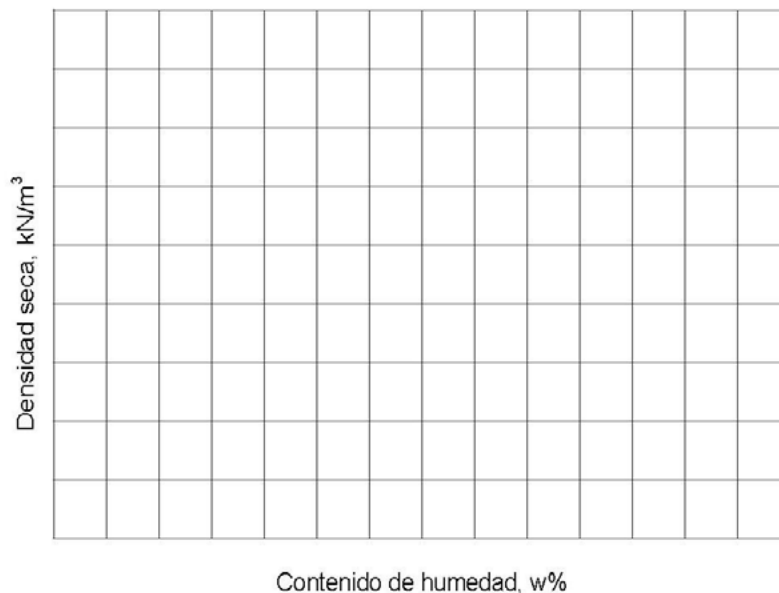
Proyecto _____ Trabajo No. _____
 Localización del proyecto _____ Perforación No. _____ Muestra No. _____
 Descripción del suelo _____
 Realizado por _____ Fecha de la practica _____
 Golpes/Capa _____ No. De Capas _____ Peso de martillo _____ N
 Dimensiones del molde: Diam. _____ cm Altura _____ cm Vol. _____ cm³

Determinación del contenido de humedad

Muestra No.	1	2	3	4	5	6
Lata de humedad No.						
Peso de lata + suelo						
Peso de lata + suelo sueco						
Peso del agua						
Peso de la lata						
Peso del suelo seco						
Contenido de humedad, w%						

Determinación de la densidad

Contenido de humedad deseado						
Contenido de humedad, w%						
Peso de suelo + molde						
Peso del molde						
Peso del suelo seco en molde, g						
Densidad húmeda, kN/m ³						
Densidad seca, kN/m ³						



Contenido de humedad óptimo _____% Densidad seca máxima = _____ kN/m³

Figura 6.1_99. FORMULARIO TIPO

SECCION 6.1.4.4.

DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO) (ASTM D1883 AASHTO T193)

6.1.4.4.1. OBJETO

a) Este método establece el procedimiento para determinar un índice de resistencia de los suelos, conocido como Razón de Soporte de California (CBR). El ensayo se realiza normalmente a suelos compactados en laboratorio, con la humedad óptima y niveles de energía variables.

Nota 1: La denominación CBR se deriva de "California Bearing Ratio".

b) Este método se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de suelos de sub-rasante, como también de materiales empleados en la construcción de terraplenes, subbases, bases y capas de rodadura granulares.

c) No obstante que originalmente el método fue diseñado para evaluar el soporte de suelos de tamaño máximo 3/4" (19 mm), el ensayo es aplicable a todos aquellos suelos que contengan una cantidad limitada de material que pasa por el tamiz de 50 mm (2") y es retenido en el tamiz de 19 mm (3/4").

Nota 2: Cuando el tamaño máximo absoluto del material en estudio sea superior a 19 mm (3/4"), el peso retenido en este tamiz se reemplazará por uno equivalente de material de la misma muestra que pasa por 19 mm (3/4") y es retenido en 4,75 mm (N° 4).

6.1.4.4.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A. PRENSA DE ENSAYO

Está conformada por un marco de carga con una capacidad mínima de 44,5 kN (10.000 lbf) y una gata mecánica capaz de desplazar una base metálica rígida a una velocidad uniforme y sin pulsaciones, de 1,27 mm/min., contra el pistón de penetración. Este último debe estar equipado con un dispositivo indicador de carga de una capacidad mínima de 26,7 kN (6.000 lbf), que permita registrar lecturas con una precisión mínima de 50 N. El pistón debe llevar, además, sujeto a él, un dial de penetración graduado en milésimas de pulgada (0,025 mm).

Nota 3: Para bajos valores de CBR (inferiores a 5%), se recomienda el uso de dispositivos indicadores de carga con precisión mínima de 30 N.

B. MOLDES

Metálicos, cilíndricos, con un diámetro interno de $152,4 \pm 0,7$ mm y una altura de $177,8 \pm 0,5$ mm.

Deben tener un collar de extensión metálico de 50,8 mm de altura y una placa base metálica de 9,5 mm de espesor con perforaciones de un diámetro menor o igual que 1,6 mm.

C. DISCO ESPACIADOR

Metálico, cilíndrico, con un diámetro de $150,8 \pm 0,8$ mm y una altura de $61,4 \pm 0,2$ mm.

D. MARTILLO

Debe cumplir con lo especificado en la **Tabla 6.1_27** y **Tabla 6.1_28**.

Tabla 6.1_27. Métodos de compactación de AASHTO T-99

Martillo de 2,49 Kg = 5,5 lb				
Altura de caída = 305 mm (12")				
	METODO A	METODO B	METODO C	METODO D
Material	Pasa tamiz N° 4	Pasa tamiz N° 4	Pasa tamiz de 3/4"	Pasa tamiz de 3/4"
Molde usado	4"	6"	4"	6"
N° de capas	3	3	3	3
N° de golpes por capa	25	56	25	56
Volumen del molde sin collar	944 cm ³	2.123 cm ³	944 cm ³	2.123 cm ³
Energía de compactación en Kg-metro por m ³	60.414	60.165	60.414	60.165

Tabla 6.1_28. Métodos de compactación de AASHTO T-180

Martillo de 4,536 Kg = 10 lb				
Altura de caída = 457 mm (18")				
	METODO A	METODO B	METODO C	METODO D
Material	Pasa tamiz N° 4	Pasa tamiz N° 4	Pasa tamiz de 3/4"	Pasa tamiz de 3/4"
Molde usado	4"	6"	4"	6"
N° de capas	5	5	5	5
N° de golpes por capa	25	56	25	56
Volumen del molde sin collar	944 cm ³	2.123 cm ³	944 cm ³	2.123 cm ³
Energía de compactación en Kg-metro por m ³	274.611	273.480	274.611	273.480

D.1. Aparato Medidor de Expansión (Hinchamiento)

Compuesto por:

- Una placa metálica de $149,2 \pm 1,6$ mm de diámetro, por cada molde. La placa debe tener perforaciones de un diámetro menor o igual que 1,6 mm, y estar provista de un vástago ajustable de metal en el centro, con un sistema de tornillo y contratuerca que permita regular y fijar su altura.
- Un trípode metálico por cada molde, cuyas patas puedan apoyarse en el borde de éste, y que lleve montado en el centro un calibre comparador con indicador de dial, con precisión de lectura 0,025 mm. El vástago debe desplazarse libremente y coincidir con el de la placa, de forma tal que permita controlar la posición de ésta y medir el hinchamiento (**ver Figura 6.1_109**).
- Un dial para medir expansión, por cada molde, con precisión de lectura 0,025 mm.

D.2. Cargas

Para cada molde se debe disponer de una carga metálica anular y varias cargas ranuradas de $2,27 \pm 0,05$ Kg. cada una. La carga anular, de diámetro exterior de $149,2 \pm 1,6$ mm, debe disponer de una perforación u orificio en el centro de aproximadamente 54 mm de diámetro (**ver Figura 6.1_109**).

Nota 4: Para disminuir el número de discos de carga necesarios para el ensayo, se pueden utilizar combinadamente discos confeccionados en plomo y en acero.

D.3. Pistón de Penetración

Metálico, cilíndrico, de $49,6 \pm 0,1$ mm de diámetro y una longitud no inferior a 101,6 mm.

D.4. Otros equipos y Accesorios

- a) Un tambor o depósito de capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua, ubicado en un lugar tal que ésta no alcance su punto de congelación.
- b) Un horno con circulación de aire y temperatura regulable, que permita el secado de muestras a 110 ± 5 ° C.
- c) Balanza de 20 Kg. de capacidad y precisión 1 g.
- d) Balanza de 2 Kg. de capacidad y precisión 0,1 g.

D.5. Tamices

Otros: Pailas, recipientes, probetas graduadas, poruñas, espátulas, reglas, brochas, discos de papel filtro, cronómetro, etc.



Figura 6.1_100. Equipos y Materiales Requeridos

6.1.4.4.3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Prepare una muestra de acuerdo a lo indicado en los **Métodos S0402 o S0403**, de un tamaño aproximadamente igual a 70 kg. Efectúe un cuarteo mediante el **Método A0505** para obtener dos porciones de aproximadamente 35 Kg. cada una. Destine una de las porciones de 35 Kg. para el ensayo de humedad - densidad (**Métodos S0402 o S0403**), y divida el resto de la muestra en 5 porciones representativas de aproximadamente 7 Kg. cada una para la ejecución del ensayo CBR.

A. RELACIÓN HUMEDAD – DENSIDAD

Determine el contenido óptimo de humedad y la densidad máxima compactada seca (DMCS) del material, de acuerdo con los Métodos Proctor Normal ó Proctor Modificado, métodos B o D.

6.1.4.4.4. PROCEDIMIENTO

- a. Compacte al menos 3 probetas en un rango de 90% a 100% de la densidad máxima compactada seca determinada anteriormente.
- b. Mezcle homogéneamente con agua cada una de las tres o más porciones de suelo por ensayar, previo secado en horno a 60° C hasta masa constante. Agregue la cantidad de agua necesaria para alcanzar la humedad óptima determinada en “Relación humedad-densidad”. Luego proceda a curar la mezcla, colocando ésta en un dispositivo tapado hasta obtener una distribución uniforme de humedad.

Nota 5: En suelos de media a alta plasticidad el plazo de curado podrá variar entre 12 y 24 h. En suelos de baja a nula plasticidad este tiempo se podrá reducir a 30 - 60 min.

- c. Para cada molde coloque el disco espaciador sobre la placa base. Fije el molde con su collar de extensión sobre dicha placa y coloque un disco de papel filtro grueso sobre el espaciador.



Figura 6.1_101. Inserción del Disco dentro del Molde



Figura 6.1_102. Ensamblado del Collarín



Figura 6.1_103. Colocación del Papel de Filtro

- d. Compacte cada una de las porciones de suelo húmedo en el molde, en un número de capas igual al de las probetas usadas en el ensayo de humedad - densidad. Cada probeta se debe compactar con distinta energía de tal manera que la densidad en la cual se desee determinar la razón de soporte quede entre las densidades de dos probetas.

Nota 6: Generalmente se utilizan probetas compactadas con 56, 25 y 10 golpes. Si la densidad en la cual se desea determinar el CBR es menor que la del molde de 10 golpes, se deberá confeccionar otra probeta con menor energía.

- e. Si las muestras van a ser sometidas a inmersión, determine el contenido de humedad al comienzo y al final del procedimiento de compactación (2 muestras). Cada una de ellas debe pesar como mínimo 500g.
- f. Si las muestras no se van a someter a inmersión, obtenga la muestra para la determinación de humedad después de efectuar la penetración, según procedimiento indicado en 31.

Nota 7: En zonas desérticas, en que se asegure que las precipitaciones anuales son inferiores a 50 mm y no nieva, se puede eliminar la inmersión.

- g. Retire el collar de extensión y enrase cuidadosamente el suelo compactado con una regla al nivel del borde del molde. Rellene con material fino bajo 5mm cualquier hueco que pueda haber quedado en la superficie por eliminación de material grueso.

- h. Saque la placa base perforada y el disco espaciador y pese el molde con el suelo compactado.
- i. Determine la masa del suelo compactado (m), restando la masa del molde. Registre aproximando a 1g.
- j. Determine la densidad de la muestra antes de la inmersión (ρ), dividiendo la masa de suelo compactado (m) por la capacidad volumétrica del molde (V);

$$\rho = \frac{m}{V}$$

- k. Registre, aproximando el resultado a 0,01 g/cm³.



Figura 6.1_104. Enrase del Material



Figura 6.1_105. Extracción del Disco Espaciador

- l. Coloque un disco de papel filtro grueso sobre la placa base perforada, invierta el molde y fíjelo a dicha placa, con el suelo compactado en contacto con el papel filtro.

Nota 8: Cuando hay riesgo de disgregación del suelo compactado en el molde, éste debe pesarse junto con la placa base. En este caso, deben restarse tanto la masa del molde como la de la placa base para determinar m .

- m. Coloque el vástago ajustable y la placa perforada sobre la probeta de suelo compactado y aplique las cargas hasta producir una sobrecarga igual a la ejercida por la estructura del pavimento sobre el material en estudio, redondeando a múltiplos de 2,27Kg. (5 lb). En ningún caso debe ser menor que 4,54Kg. (10 lb)



Figura 6.1_106. Colocación de Papel de Filtro



Figura 6.1_107. Inversión del Molde



Figura 6.1_108. Colocación de Disco de Perforación

- n. Si la muestra va a ser sometida a inmersión, coloque los moldes con sus respectivas cargas en el recipiente sin agua y acomode el aparato de expansión a cada uno de los moldes, tomando lecturas iniciales de expansión o hinchamiento. Luego agregue el agua lentamente para no producir movimientos que desajusten el trípode de expansión, permitiendo el libre acceso de ésta a las probetas, las que debe dejar sumergidas durante 96 h. Durante este período mantenga la muestra sumergida a un nivel de agua constante, sin producir vibraciones que puedan alterar las mediciones de expansión.

Nota 9: Para suelos granulares que absorben humedad fácilmente y cuyo CBR, efectuado con inmersión de 96 h., sea mayor que 40%, podrá considerarse una reducción del tiempo de inmersión hasta un mínimo de 24 h.

- o. Al término del período de inmersión, tome las lecturas finales de expansión a cada una de las probetas y calcule el porcentaje de expansión refiriendo dichas lecturas a la altura inicial de éstas:

$$\text{porcentaje de expansión} = \frac{\text{expansión (mm)}}{116,6} \times 100$$

- p. Saque el agua libre dejando drenar la probeta a través de las perforaciones de la placa base durante 15 min. Cuide de no alterar la superficie de la probeta mientras se extrae el agua. Puede ser necesario inclinar la probeta para eliminar el agua superficial.
- q. Retire las cargas y la placa base perforada. Pese el molde con el suelo. Determine la masa de suelo compactado después de la inmersión (m_i), restando la masa del molde. Registre aproximando a 1 g.
- r. Determine la densidad de la muestra después de la inmersión (ρ_i) dividiendo la masa de suelo compactado (m_i) por la capacidad volumétrica del molde (v):

$$\rho_i = \frac{m_i}{v}$$

- s. Registre, aproximando a 0,01 g/cm³.

A. PENETRACIÓN

- a. Coloque sobre la probeta la cantidad suficiente de cargas para producir una sobrecarga igual a la ejercida por la estructura del pavimento sobre el material en estudio, redondeando a múltiplos de 2,27 Kg. (5 lb) y en ningún caso menor que 4,54 Kg. (10 lb). Si la probeta ha sido previamente sumergida, la sobrecarga debe ser igual a la aplicada durante el período de inmersión.

- b. Para evitar el sollevamiento del suelo en la cavidad de las cargas ranuradas, coloque en primer lugar la carga anular sobre la superficie del suelo, antes de apoyar el pistón de penetración. Luego coloque las cargas restantes.



B. PRENSA PARA CBR

- a. Apoye el pistón de penetración con la carga más pequeña posible, la cual no debe exceder en ningún caso de 45 N. Coloque los calibres de tensión y deformación en cero. Esta carga inicial se necesita para asegurar un apoyo satisfactorio del pistón y debe considerarse como carga cero para la determinación de la relación carga - penetración.

Nota 10: El dial de penetración debe estar adosado directamente al pistón y apoyado en el borde del molde.

- b. Aplique la carga en el pistón de penetración de manera que la velocidad sea de 1,27 mm/min.
- c. Anote las lecturas de carga en los siguientes niveles de penetración: 0,64; 1,27; 1,91; 2,54; 3,18; 3,81; 4,45; 5,08; 7,62; 10,16 y 12,7mm.

Nota 11: Para equipos con diales en pulgadas estos intervalos corresponden aproximadamente a: 0,025; 0,050; 0,075; 0,100; 0,125; 0,150; 0,175; 0,200; 0,300; 0,400 y 0,500 pulgadas.

- d. Anote la carga máxima alcanzada, registrando la penetración a la que se produce, si esto ocurre para una penetración menor que 12,7mm.
- e. El ensayo debe realizarse hasta alcanzar una penetración mínima de 7,62mm (0,300pulgadas).

Nota 12: Durante el ensayo no debe sobrepasarse la capacidad de carga del anillo. La última anotación corresponderá a la penetración que se obtenga a la carga máxima admisible del anillo.

- f. Saque el suelo del molde y determine su humedad considerando la totalidad de la muestra.

6.1.4.4.5. CÁLCULOS

A. CURVA DE TENSIÓN – PENETRACIÓN

Calcule las tensiones de penetración en MPa, aproximando a un decimal, para lo cual divida las cargas aplicadas (kgf) por el área de la sección transversal del pistón (cm²); luego divida el resultado obtenido por el factor de conversión 10,2.

Trace la curva de cada molde en un mismo gráfico de tensión - penetración. En algunos casos esta curva puede tomar, inicialmente, la forma cóncava hacia arriba debido a irregularidades de la superficie u otras causas. En dichos casos, el punto cero debe corregirse trazando una recta tangente a la mayor pendiente de la curva y trasladando el origen al punto en que esta tangente corta a la abscisa. El valor buscado estará desplazado a la derecha en la misma distancia que hay desde el origen hasta la intersección de la curva corregida con la abscisa (*ver Figura 6.1_110*).

B. RAZÓN DE SOPORTE

Empleando los valores de tensión corregidos tomados de la curva tensión - penetración para 2,54 mm y 5,08 mm de penetración, calcule las razones de soporte para cada una de ellas, dividiendo las tensiones corregidas por las tensiones normales de 6,9 MPa y 10,3 MPa, respectivamente. Cuando en el ensayo no se logre una penetración de 5,08 mm, debe extrapolar la curva hasta dicho valor para calcular la razón de soporte.

Para los suelos del tipo A-1, A-2-4 y A-2-6, la razón de soporte se calcula sólo para 5,08 mm de penetración.

Para los suelos del tipo A-4, A-5, A-6 y A-7, cuando la razón de soporte correspondiente a 5,08 mm resulte mayor que la correspondiente a 2,54 mm, repita el ensayo. Si el ensayo de chequeo entrega un resultado similar, emplee la razón de soporte correspondiente a 5,08 mm de penetración.

Para los suelos del tipo A-3, A-2-5 y A-2-7, informe el mayor porcentaje de CBR obtenido entre los correspondientes a 2,54 y 5,08 mm.

C. RAZÓN DE SOPORTE - DENSIDAD SECA

Usando los datos obtenidos para las distintas probetas, dibuje una curva "Razón de Soporte - Densidad Seca de Compactación", como se muestra en el gráfico de la *Figura 6.1_111*. Se puede determinar así, la Razón de Soporte correspondiente a una densidad seca preestablecida.

6.1.4.4.6. INFORME

El informe deberá incluir la siguiente información:

- a) Referencia al procedimiento empleado para preparar y compactar las probetas.
- b) Acondicionamiento de la muestra (con o sin inmersión).
- c) Densidad seca de la muestra antes de la inmersión (g/cm^3).
- d) Densidad seca de la muestra después de la inmersión (g/cm^3).
- e) Humedad de la muestra:
 - Antes de la compactación (%).
 - Después de la compactación (%).
 - Después de la inmersión (%).
- f) Expansión (referida a la altura inicial del molde) (%).
- g) Razón de Soporte de la muestra (%).
- h) Cualquier información específica relativa al procedimiento de ensayo o al material.
- i) La referencia a este método.

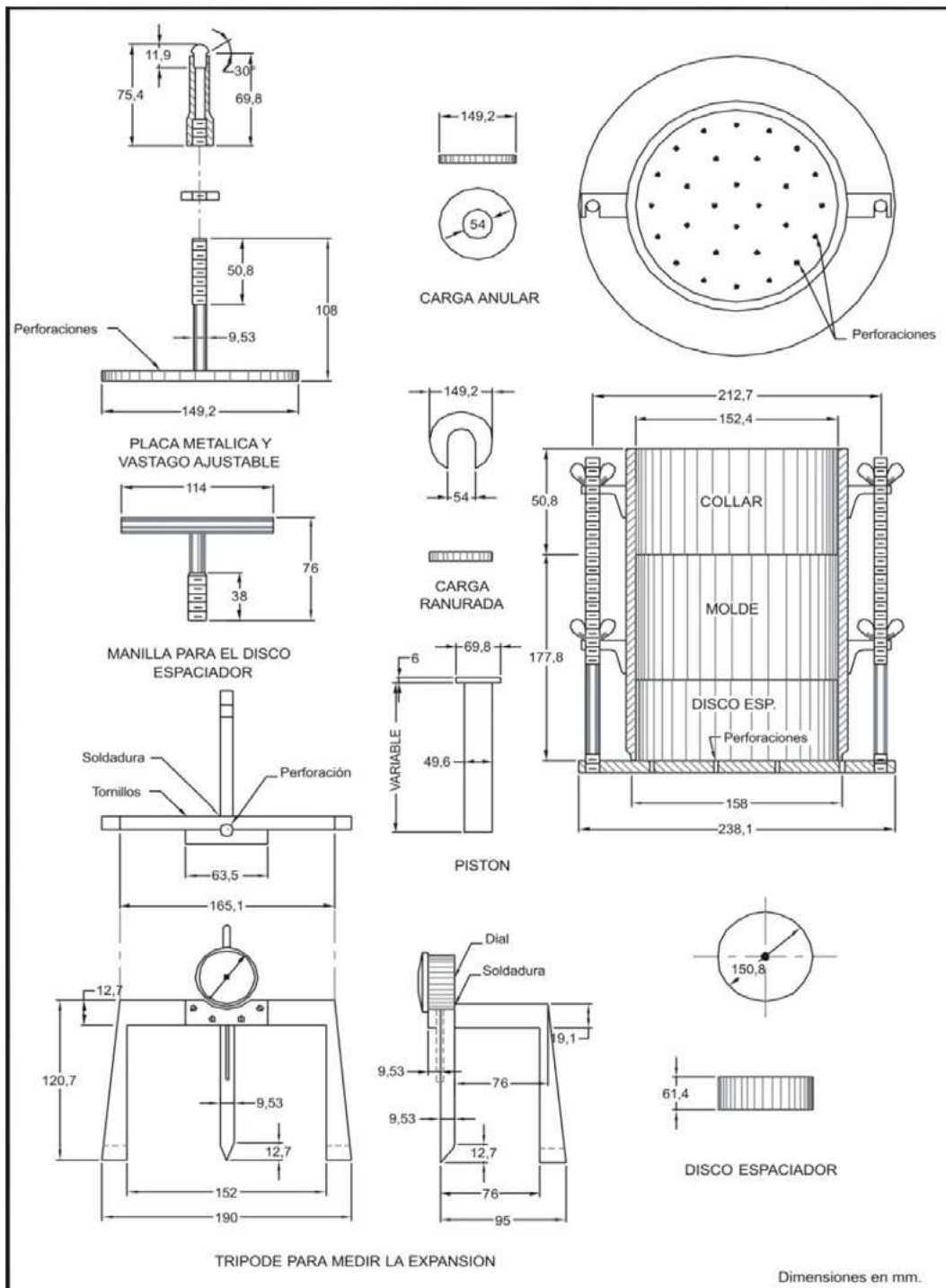


Figura 6.1_109. APARATO CBR

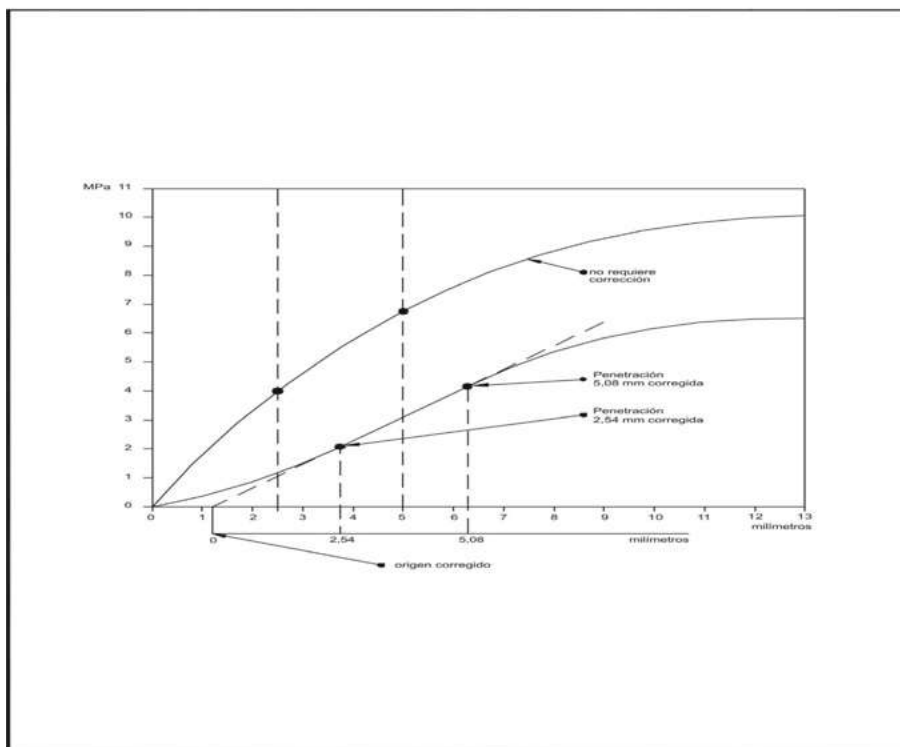


Figura 6.1_110. CORRECCIÓN DE CURVAS TENSIÓN – PENETRACIÓN

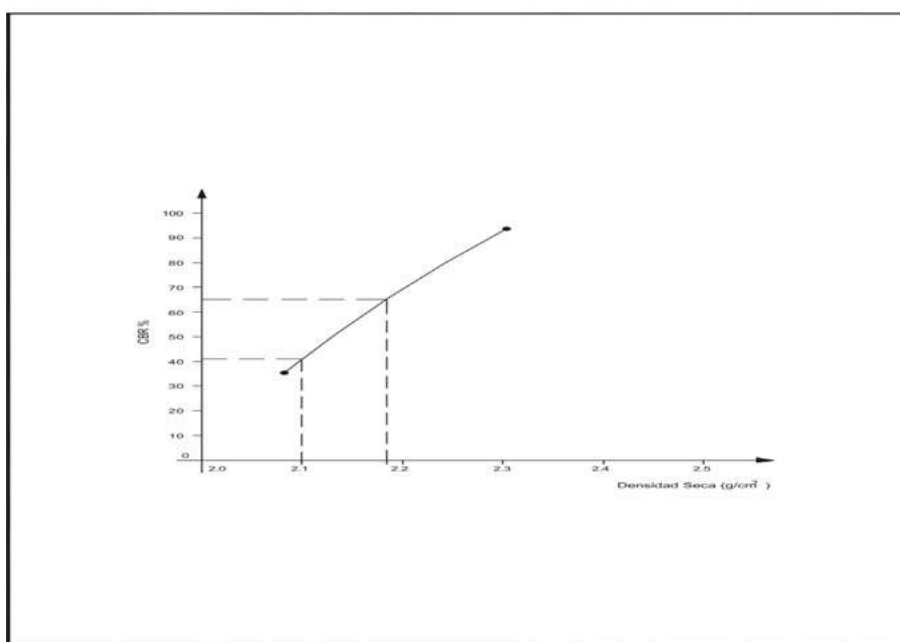


Figura 6.1_111. CBR DENSIDAD SECA

SECCION 6.1.4.5.

DETERMINACIÓN DEL VALOR DE RESISTENCIA R Y DE LA PRESIÓN DE EXPANSIÓN DE SUELOS COMPACTADOS (ASTM D2844 AASHTO T190)

6.1.4.5.1. OBJETO

Este método se refiere al procedimiento para ensayar suelos y áridos compactados tratados y no tratados, con los aparatos del estabilómetro y con los dispositivos de presión de expansión, para obtener resultados que indiquen su comportamiento cuando están colocados como sub-rasante, subbase, o base de una carretera, sometida a la acción del tránsito.

6.1.4.5.2. EQUIPOS Y MATERIALES

- Compactador amasador de California, con capacidad para aplicar una presión promedio de contacto de 2410 ± 100 kPa (350 ± 15 lb/pulg²), a la pata del pisón mostrado en la **Figura 6.1_114** y que pueda mantener esta presión, durante los cambios que se sucedan en la altura del espécimen.

El desarrollo de la relación carga-tiempo, deberá estar libre de “vibraciones” o de evidencias de cambios en la pendiente, asociados con impactos. El incremento del tiempo para aplicación de la presión de la pata en el intervalo de 240 a 2.070 kPa (35 a 300 lb/pulg²), no deberá ser menor de 0,07, ni mayor de 0,20 seg. El tiempo de desarrollo medido para una presión de 2.070 kPa (300 lb/pulg²), no deberá ser menor de 0,15 ni mayor de 0,45 seg. El tiempo para quitar o remover la presión no deberá ser mayor de 0,60 seg. El compactador deberá incluir un contador o un cronómetro, para medir el número de golpes aplicados al espécimen y un soporte del molde para emplearlo en la compactación de los especímenes, que gire igualmente entre golpes para proporcionar de 5 a 7 golpes por revolución del molde. El soporte del molde deberá retenerlo firmemente durante la compactación. La base del soporte del molde deberá tener una placa metálica de 100,8mm (3 31/32”) de diámetro y 12,7mm (0.5”) de altura, a la cual se halle cementado un disco de caucho, que tiene un diámetro de 100,0mm (3 15/16”) y de 3,2mm (1/8”) de altura. La placa deberá ser parte integral de la base del sostenedor del molde.

El compactador deberá incluir también un canal, para alimentar la muestra dentro del molde en 20 incrementos (**ver Figura 6.1_115**). Son satisfactorios canales de alimentación con una sección transversal semicircular de 39 cm² (6 pulg²) y longitud de 508 mm (20”).

- Prensa para Ensayo de Compresión, con una capacidad mínima de 45 kN (10.000 lb) y que satisfaga los requisitos para la verificación de aparatos de ensayo.
- Molde de $101,6 \pm 0,05$ mm (4 ± 0.002 ”) de diámetro interior por 127 ± 0.20 mm (5 ± 0.008 ”) de altura (Véase la Figura 6.1_116)
- Discos de caucho, de 100 mm (2 15/16”) de diámetro por 3 mm (1/8”) de espesor y que tengan una dureza al durómetro de 60 ± 15 .
- Guía metálica de pared sólida de $100,22 \pm 0,13$ mm (3.95 ± 0.005 ”) de diámetro exterior, por 125 mm (5”) de longitud.

- Aparato de exudación, como el mostrado en la Figura 6.1_117.
- Disco de bronce fosforado, como el indicado en la Figura 6.1_118.
- Papel de filtro de 100mm de diámetro y 0.15 mm (0.006”) de espesor, superficie suave, velocidad de filtración media y retención mediana.
- Papel de filtro de 110mm de diámetro y 0,15 mm (0.006”) de espesor, superficie encrespada, velocidad de filtración media rápida y retención mediana.
- Aparato de presión-expansión con accesorios como se muestra en la **Figura 6.1_119**. Deberá disponerse de por lo menos tres de estos aparatos por cada muestra que se vaya a ensayar diariamente.
- Medidor de deflexión, con divisiones de 0,002 mm (0.0001”) y llave de sección hexagonal (Allen) como se muestra en la Figura 6.1_119.
- Estabilómetro con accesorios, como se muestra en las Figuras 6.1_120 y 6.1_121.
- Espécimen metálico normal de 101,6 ± 0,13 mm (4 ± 0.05”) de diámetro exterior por aproximadamente 152,2 mm (6”) de altura como se muestra en la Figura 6.1_121.
- Balanza, con capacidad de 5kg y con precisión de 1g.
- Tamices de 25 mm (1”), 19,0 mm (3/4”) y 4,75 mm (N°4).
- Equipo misceláneo, el cual incluye cazuela para mezclar, espátula, cucharas, y canecas de capacidad de 1 galón con tapones para cierre ajustado.

6.1.4.5.3. CALIBRACIÓN DEL APARATO DE PRESION-EXPANSION

Calíbrese el resorte de barra de acero del dispositivo de presión-expansión (Figura 6.1_119), aplicando cargas determinadas hacia arriba en el centro de la barra y midiendo las correspondientes deflexiones de la barra con el deformímetro.

Se considera que el resorte de barra de acero está calibrado cuando se halla dentro de las tolerancias siguientes:

Tabla 6.1_29. TOLERANCIAS PARA EL RESORTE DE BARRA DE ACERO

Carga aplicada N (lb)	Lectura del Dial en mm (pulg)
36 (8)	0,055±0,005 mm (0,0021±0,0002”)
71(16)	0,110 ±0,005 mm (0,0042±0,0002”)
107(24)	0,165 ±0,005 mm (0,0063±0,0002”)
142(32)	0,220 ±0,005 mm (0,0084±0,0002”)

Si el deformímetro no comprueba las lecturas anteriores, suéltese la barra de la parte superior del marco y ajústese la posición de los suplementos, entre el marco y el resorte de barra de acero, hasta que se obtenga la lectura requerida. Algunos modelos del aparato de presión expan-

sión tienen juegos de tornillos de ajuste en lugar de suplementos. Para una discusión completa del procedimiento de calibración es necesario referirse al método de ensayo 902 de California.

6.1.4.5.4. PREPARACIÓN DEL SUELO

- a. Remuévase cualquier clase de costras de los áridos gruesos y rómpanse los terrones de arcilla que pasen el tamiz de 19,0 mm (3/4").
- b. Ajústese la gradación del suelo, cuando parte del material es retenido en el tamiz de 19 mm.
- c. Cuando 75% o más pasa el tamiz 19 mm, úsese la parte de la muestra que pasa este último.
- d. Si menos del 75% de la muestra pasa el tamiz de 19,0 mm (3/4") empléese la parte de la muestra que pasa el tamiz de 26,5 mm (1").

6.1.4.5.5. PREPARACIÓN DE LOS ESPÉCIMENES DEL SUELO

1. Mézclense completamente cuatro muestras de suelo de 1200 g, con la cantidad de agua estimada y que sea igual a los dos tercios del agua necesaria para producir saturación, como se la define en los numerales 3 y 4. Colóquense las muestras dentro de recipientes cubiertos y déjense así durante la noche. Inmediatamente antes de la compactación, mézclense las muestras con la cantidad final de agua requerida para producir saturación. La primera muestra se utiliza como muestra piloto, que sirve para determinar la cantidad de agua finalmente requerida.
2. Pésese material en cantidad suficiente para elaborar un espécimen compactado de 101,6 mm (4") de diámetro, por 63 mm (2.5") de altura. Compáctese el suelo dentro del molde por medio del compactador amasador en la siguiente forma: Colóquese el molde en su soporte y ajústese de manera que quede con una separación aproximada de 3 mm (1/8"), entre el borde inferior del molde y la base del soporte. Con la presión de la pata del compactador fija en 1.720 ± 170 kPa (250 ± 25 lb/pulg²), introdúzcanse en el molde, 76 mm (3") de suelo, por medio del canal alimentador, en 20 incrementos iguales con una aplicación del pistón después de cada incremento. Háganse 100 aplicaciones.
3. Adicionales; con una presión en la pata de 2.410 kPa (350 lb/pulg²). Deténgase la compactación en cualquier momento, antes de los 100 golpes si aparece agua alrededor del fondo del molde.

Empléese una presión de compactación menor, cuando sea necesario limitar la penetración del pistón dentro del suelo, a no más de 6 mm (1/4").

4. Retírese del compactador el molde que contiene el espécimen compactado. Nivélase la superficie compactada apisonándola a mano con una varilla de 38 mm (1.5") de diámetro. Colóquese un disco de bronce fosforado sobre la superficie apisonada del suelo y un disco de papel, sobre la parte superior del disco de bronce. Inviértase el molde y colóquese dentro del dispositivo de exudación, de modo que el papel de filtro quede sobre el fondo.

Empleando la prensa de compresión, aplíquese uniformemente un incremento de presión al suelo, a una tasa de 8.900 N/min. (2000 lbf/min).

El agua deberá exudarse del suelo a 2.080 kPa (300 lb/pulg²), como evidencia de que hay humedad suficiente para producir saturación. Deténgase la carga y anótese la presión de exudación, cuando cinco de las seis luces exteriores se enciendan en el dispositivo de pre-

sión de exudación o cuando tres de las luces exteriores se enciendan y se observe agua libre en torno al fondo del molde. No debe excederse la carga de 5.520 kPa (800 lb/pulg²).

5. Moldéense por lo menos dos especímenes adicionales con cantidades diferentes de humedad, de tal modo que se obtenga un intervalo de presiones de exudación entre 690 y 5.520 kPa (100 a 800 lb/pulg²), el cual incluye el valor de 2.070 kPa (300 lb/pulg²).

Para algunos suelos con elevado cambio de volumen, se necesitarán especímenes adicionales, que tengan presiones de exudación menores de 690 kPa (100 lb/pulg²), con el fin de obtener presiones de expansión que sean suficientemente bajas y que proporcionen un intervalo de datos adecuados, para un análisis completo de la presión de expansión del suelo.

Ocasionalmente, especímenes de arcilla muy plástica, expulsarán agua por debajo y alrededor de la guía del pisón, durante la operación de carga. Si ocurre esto cuando se hayan alcanzado 5.520 kPa (800 lb/pulg²) y se enciendan menos de cinco luces, deberá informarse que el suelo tiene un valor de R menor de 5. Materiales granulares gruesos y arenas limpias, pueden requerir el empleo de empaquetaduras de papel para poder efectuar el ensayo.

6.1.4.5.6. ENSAYO DE PRESIÓN-EXPANSIÓN

1. Déjese recuperar el espécimen en un molde cubierto por lo menos durante 30 minutos después de la determinación de la presión de exudación.
2. Colóquese el deformímetro sobre el dispositivo de presión expansión, con el extremo sencillo de apoyo de la base del dial, descansando sobre el anillo de ajuste.
3. Utilizando una llave hexagonal (Allen), levántese o bájese el suplemento de ajuste hasta que el deformímetro esté sobre -0,025 mm (-1.0010"). El medidor de deflexión leerá 0,229 mm (0.0090").
4. Colóquese firmemente el disco perforado con el vástago sobre la cara del espécimen compactado en el molde y póngase en el dispositivo de presión-expansión después de colocar el filtro de papel de superficie encrespada, sobre el disco giratorio.
5. Asíéntese firmemente el disco perforado sobre el espécimen mediante presión aplicada con los dedos. Levántese el disco giratorio sobre el dispositivo de presión hasta que el medidor de deflexión indique cero. Si el dispositivo fue ajustado correctamente de acuerdo con el numeral 7, éste fijará la deflexión de la carga de preasentamiento en 0.025 mm (0.001").
6. Agréguese aproximadamente 200 mL de agua dentro del molde y déjese desarrollar la presión de expansión del espécimen, durante un período de 16 a 24 horas.

-No debe dejarse un espécimen de ensayo sin confinamiento mediante el dispositivo de presión-expansión, mientras haya agua libre sobre la parte superior del espécimen en el molde.
7. Mídase la deflexión del resorte calibrado de barra de acero con aproximación a 0,002 mm (0.0001").

Cuando la deflexión sea mayor que 0,254 mm (0.0100"), el dispositivo de presión-expansión deberá calibrarse nuevamente antes de usarlo de nuevo.

8. Determínese la presión de expansión, P , de la siguiente forma:

$$P = k \cdot d$$

Donde:

k : Constante del resorte de barra de acero calculado a partir de la calibración del aparato de presión – expansión, expresado en kPa/0,025 mm (psi/0,0010”).

d : deflexión indicada por el deformímetro en mm (“)

6.1.4.5.7. AJUSTE DEL ESTABILÓMETRO

Ajústese la tuerca de bronce sobre la platina de base del estabilómetro de manera que la parte superior de ésta quede a 89 mm (3½”) por debajo del fondo del anillo superior ahusado del estabilómetro. Efectúense todos los ensayos con este montaje.

Ajústese la cantidad de aire en la celda del estabilómetro, de manera que $2 \pm 0,05$ vueltas del manubrio de la bomba aumenten la presión del líquido de 35 a 690 kPa (5 a 100 lb/pulg²) con el espécimen metálico normal en la cámara del estabilómetro.

6.1.4.5.8. VALOR DE RESISTENCIA DE LOS ESPECÍMENES DE ENSAYO

Después de determinar la presión de expansión, remuévase el agua de la parte superior del espécimen y colóquese el molde con el espécimen sobre la parte superior del estabilómetro. Instálase la guía sobre la parte superior del espécimen y fuércese, desde el molde hacia el estabilómetro. Bájese la cabeza de la prensa de ensayo hasta que encaje justamente con la guía.

Si se ha drenado toda el agua del espécimen, añádase agua a la parte superior y déjese reposar por 15 minutos. Elimínese cualquier exceso de agua y continúese con el ensayo.

Aplíquese una presión horizontal de 35 kPa (5 lb/pulg²) al espécimen, mediante la bomba de desplazamiento y aplíquese luego una carga vertical empleando una tasa uniforme de movimiento de 1,3 mm/min. (0.05”/min.).

Regístrese la presión horizontal cuando la carga vertical sea de 8.900 N (2000 lb) y deténgase la aplicación de la carga. Redúzcase la carga a 4.450 N (1000 lb). Con la bomba de desplazamiento, ajústese la presión horizontal a 35 kPa (5 lb/pulg²). Esto ocasionará una reducción adicional de la carga vertical, lo cual debe ser ignorado.

Gírese la manija de la bomba del estabilómetro, aproximadamente a dos vueltas por segundo, y mídase el número de vueltas (usando el respectivo indicador del estabilómetro) necesario para elevar la presión horizontal de 35 a 689 kPa (5 a 100 lb/pulg²). El número de vueltas de desplazamiento del espécimen se denomina D .

Determínese la resistencia, R , así:

$$R = 100 - \frac{100}{\left(\frac{2,5}{D}\right) \cdot \left(\frac{160}{P_h} - 1\right) + 1}$$

Donde:

P_h : Presión horizontal, kPa (lb/pulg²).

D: Lectura de vueltas de desplazamiento.

Este es el valor R para especímenes con alturas compactadas de 62 a 65 mm (2.24 a 2.55"). Si la altura del espécimen se halla entre 58 y 62 mm ó 65 y 68 mm (2.3" y 2.45" o 2.55 y 2.7") úsese el gráfico (Véase Figura 6.1_122) para corregir los valores R a un espécimen con altura de 63 mm (2.5").

Si el valor de R se desea a una presión de exudación específica, por ejemplo a 2.070 kPa (300 lb/pulg²) dentro del intervalo de las presiones medidas en el ensayo de los tres especímenes, es conveniente construir un gráfico de valores de R contra presiones de exudación e interpolar.

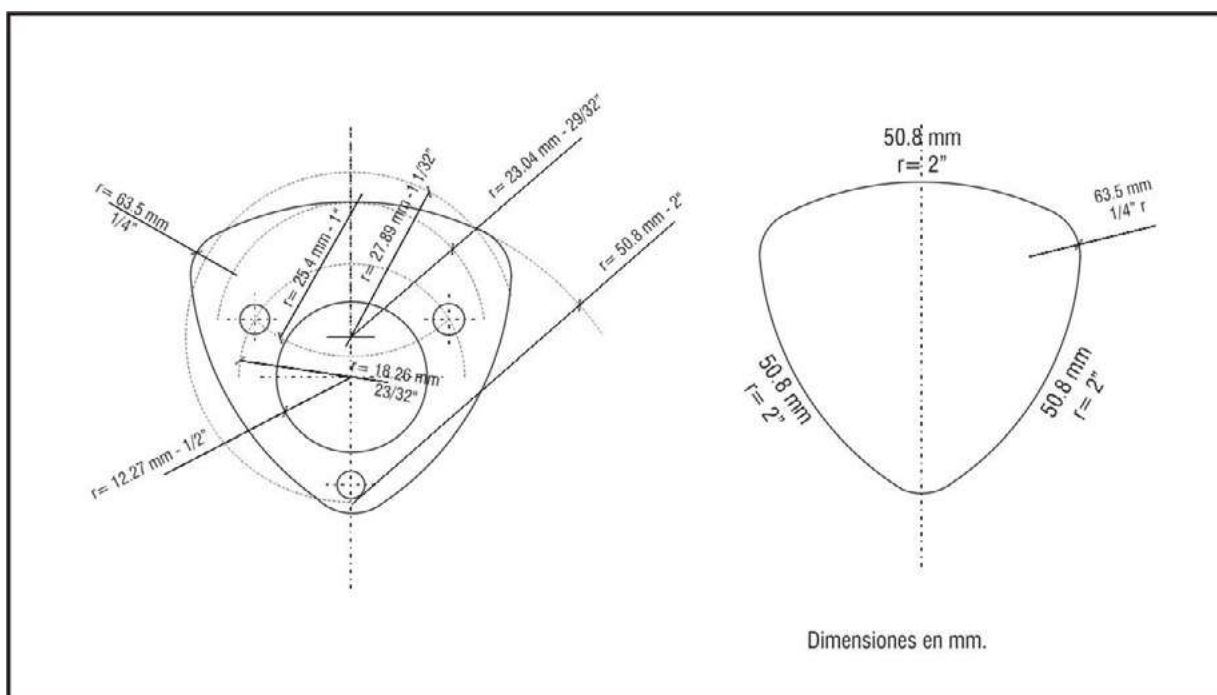


Figura 6.1_114. CARA DEL PISÓN DE COMPACTACIÓN

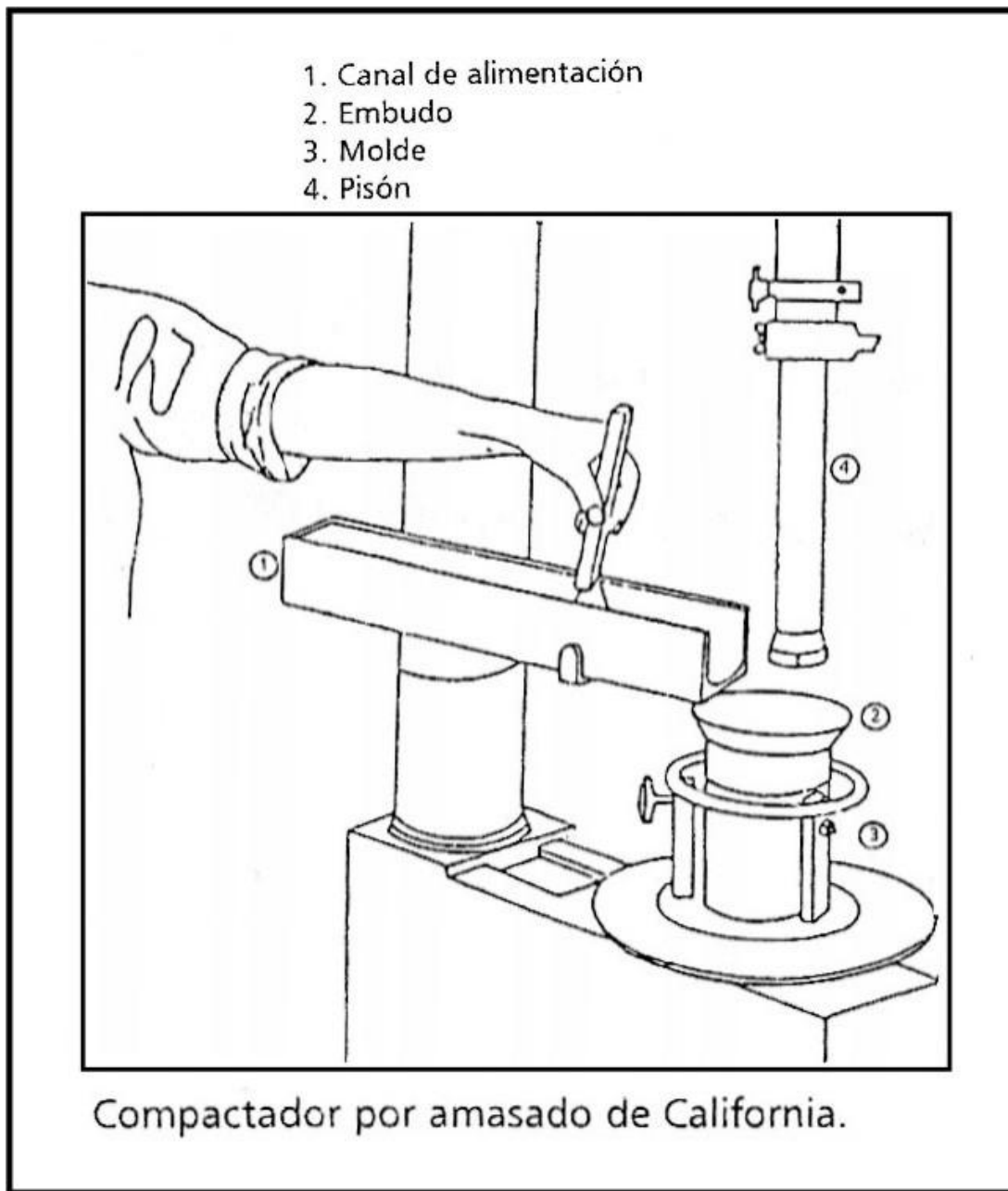


Figura 6.1_115. COMPACTADOR POR AMASADO DE CALIFORNIA

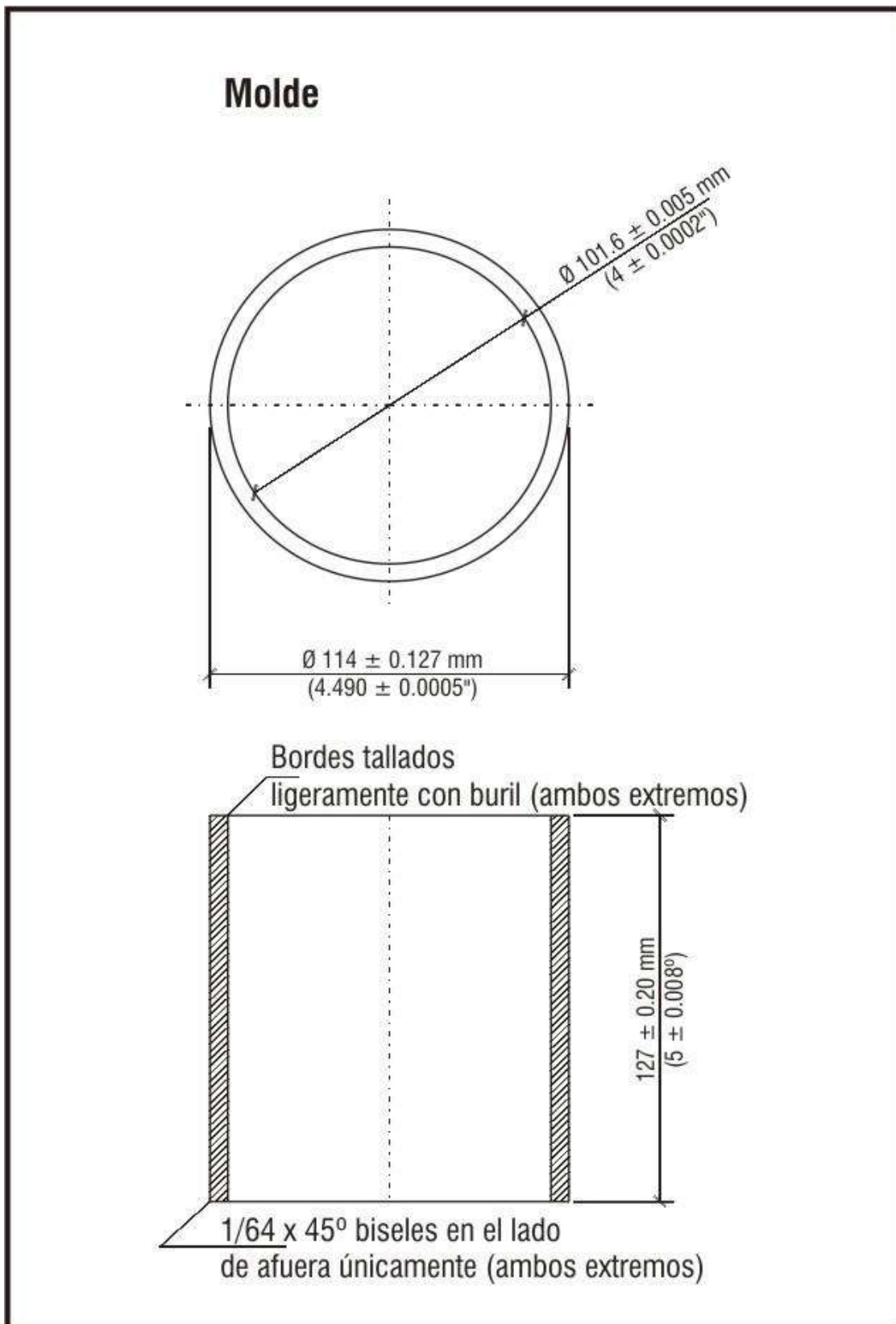


Figura 6.1_116. COMPACTADOR POR AMASADO DE CALIFORNIA

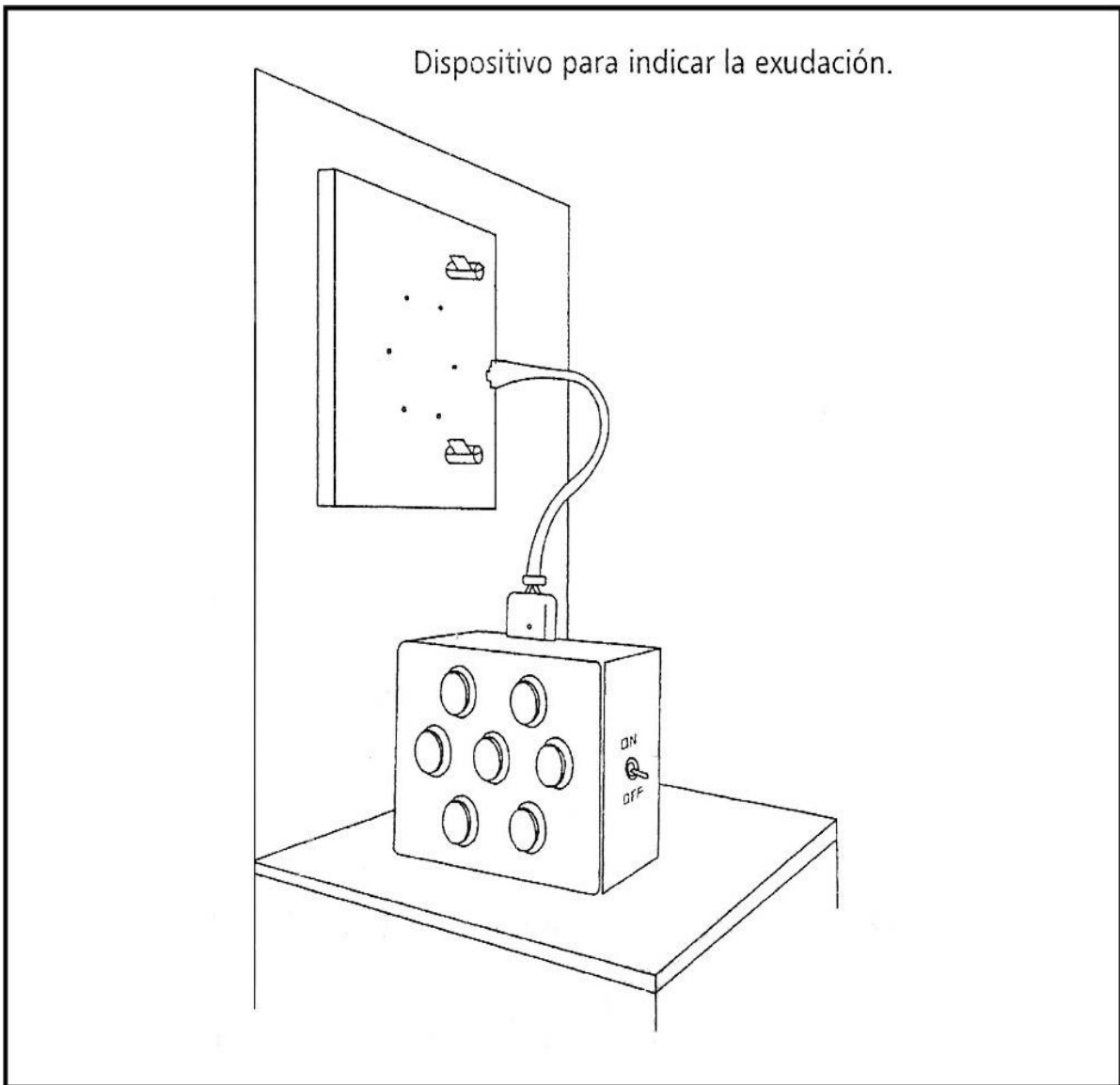


Figura 6.1_117. DISPOSITIVO PARA INDICAR LA EXUDACIÓN

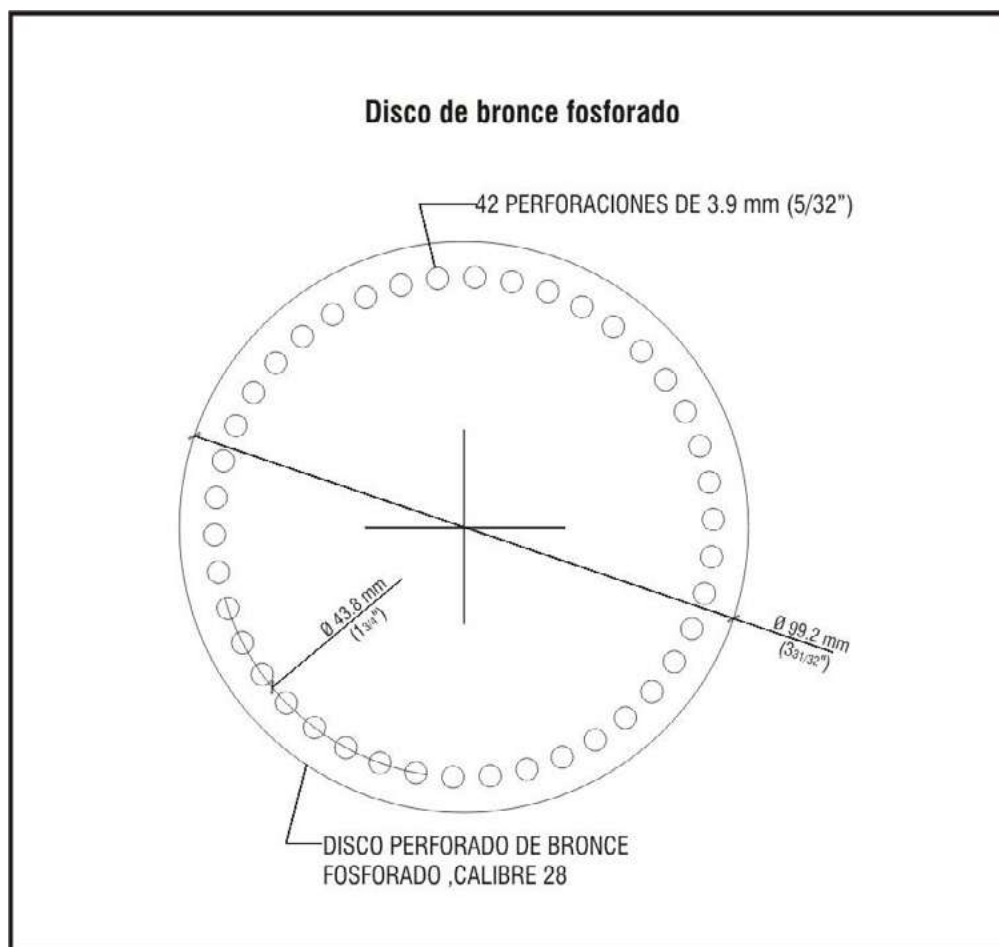


Figura 6.1_118. ISCO DE BRONCE FOSFORADO

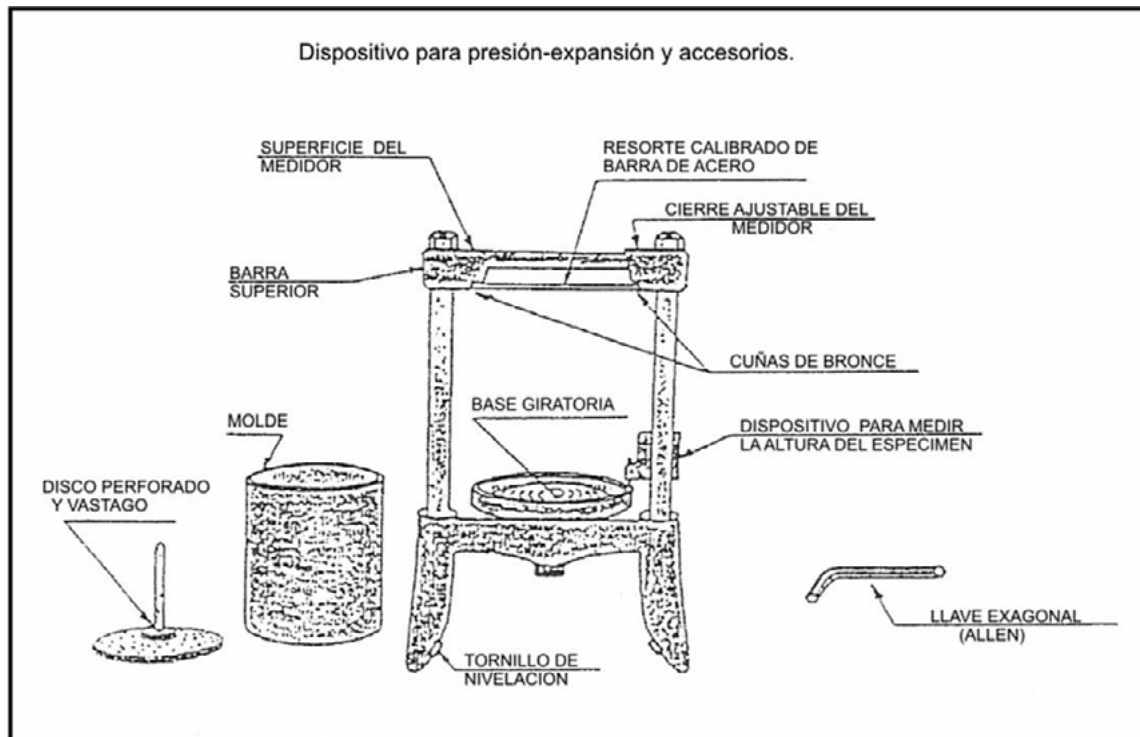


Figura 6.1_119. DISPOSITIVOS PARA PRESIÓN-EXPANSIÓN Y ACCESORIOS

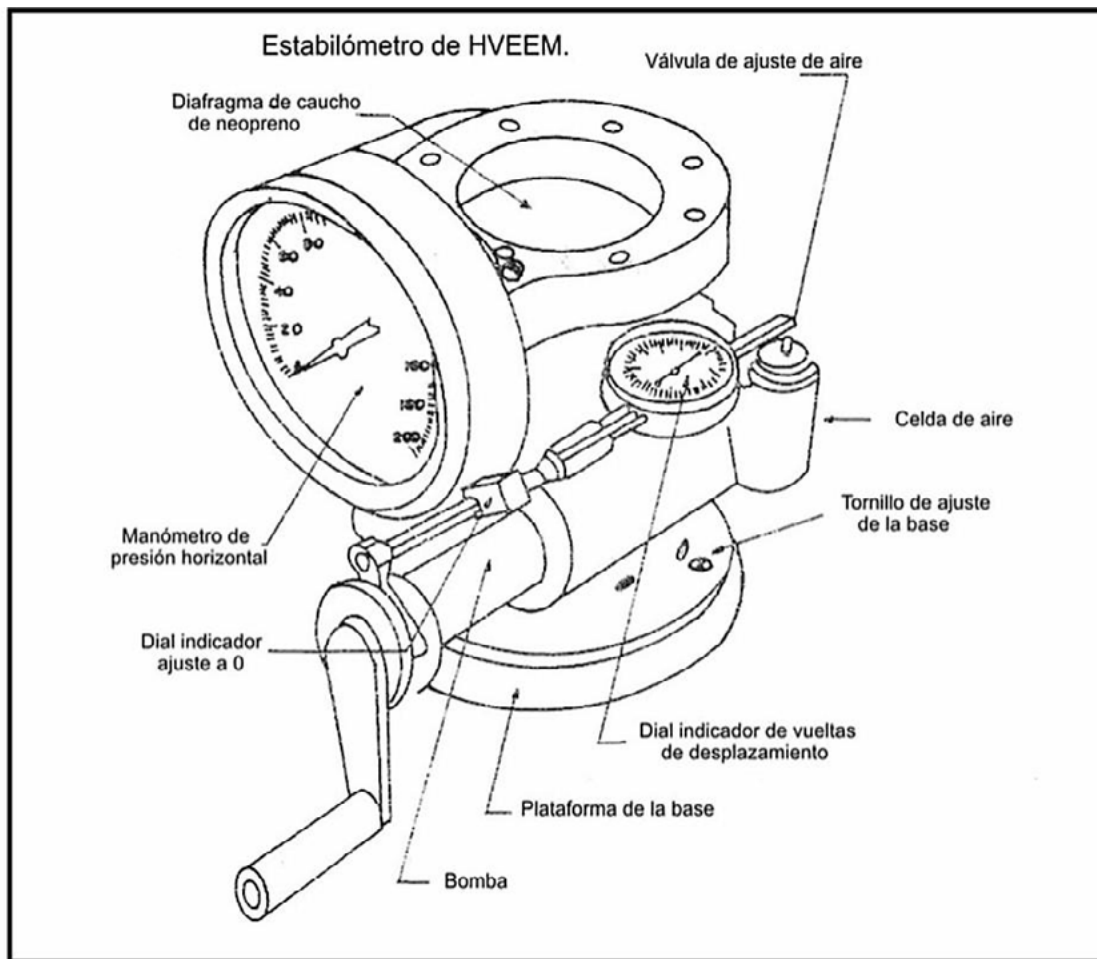


Figura 6.1_120. ESTABILÓMETRO DE HVEEM

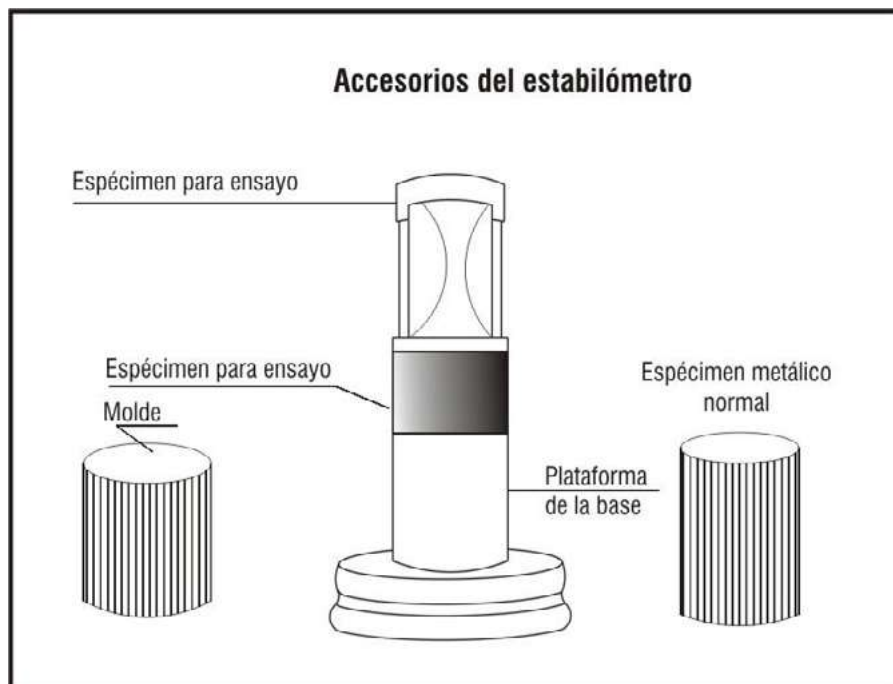


Figura 6.1_121. ACCESORIOS DEL ESTABILOMETRO

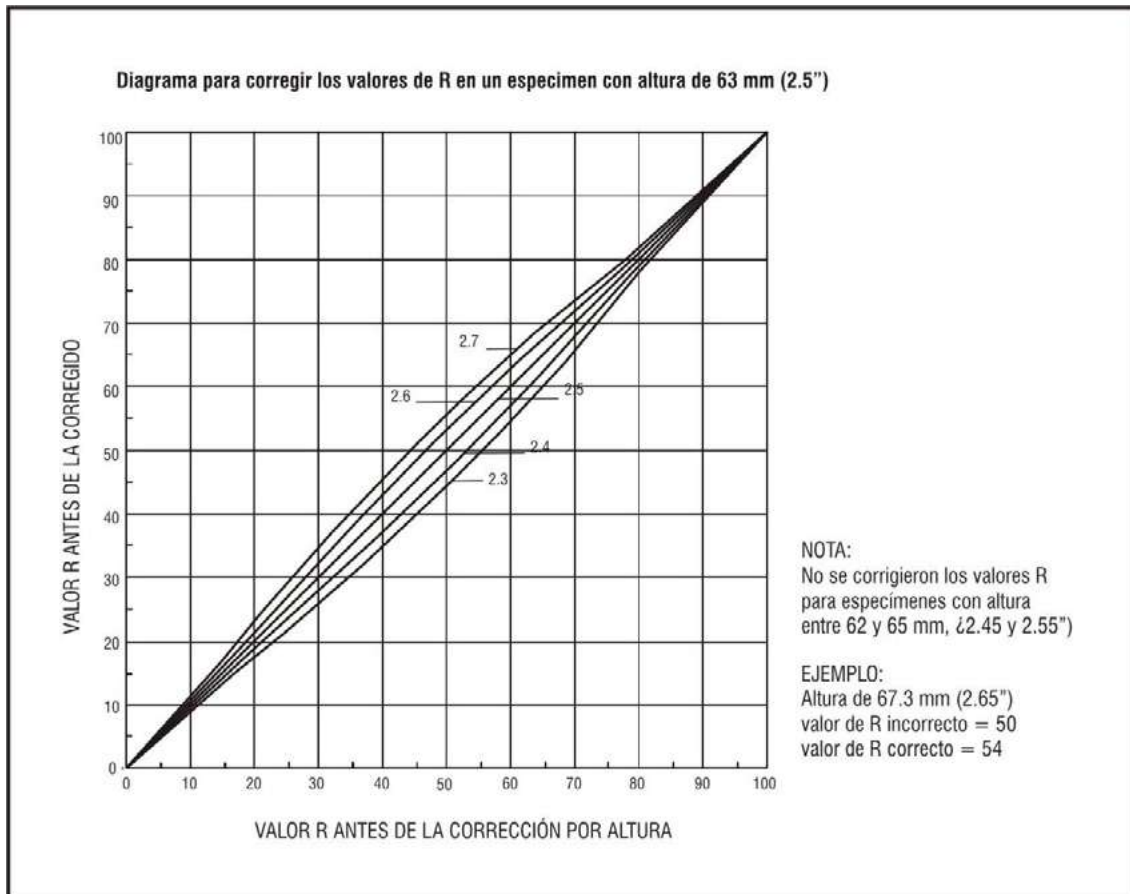


Figura 6.1_122. DIAGRAMA PARA CORREGIR LOS VALORES DE R EN UN ESPÉCIMEN CON ALTURA DE 63 MM

SECCION 6.1.4.6. | MEDICIONES DE LA PRESIÓN DE POROS (AASHTO T252)

6.1.4.6.1. OBJETO

Este método se refiere al procedimiento para medir las presiones de poros de suelos naturales en el campo.

6.1.4.6.2. USO Y SIGNIFICADO

Las razones principales para medir presiones de poros en la construcción y mantenimiento de las carreteras son:

- a) Verificar cambios de resistencia durante la construcción.
- b) Estimar asentamientos remanentes después de la construcción.
- c) Conocer los valores de determinar presiones de poros existentes en deslizamientos o derrumbes.

El método consiste en la instalación de dispositivos para medir la presión de poros en un punto señalado del suelo, a partir de un conocimiento detallado de las condiciones del terreno y de la evaluación de las necesidades. Las medidas de presión de poros pueden efectuarse determinando la presión de poros total en el punto o la presión de poros diferencial en ese punto con relación al nivel freático normal circundante. Estos datos generalmente se reducen a la presión de poros en exceso o sea a la diferencia entre la presión de poros medida y la presión de poros normal bajo el nivel freático general para el área en el momento de la lectura.

La interpretación de las mediciones de la presión de poros en el campo es complicada por la variabilidad que se presenta en los suelos, tanto vertical como horizontalmente. Por esto, la interpretación de cualquier medida de presión de poros puede ser engañosa si no se conoce adecuadamente el perfil completo del suelo, la historia de las cargas y los parámetros detallados del suelo.

6.1.4.6.3. EQUIPOS Y MATERIALES

C.1. Sistema abierto

Puede usarse el siguiente equipo para obtener la presión de poros en suelos de permeabilidad relativamente alta, aun cuando también es satisfactorio para suelos de permeabilidad baja.

- a) Un pozo sencillo de observación abierto, consistente en un agujero sostenido, si fuere necesario, por revestimiento plástico o metálico.
- b) Una instalación normal de punta coladora (Wellpoint), la cual consiste en una punta con una malla coladora colocada en el extremo de un tubo normal. Existen diferentes longitudes de malla y de aberturas, para emplear en situaciones diferentes.
- c) El piezómetro hidráulico abierto tipo Casagrande, el cual consiste en una celda porosa conectada a un tubo elevador de diámetro pequeño, rodeado de arena normalizada, que

pase 100% por el tamiz de 850 μm (N°20), y que quede retenida 100% en el tamiz de 425 μm (N°40), sellada en la base y que se coloca en el fondo de un agujero perforado.

Las celdas pueden conseguirse en diferentes tamaños y porosidades y pueden elaborarse de piedra cerámica de filtro, de plástico poroso o de metales porosos. El tubo elevador debe ser de plástico y, por conveniencia para la lectura, debe tener un diámetro interior no menor de 6.35 mm (1/4") (*Véase la Figura 6.1_123*).

C.2. Sistemas cerrados

Pueden emplearse los siguientes equipos para obtener las presiones de poros en suelos de baja permeabilidad, pero también son satisfactorios para suelos de permeabilidad elevada.

a) Piezómetro cerrado tipo Casagrande

Consiste de una punta porosa sellada dentro de una capa de suelo, conectado a la superficie del terreno mediante un(os) tubo(s) lleno(s) con un fluido y a su vez conectado (s) a un medidor. La punta porosa se instala en el fondo de un agujero perforado, rodeada por arena normalizada (que pase 100% por el tamiz de 850 μm (N°20), y que quede completamente retenida en el tamiz de 425 μm (N°40)).

El tubo puede ser de 6,35 a 12,7 mm (1/4 a 1/2") o de mayor diámetro, de plástico o de metal flexible. Deberá emplearse agua limpia para llenar el tubo. Deberá utilizarse un manómetro compuesto Bourdon de tipo tubo (de capacidad suficiente para registrar el cambio esperado en la presión de poros). El manómetro deberá calibrarse para las condiciones bajo las cuales será usado (posición, temperatura, etc.). Este tipo de sistema mide la presión diferencial del agua entre el nivel freático circundante del terreno y la presión dentro del sistema de suelo.

b) Piezómetro Neumático

Puede consistir en un transductor (comunicador de presión neumático), confinado en una caja de plástico o de acero inoxidable provista de una abertura porosa (cerámica, plástica o de metal) que permita que el agua de los poros alcance el diafragma del transductor. Dos pequeñas conexiones para aire, de diámetro pequeño y de plástico, están conectadas al transductor. Se necesita un suministro de aire comprimido, tomado de una instalación o de botellas individuales, (limpio y sin humedad) para operar el transductor. Es igualmente necesario un manómetro de presión de aire con capacidad suficiente para registrar la presión existente a la profundidad donde se encuentre la punta del piezómetro, más la presión de aire esperada.

c) Piezómetro operado eléctricamente

Consiste en un diafragma calibrado (con un deformímetro adjunto), confinado dentro de una caja sellada, de plástico o de acero inoxidable, con un lado abierto a la presión del agua en los poros a través de un filtro poroso. El deformímetro adjunto al diafragma puede ser del tipo de resistencia o de alambre vibratorio. La presión de poros se obtiene mediante el uso de un sistema de lectura eléctrico compatible con el tipo del deformímetro empleado.

d) Piezómetro L.C.P.C

El aparato consiste en una unidad sensible de paredes porosas de la cual salen hacia el exterior dos tubos. El tubo 1 se utiliza cuando el piezómetro se instala como si fuera abierto y el tubo 2 conecta la unidad sensible con un dispositivo que se debe utilizar en aquellos suelos en los que el tiempo de respuesta sea muy grande.

6.1.4.6.4. PROCEDIMIENTOS DE INSTALACIÓN

A. INSTALACIONES PERFORADAS O HINCADAS

A.1. Piezómetros de pozo abierto

A.1.1. Pozo abierto

Hínquese un tubo normal (con una punta desechable) del tamaño y resistencia adecuados, hasta que alcance la capa de suelo natural en la cual se va a obtener la presión de poros. Hálese hacia atrás el tubo una distancia suficiente para obtener respuesta de la presión de poros y colóquese una tapa con ventilación sobre el tubo.

A.1.2. Punta coladora (Wellpoint)

Hínquese la tubería estándar (con la punta coladora asegurada en su posición), de tamaño y resistencia adecuados para alcanzar la capa de suelo en la cual se va a obtener la presión de poros. La punta coladora debe ser del tamaño, longitud y abertura de malla adecuados para el suelo en el cual se instala. Sin embargo, el diámetro más grande de la punta coladora no deberá ser mayor que el de la tubería acoplada sobre ella. Insértese una manguera flexible a través del tubo y dentro de la punta coladora. Bombéese agua limpia a través de la manguera para limpiar la punta y la malla. El flujo deberá continuarse durante aproximadamente 5 minutos después de que salga limpia el agua por la parte superior del tubo. Remuévase la manguera e instálese una tapa con ventilación sobre el tubo.

A.1.3. Punta coladora (Wellpoint) de bajo cambio de volumen

Se sella firmemente un tubo plástico de diámetro pequeño de 9,5 a 12,7 mm (3/8" a 1/2") (mediante un acople mecánico o un pegante apropiado) a la punta coladora (Wellpoint) escogida.

El sello deberá ser suficientemente fuerte para que resista la presión de poros total sin permitir el goteo dentro de la tubería de hincada; la punta coladora se ensambla a la tubería de hincada, la cual debe ser de tamaño y resistencia suficientes para alcanzar la capa de suelo en la cual se pretende medir la presión de poros. Las roscas de la tubería de hincada localizadas en los primeros 6 m (20 pies) deberán sellarse para evitar el goteo a través de las juntas de la tubería.

El tubo plástico es enroscado a medida que se hinca la tubería. Después de hincada la tubería plástica, se suspende (con suficiente tensión para mantenerla recta) de la parte superior y se cubre con una tapa ventilada.

A.2. Piezómetros de sistema cerrado

Los piezómetros de sistema cerrado pueden hincarse dentro de la capa del suelo de manera similar a la descrita en el numeral anterior. No obstante se permitirá el uso de puntas y filtros no comunes para situaciones especiales. Son aceptables conexiones al tubo normal o a las varillas de perforación normales, con la condición de que los sellos sean herméticos para las presiones de poros utilizadas y que el diámetro de la punta no exceda al de la varilla de perforación o al del tubo guía. Para piezómetros tipo Casagrande, la punta y la tubería (suficiente para alcanzar la superficie del terreno) deben llenarse completamente con agua limpia antes de iniciar su hinca. Deberá sellarse el extremo superior del tubo para evitar la entrada o pérdida de agua del sistema durante la hinca. No deberán emplearse conexiones en el tubo vertical (tubo elevador).

A.3. Conexiones Superficiales:

Cuando los piezómetros de sistema cerrado deban extenderse verticalmente a través del relleno de un terraplén, este proceso se hará de manera adecuada para el tipo de piezómetro que se va a instalar, previendo (1) que se proporcione una protección adecuada y (2) que haya un método para volver a calibrar la lectura de presión de poros con cada extensión. Los sistemas de piezómetros cerrados con dispositivo de lectura remota deberán instalarse de la siguiente manera:

a) Excávase una zanja de 610 mm (2') de profundidad por 305 mm (1') de ancho, desde la localización del piezómetro hasta la caja de protección para la lectura. El fondo de la zanja deberá estar a 610 mm (2') por debajo de cualquier construcción futura (cunetas, tuberías, etc.).

b) La parte superior de la tubería guía de hinca deberá removerse en una longitud de al menos 1.52 m (5') por debajo de la superficie del terreno. El tubo o cable conductor deberán centrarse sobre el tubo de camisa por lo menos 305 mm (1') a medida que se coloque arena en el hueco.

El tubo o cable conductor deberá enrollarse en una espiral de aproximadamente 610 mm (2') de diámetro hacia arriba hasta el fondo de una zanja excavada aproximadamente hasta 610 mm (2') por debajo de la superficie del terreno, colocando arena alrededor a medida que se efectúa esta operación.

c) Los cables conductores horizontales deberán colocarse en la zanja que lleva al sitio de lectura, siguiendo una trayectoria en zig-zag sobre un lecho de 152 mm (6") de arena limpia. Cuando se utilice más de un tubo o cable conductor en una zanja, no deberán cruzarse.

d) Todos los tubos o alambres horizontales deberán comprobarse en cuanto a su continuidad, escapes, etc., antes de efectuar las conexiones finales a los cables conductores verticales del piezómetro. En lo posible, estos conductores no deberán tener uniones, desde la punta del piezómetro hasta la caja de protección para lectura.

e) Todos los conductores eléctricos deberán sumergirse en agua limpia y deberá comprobarse su resistencia; si hubiera algún cambio en ésta después de la inmersión, deberán descartarse y reemplazarse.

Los conductores de aire para piezómetros neumáticos deberán sumergirse en agua limpia para verificar que no haya escapes bajo presiones que excedan la presión de poros esperada.

También, los conductores de aire deberán soplarse con aire a elevada presión para limpiar cualquier polvo o humedad antes de realizar las conexiones finales. El aire empleado para la limpieza deberá provenir de un tanque que mantenga únicamente aire filtrado y al que se le haya sacado el exceso de humedad.

Los tubos horizontales para los piezómetros hidráulicos deberán ensayarse a un vacío de 508 mm (20") de mercurio antes de ser llenados con agua coloreada. Deberá haber dos tubos horizontales con una conexión en tal elevador vertical de la punta del piezómetro. Los tubos deberán estar completamente llenos con líquido coloreado en una configuración tal, que puedan verse y removerse las burbujas que se presenten durante el llenado. La manera preferida para llenarlos consiste en sumergir un extremo en el fluido coloreado, sellar con un tapón la T en el extremo que conecta al elevador y aplicar un vacío al extremo libre del tubo horizontal.

Durante esta operación, debe tenerse cuidado de evitar la formación de burbujas de aire. Una vez que esté completamente lleno el tubo con fluido, se deberán hacer las conexiones a la caja de lectura. El elevador vertical de la punta del piezómetro se llenará entonces con agua, se removerá el tapón del tubo horizontal en T; la conexión entre el elevador vertical y los tubos horizontales deberá efectuarse bajo agua. Las alturas de la T y del manómetro de lectura deberán determinarse antes de rellenar la zanja.

A.4. Piezómetros instalados en huecos de perforación

4. Para la instalación de piezómetros mediante perforación se necesita el siguiente equipo adicional.

a) Un martillo para apisonar, elaborado con un tubo de acero sin costura, de 610 mm (2') de longitud, de 41,3 mm (1 5/8") de diámetro exterior y de 15,9 mm (5/8") de diámetro interior, o de bronce fundido con las mismas dimensiones y que pese por lo menos 11,3 kg (25 lbs). Estas dimensiones son para un revestimiento de 50,8 mm (2") de diámetro interior. Se necesitan martillos de dimensiones mayores para revestimientos de mayor diámetro. En el extremo superior, un cable galvanizado de 3/8 mm (1/8") de diámetro de alta resistencia deberá asegurarse firmemente al martillo y a un anillo ranurado. La superficie interior del martillo deberá ser lisa y todos los bordes que toquen el tubo deberán ser redondeados. Este martillo deberá suministrarse con un disco de 41,3 mm (1 5/8") de diámetro y de 12,7 mm (1/2") de espesor, que pueda ajustarse firmemente en la base. Este disco deberá tener una ranura en el centro (de tamaño adecuado para acomodar el tubo o los conductores empleados) con bordes redondos. Este conjunto con cable se emplea para los siguientes fines:

b) Para apisonar las capas de bentonita y asegurar por lo tanto, el sello hermético entre el revestimiento y los elevadores.

c) Para centrar los elevadores mientras se está apisonando en un sitio el sello de bentonita.

d) Para medir profundidades en las diferentes etapas de instalación.

e) Cable galvanizado reforzado de alta resistencia de 6,35 mm (1/4") de diámetro, de longitud suficiente para que permita la instalación del piezómetro a mayores profundidades. Este deberá fijarse seguramente al extremo de un broche con eslabón giratorio del tipo de polea. Márquese el cable a intervalos de 1,52 m (5'), iniciándose en la cara inferior del martillo.

f) Trípode y polea para operar el martillo.

g) Equipo de muestreo por perforación.

h) Arena normalizada o equivalente, completamente lavada, que pase el tamiz de 0.850 mm. (N°20) y que quede retenida en el tamiz de 0,425 mm (N°40).

i) Bolas de bentonita de alrededor de 12,7 mm (1/2") de diámetro, que se forman con un contenido de agua apenas por encima del límite plástico pero por debajo del límite de pegajosidad (esto es, con una consistencia de masilla), cubierta con polvo talco para evitar que se peguen, y almacenadas en jarras o frascos de vidrio para protegerlas del secamiento, o también pastillas comerciales de bentonita.

j) Guijarros redondos aproximadamente de 12,7 mm (1/2") de diámetro.

5. Hínquese la tubería de revestimiento de 50,8 mm (2") de diámetro interior o mayor, hasta la cota aproximada del fondo de la celda del piezómetro. La sección del fondo correspondiente a los primeros 3,05 m (10') hincados, debe ser de una sola pieza, sin uniones ni acoples y no debe tener zapata guía en su extremo inferior. El revestimiento puede hacerse avanzar por cualquier medio, excepto para los últimos 6,1 m (20') penetrados, en los cuales deberá avanzarse en incrementos de 1.52 m (5') y el revestimiento deberá lavarse después de cada avance de 1,52 m (5'). El revestimiento deberá mantenerse lleno con agua en todo momento y no se permitirá el lavado por debajo del mismo.

a) Obténgase con cuchara una muestra del material localizado en los 305 mm (12") por debajo del fondo del revestimiento y envíense las muestras en frascos sellados. Hínquese el revestimiento otros 305 mm (12") por debajo de la profundidad de la celda del piezómetro hasta el fondo del mismo. Remplácese el agua del revestimiento con agua limpia invirtiendo el flujo de la bomba y empleando su extremo inyector como extremo de admisión el cual se debe mantener a unas pocas pulgadas por encima del fondo del revestimiento.

Manténgase el revestimiento lleno de agua limpia y continúese la operación hasta que el agua de retorno surja clara.

b) Extráigase el revestimiento una longitud de 305 mm (1") y viértase arena limpia dentro del hueco hasta llenar esa misma altura. La profundidad de la superficie de la arena deberá medirse mediante una sonda. Bájese el conjunto dentro del revestimiento hasta que la celda del piezómetro descansa sobre la arena, y céntrese bajando el martillo de apisonamiento hasta el extremo superior de la misma.

c) Para piezómetros neumáticos: Conéctense los conductos de aire a la celda del piezómetro (dejándoles una longitud continua sin uniones que supere en 3,05 m (10') la distancia a la superficie del terreno).

Deberá verificarse que no existan escapes en el sistema y los conductos de aire deberán marcarse o colorearse antes de su instalación. La precisión de la celda y del manómetro de lectura deberá comprobarse midiendo la presión de poros (igual a la cabeza de agua en el revestimiento) a diferentes profundidades entre la parte superior del revestimiento y la profundidad de la instalación. Los conductos deberán taponarse entonces para evitar la entrada de polvo durante el resto de la instalación.

d) Para piezómetros eléctricos:

Conéctense los conductos eléctricos a la celda del piezómetro (en una longitud continua sin uniones hasta extenderlas a 3,05 m (10') por encima de la superficie del terreno), con conexiones herméticas a prueba de agua. Las conexiones deberán ser de un color pre-establecido o marcadas antes de su instalación. La precisión del piezómetro deberá verificarse como se indicó en el párrafo anterior.

e) Para piezómetros hidráulicos:

Satúrese la punta porosa y llénese el tubo elevador (en una longitud continua sin uniones hasta que se extienda a 3,05 m (10') por encima de la superficie del terreno) con agua limpia, sumergiendo la punta porosa en dicha agua y aplicándole vacío al tubo. Deberá comprobarse que no haya burbujas de aire en el tubo y taponar después su extremo superior. La punta porosa deberá extraerse del agua únicamente cuando sea transferida al revestimiento lleno.

6. Hálese el revestimiento de tal manera que el fondo del mismo quede 305 mm (1') por encima del fondo de la celda y al mismo tiempo, viértase lentamente un volumen medido de arena limpia dentro del revestimiento de tal manera que la arena llene el espacio alrededor de la punta del piezómetro y aproximadamente hasta 762 mm (2½") por encima del fondo del revestimiento. Manténgase tensión sobre el tubo, pero evítese cualquier movimiento vertical de la punta del piezómetro.

Nota 1: *En áreas donde se esperen grandes asentamientos en las fundaciones [por encima de 914 mm (3')] no se hala el revestimiento por encima de la punta del piezómetro o puede perforarse el fondo del revestimiento.*

Nota 2: *Si la arena se vierte muy rápidamente, podría llenarse la tubería en tal forma que cuando el tubo sea halado, también se mueva la punta.*

7. Fórmese una capa de 25,4 mm (1") de espesor con guijarros de 12,7 mm (½") de diámetro sobre la parte superior de la arena en el revestimiento y aplíquense 20 golpes a la capa de guijarros con una caída del martillo de 152 mm (6") por golpe.
8. Fórmese un sello de bentonita colocando 5 capas de bolas de bentonita, cada una de 76,2 mm (3½") de espesor y compactándolas en la siguiente forma, mientras se mantiene una tensión constante sobre el tubo o sobre las guías:

- a) Bájese el nivel del agua a 76,2 mm (3") por debajo de la parte superior del revestimiento.
 - b) Déjense caer bolas de bentonita individualmente dentro del revestimiento hasta que el agua suba a la parte superior del mismo y déjese tiempo suficiente para que las bolas alcancen el fondo (alrededor de 1 minuto para cada 3,05 m (10') de profundidad).
 - c) Déjense caer suficientes guijarros de 12,7 mm (½") de diámetro dentro del revestimiento para formar una capa de 25,4 mm (1") de espesor y déjese tiempo suficiente para que los guijarros alcancen el fondo.
 - d) Deslícese el martillo apisonador sobre la tubería plástica y, manteniendo tensión sobre la tubería, aplíquense 20 golpes a la capa de guijarros con una caída de martillo de 152 mm (6") por golpe.
 - e) Repítase este procedimiento hasta que se formen cinco capas de sello. Cuando se note que el martillo no se mueve libremente, deberá sacarse y limpiarse inmediatamente.
9. Viértase suficiente arena dentro del revestimiento para formar una capa de arena de 610 mm (2') de espesor, cúbrase con guijarros y compáctese con 20 golpes de martillo.
 10. Repítase el procedimiento descrito en el numeral 8 formando otro sello de bentonita.
 11. Desconéctese el tramo superior del revestimiento de tal manera que el extremo superior del mismo quede al menos a 1,52 m (5') por debajo de la superficie del terreno. Puede lograrse esto acoplando los tramos superiores del revestimiento con uniones menos apretadas que las de los inferiores. Llénense al menos 3,05 m (10') del resto del revestimiento con arena.

Nota 3: *Una alternativa podría ser la completa remoción del revestimiento. En ese caso, los siguientes cambios serán necesarios: El revestimiento deberá halarse una longitud suficiente para permitir que se llene el espacio alrededor de la punta del piezómetro hasta aproximadamente 762 mm (2½') por encima de la punta de éste. Después de esto volverá a halarse lo suficiente para permitir que se forme la primera de las cinco capas del sello de bentonita (numerales 7 y 8); luego debe halarse de nuevo lo suficiente para permitir la colocación de la capa de 610 mm (2') de arena por encima del sello de bentonita (numeral 11) y halarse otra vez para permitir la formación de la segunda capa del sello de bentonita (14). Después de completar el segundo sello de bentonita, hálese el revestimiento en una longitud de 305 mm (1'), agréguese arena y aplíquense 20 golpes con una caída de martillo de 152 mm (6") por golpe. De esta última forma deberán colocarse 5 capas de arena, formando así un relleno de arena de 1,5 m (5') sobre el segundo sello de bentonita. Finalmente, podrá extraerse toda la tubería de revestimiento.*

12. Las conexiones superficiales deberán hacerse de la misma forma que las descritas en el numeral 3 b) para los piezómetros de sistema cerrado.

5. Instalaciones a Presión

Perfórese a través de cualquier suelo granular o arcilla muy dura que se halle por encima de la capa de arcilla en la cual va a ser instalada la punta, con un barreno de diámetro mayor que el de la varilla o tubo de perforación al cual se va a adjuntar la punta.

Llénese con agua el piezómetro y la longitud de tubería necesaria para conectar el nivel de la punta con la superficie del terreno.

Presiónese lentamente dentro de la arcilla la punta del piezómetro que se encuentra acoplada a la varilla, o tubería de perforación, hasta una profundidad dentro de 6,1 m (20') por encima

de la cota deseada para medir la presión manteniendo con una bomba pequeña un flujo ligero de agua a través de la punta. En este punto, desconéctese la bomba y sígase presionando el piezómetro hasta alcanzar la profundidad deseada. Cada vez que se necesite agregar un tramo de varilla de perforación, debe desconectarse la bomba y taparse el extremo de la tubería, mientras se enrosca el tubo siguiente de la varilla de perforación. Debe hacerse esto tan pronto como sea posible.

6.1.4.6.5. INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

Correcciones a las lecturas de presión de poros

- a) Piezómetros de pozo abierto llenos con agua: el exceso de presión de poros es la diferencia entre la altura del agua en el pozo y la altura general del nivel freático.
- b) Piezómetros hidráulicos de sistemas cerrados tipo Casa-grande: el exceso de la presión de poros se determina empleando la lectura del manómetro y agregando el diferencial de la presión del agua entre la altura del manómetro y la altura del nivel freático circundante.
- c) Piezómetros neumáticos y eléctricos: muchos de estos aparatos miden la presión total del agua en un punto y por esto el exceso de presión de poros en el suelo se determina substrayendo la diferencia entre la altura de la punta del piezómetro y la del nivel freático circundante a partir de la lectura del manómetro.

Interpretación de los datos

Generalmente se emplea la medición de presión de poros en suelos para estimar el aumento en la resistencia al corte o el asentamiento remanente en un suelo bajo condiciones de carga conocidas. Puesto que las presiones de poros solamente son una medida indirecta de estas características, se requiere mucho cuidado para interpretar los resultados con precisión. Deberá considerarse la siguiente información cuando se interpretan presiones de poros:

- a) La carga total aplicada y la tasa de carga.
- b) Las fluctuaciones estacionales del nivel freático circundante.
- c) Se requieren pozos de observación (piezómetros superficiales y de sistema abierto) en el área circundante, particularmente cuando haya aguas de mareas. El número y los sitios de los pozos dependen del terreno del contorno.
- d) La distribución real (tanto vertical como horizontal) de la presión de poros en los suelos que están siendo analizados, para lo cual se requieren generalmente tres o más piezómetros a distintos niveles y a tres o más a distancias diferentes a partir del centro de la carga.

Deben obtenerse los parámetros del suelo para los depósitos que están siendo analizados, a partir de ensayos amplios de laboratorio sobre muestras de suelo inalteradas.

6.1.4.6.6. PROBLEMAS ESPECIALES

Merecen discutirse en este método los siguientes problemas especiales, debido a su frecuente ocurrencia.

A. CASOS DE SUELOS ORGÁNICOS.

En muchos suelos orgánicos, el gas generado alrededor de la punta del piezómetro es suficiente para bloquear la entrada del agua de los poros a través del filtro al dispositivo de medida. Para

evitar este problema, se dispone de piezómetros con dispositivos para remover el gas de la punta del piezómetro.

B. ASENTAMIENTOS APRECIABLES.

En áreas donde ocurran asentamientos apreciables se desarrollan numerosos problemas:

- a) Distensión de los tubos elevadores en la parte que queda por debajo del revestimiento permanente, lo cual puede evitarse instalando el piezómetro dentro del revestimiento.
- b) Distensión del elevador en la parte superior del revestimiento permanente. Se elimina esto removiendo la sección superior del revestimiento hasta alrededor de 1,52 m (5') por debajo de la superficie al terreno y rellenándola con arena.
- c) Alargamiento de las guías horizontales

Es aceptable para muchas instalaciones, con tal de que no se hagan conexiones en las guías horizontales y de que éstas se elaboren con materiales que cedan antes de la rotura. El alargamiento de las guías eléctricas puede afectar adversamente la calibración de los circuitos, dando lecturas erróneas.

C. VARIACIONES ELÉCTRICAS

La precisión de las unidades eléctricas para medir presión de poros puede depender de los cambios de temperatura, alargamiento de las guías de alambre y cambios en las características del diafragma. Es muy difícil mantener la calibración durante períodos prolongados. Hay algunas celdas de piezómetros que reducen estos problemas.

D. SISTEMA CERRADO

A menudo los piezómetros hidráulicos pierden precisión a causa de escapes en la tubería o por generación de gas (aire disuelto). Estas condiciones pueden reducirse empleando agua "desairada", pero cuando haya aire en el sistema, deberá removerse para que puedan obtenerse lecturas precisas. Para remover el aire, las dos conexiones horizontales deben limpiarse a chorro con un fluido de color diferente (agua), aplicando vacío en un conducto y proporcionando un suministro continuo del fluido en el otro. Los escapes de aire en el dispositivo de lectura pueden repararse, pero los que se presentan bajo el terreno generalmente no pueden localizarse ni repararse.

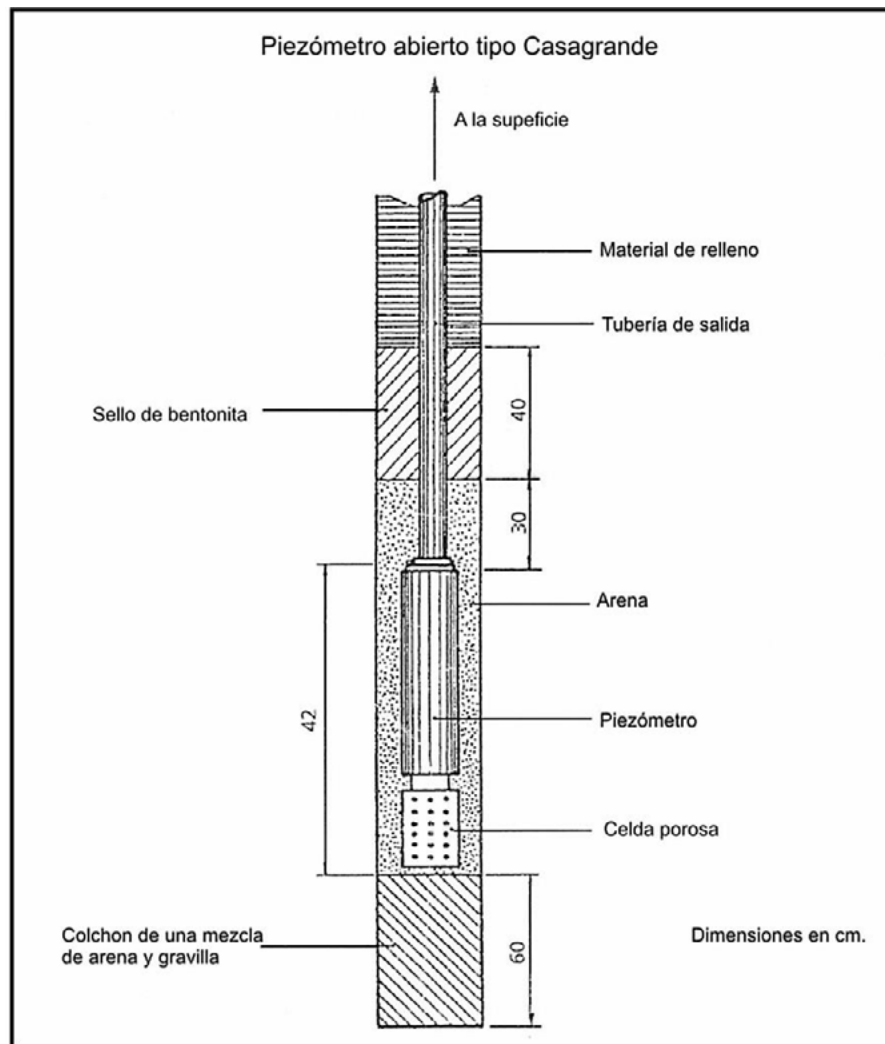


Figura 6.1_123. PIEZÓMETRO ABIERTO TIPO CASAGRANDE

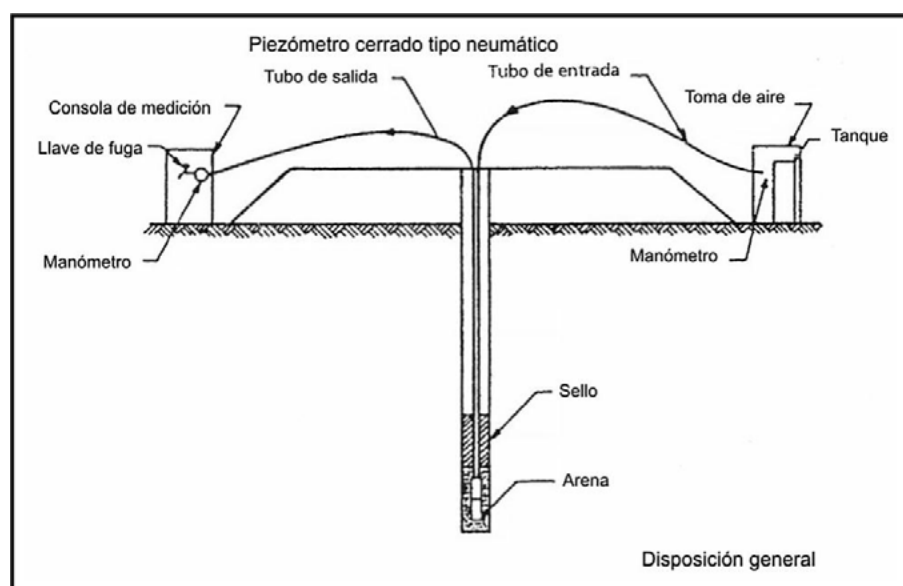


Figura 6.1_124. PIEZÓMETRO CERRADO TIPO NEUMÁTICO

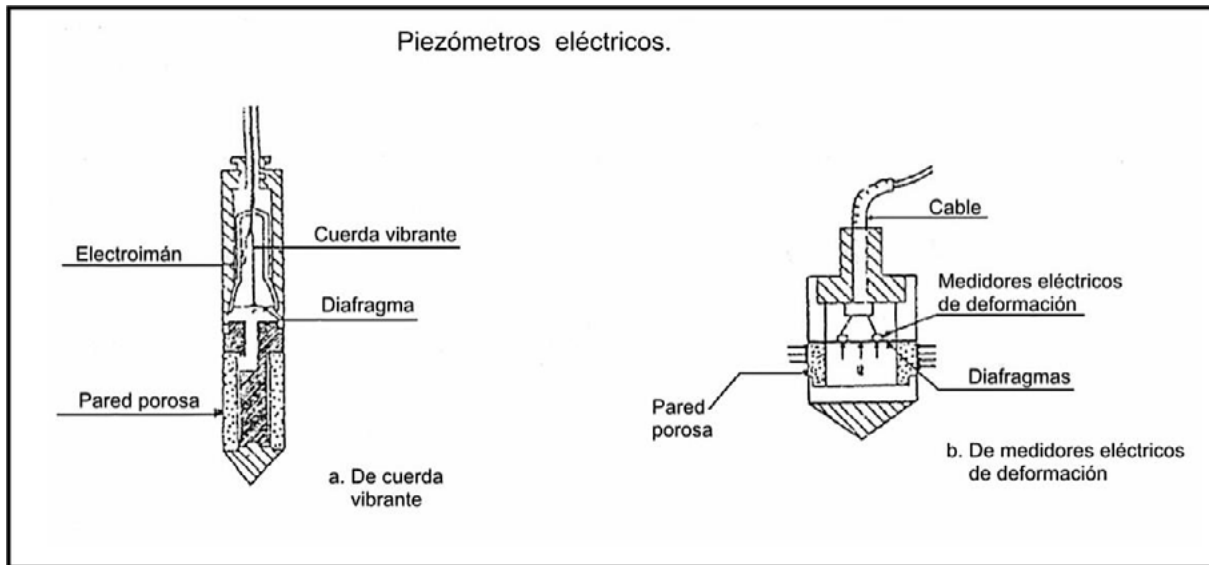


Figura 6.1_125. PIEZÓMETROS ELÉCTRICOS

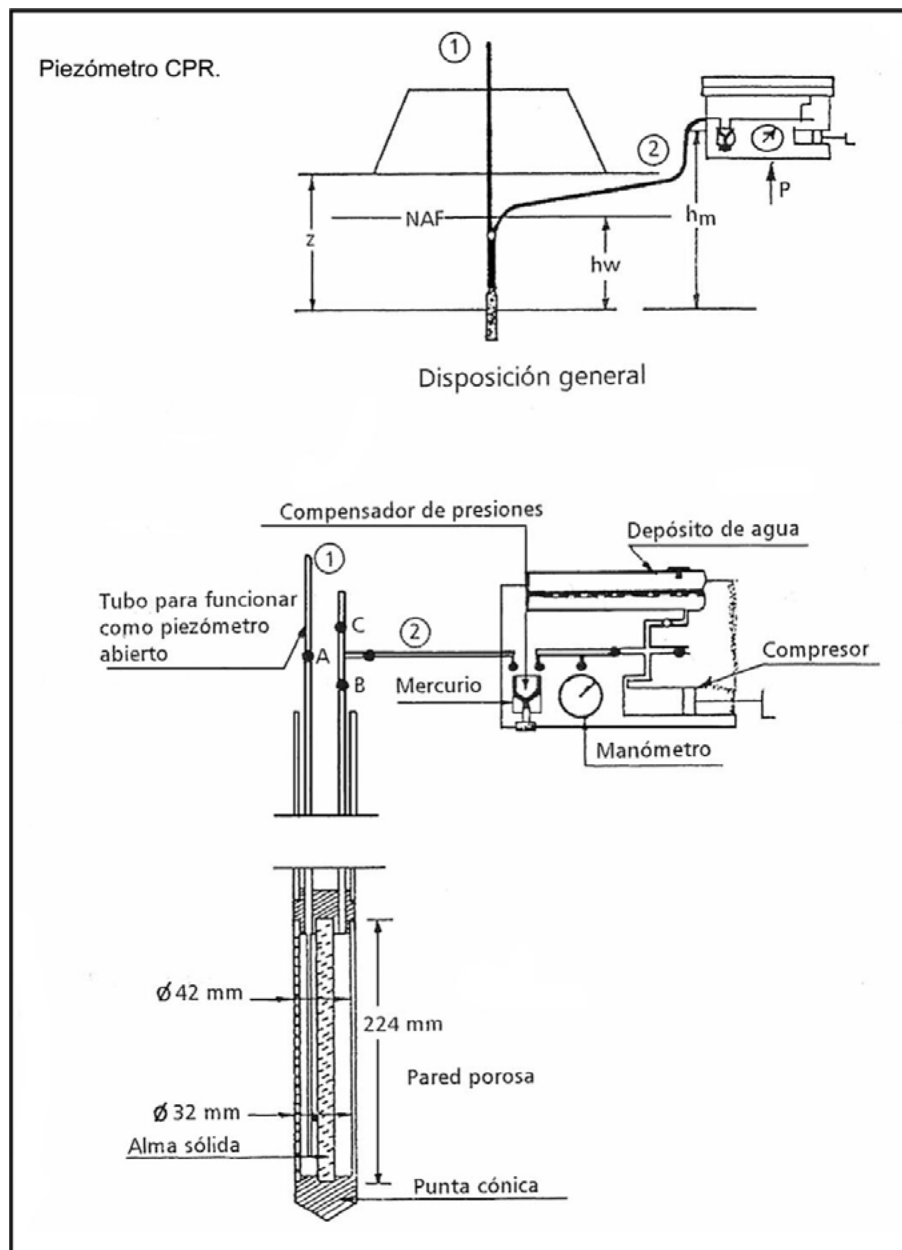


Figura 6.1_126. PIEZÓMETRO CPR

SECCION 6.1.4.7.

CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL DE LOS SUELOS (ASTM D2435 AASHTO T216)

6.1.4.7.1. OBJETO

Este método se refiere al procedimiento para determinar la tasa y la magnitud de la consolidación de muestras de suelos cuando se confinan lateralmente y se cargan y drenan axialmente.

6.1.4.7.2. DEFINICIONES

1. Consolidación inicial (CI)

Reducción casi instantánea en el volumen de la masa de un suelo bajo una carga aplicada, que precede a la consolidación primaria, debida principalmente a la expulsión y compresión del aire contenido en los vacíos del suelo.

2. Consolidación primaria

Reducción en el volumen de la masa de un suelo originada por la aplicación de una carga permanente y la expulsión del agua de los vacíos, acompañada por una transferencia de carga del agua a las partículas sólidas del suelo.

3. Consolidación secundaria

Reducción en el volumen de la masa del suelo, causada por la aplicación de una carga permanente y el acomodo de la estructura interna de su masa, luego de que la mayor parte de la carga ha sido transferida a las partículas sólidas del suelo.

6.1.4.7.3. USO Y SIGNIFICADO

La compresibilidad de los suelos determinada mediante este método, es una de las propiedades más útiles que pueden obtenerse a partir de ensayos de laboratorio. Los datos que resultan del ensayo de consolidación pueden usarse para hacer un estimativo tanto de la tasa, como de la magnitud del asentamiento diferencial y/o total, de una estructura o de un relleno. Estas apreciaciones suelen tener una importancia decisiva para elegir el tipo de fundación y evaluar su conveniencia.

6.1.4.7.4. EQUIPOS Y MATERIALES

4. Dispositivos de carga

Un dispositivo adecuado para aplicar cargas verticales a la muestra. El dispositivo deberá ser capaz de mantener las cargas especificadas durante períodos prolongados con una precisión de ± 0.5 % de la carga aplicada y deberá permitir la aplicación de un incremento de carga, dentro de un período de 2 segundos sin que se produzca ningún impacto de significación.

5. Consolidómetro

Un dispositivo para mantener la muestra dentro de un anillo el cual puede estar fijado a la base o puede ser flotante (sostenido por fricción sobre la periferia de la muestra), con piedras poro-

sas sobre cada cara de la muestra. El consolidómetro deberá proporcionar también medios para sumergir la muestra, aplicar la carga vertical, y medir el cambio de espesor de la misma. El anillo del consolidómetro deberá cumplir con los siguientes requisitos:

- a) El diámetro mínimo de la muestra (anillo), deberá ser de 50 mm (2.00") y al menos 5 mm (1/4") menor que el diámetro interior del tubo de muestreo, si las muestras son sacadas por extrusión y desbastadas.
- b) El espesor mínimo de la muestra deberá ser de 13 mm (0.5") pero deberá ser mayor de 10 veces el diámetro de la partícula de mayor tamaño.
- c) La relación mínima del diámetro al espesor de la muestra deberá ser 2,5.
- d) La rigidez del anillo deberá ser tal, bajo las condiciones de la presión hidrostática de la muestra, que el cambio del diámetro del anillo no pasará del 0,3 % del diámetro bajo la mayor carga que se aplique.
- e) El anillo deberá elaborarse de un material que no sea corrosivo en relación con el suelo ensayado. La superficie interior deberá estar altamente pulida o deberá pulirse con un material de baja fricción.

Para suelos no arenosos, puede usarse la grasa silicona o el politetrafluoroetileno.

6. Piedras porosas

Las piedras porosas podrán ser de carburo de sílice, o de óxido de aluminio, o de un metal que no sea atacado ni por el suelo, ni por la humedad del mismo. La constitución de su porosidad deberá ser lo suficientemente fina para evitar la intrusión del suelo dentro de sus poros. Si fuera necesario, podrá usarse papel de filtro para evitarlo. Sin embargo, la permeabilidad de éstas y del papel de filtro, cuando se use, deberá ser suficientemente alta para evitar retardo en el drenaje de la muestra. Las piedras deberán estar limpias y libres de grietas, astillas e irregularidades.

- a) El diámetro de la piedra superior podrá ser entre 0,2 y 0,5 mm (0.01 a 0.02") menor que el diámetro interior del anillo. Cuando se emplee un anillo flotante, la piedra del fondo deberá tener el mismo diámetro que la piedra de la parte superior. Se recomienda el uso de piedras ahusadas con el diámetro mayor en contacto con el suelo.
- b) El espesor de la piedra deberá ser suficiente para evitar su rotura. La piedra superior deberá cargarse a través de una platina resistente a la corrosión que deberá ser suficientemente rígida para evitar el rompimiento de la piedra.

7. Almacenamiento

El almacenamiento de muestras selladas deberá ser tal que no pierdan humedad durante el mismo y que no haya evidencia de secamiento parcial ni de contracción de los extremos de la muestra. El tiempo de almacenamiento deberá reducirse al mínimo, particularmente cuando se espera que el suelo o la humedad reaccionen con los tubos de muestreo.

Cuarto húmedo para la preparación de la muestra.- Las muestras deberán prepararse en un cuarto donde el cambio de la humedad no sea mayor de 0,2 %. Debe emplearse preferiblemente una cámara con humedad elevada.

8. Temperatura

Los ensayos deberán efectuarse en un ambiente donde las fluctuaciones de la temperatura no sean mayores que ± 4 °C (± 7 °F) y donde no haya contacto directo con la luz del sol.

9. Cizalla ó cortador cilíndrico, para tallar la muestra hasta el diámetro interior del anillo del consolidómetro, con el mínimo de alteración. El cortador deberá tener una superficie altamente pulida y deberá cubrirse con un material de baja fricción.
10. Balanza, con precisión de 0,1 g ó, a 0,1% del peso total de la muestra.
11. Horno, que pueda mantener una temperatura uniforme de $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ} \text{F}$).
12. Deformímetro, para medir el cambio de espesor de la muestra con una precisión de 0,0025 mm (0.0001”).
13. Equipo misceláneo: incluye espátulas, navajas y sierras de alambre para la preparación de la muestra. Además, cronómetro (ojalá con alarma programable).
14. Recipientes para el contenido de humedad
15. Un trapo húmedo, una membrana de caucho, o papel parafinado para proteger la muestra de pérdida de humedad debido a la evaporación.



Figura 6.1_127. Equipo de Consolidación

6.1.4.7.5. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. TOMA DE MUESTRAS

Deberán obtenerse y emplearse muestras relativamente inalteradas para el ensayo de consolidación a causa de que la utilidad de los resultados del mismo disminuye grandemente con la alteración de la muestra. **Los Métodos S0207, a S0209**, cubren procedimientos y equipo que deben usarse para obtener muestras satisfactorias para los ensayos.

B. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

16. La muestra se prepara en un ambiente conforme al numeral 7. La muestra se moldeará de acuerdo con el interior del diámetro del consolidómetro, forzándola directamente dentro del mismo. Se cortará cuando haya que emparejarla con la superficie plana del anillo. En suelos blandos a medianos, deberá usarse una sierra de alambre para cortar la parte superior e inferior de la muestra con el fin de disminuir las zonas con agrietamientos. Una regla con un borde cortante podrá usarse para el corte final después de que el exceso de suelo haya sido removido con una sierra de alambre. Para suelos duros, una regla con borde cor-

tante podrá usarse simplemente para perfilar el fondo y la parte superior. Si se desea, el espesor de la muestra podrá hacerse menor que la altura del anillo mediante extrusión y corte, pero deberá cumplirse con el espesor mínimo de la muestra a que se refiere el numeral 5. Un anillo para muestreo con el borde cortante debidamente acondicionado proporciona el ajuste más adecuado, en muchos suelos.

Deberán tomarse precauciones para disminuir la alteración del suelo o los cambios en la humedad y peso unitario durante el transporte y preparación de la muestra, y deberá evitarse para la misma cualquier vibración, distorsión y compresión.

17. Suelos orgánicos o fibrosos, como la turba y demás suelos que pueden dañarse fácilmente al ser recortados, deberán transferirse directamente del tubo muestreador al anillo, con la condición de que éste tenga el mismo diámetro de aquél.
18. Podrán emplearse muestras obtenidas mediante un tubo muestreador de camisa interior, siempre y cuando cumplan con las exigencias del **Método 6.1.2.7**, y con el método aquí descrito. En seguida, se determinará el peso de la muestra dentro del anillo de consolidación.

6.1.4.7.6. CALIBRACIÓN

19. Para su calibración ármese el consolidómetro con un disco de cobre o de acero duro aproximadamente de la misma altura que la muestra de ensayo y de 1 mm (0,04") menor que el diámetro del anillo en el sitio de la muestra. Humedézcanse las piedras porosas y si se usan filtros de papel (véase numeral 6), deberán humedecerse igualmente y dejar tiempo suficiente para permitir que la humedad salga de ellos durante el proceso de calibración.
20. Cárguese y descárguese el consolidómetro como si se tratara del ensayo y médase la deformación para cada carga aplicada.
21. Dibújense o tabúlense las correcciones que puedan aplicarse a las deformaciones de la muestra de ensayo para cada carga aplicada. Nótese que el disco de metal puede deformarse también. Sin embargo, la corrección debida a 21. Esta deformación será despreciable para todos los suelos, excepto para los extremadamente duros. Si fuere necesario, podrá calcularse la compresión del disco de metal y aplicarse a las correcciones.

6.1.4.7.7. DETERMINACIONES PREVIAS AL ENSAYO

22. Deberán determinarse previamente al ensayo de consolidación, las determinaciones del contenido natural de humedad, peso, volumen, peso específico, límite líquido y límite plástico, y granulometría del suelo.
23. Úsese el material cortado adyacente a la muestra (véase "Preparación de la muestra") para determinar el contenido natural de humedad y el peso específico de acuerdo con el **Método 6.1.3.1. y 6.1.3.7.**, respectivamente. Determínese el peso inicial de la muestra húmeda substrayendo el peso del anillo del peso combinado del anillo y de la muestra, así como el volumen inicial de la muestra a partir del diámetro y del espesor de la misma. El contenido de la humedad de los recortes de suelo es aproximado pero permite determinar la relación de vacíos antes de completar el ensayo. La determinación exacta del peso seco de la muestra y de la humedad deberá efectuarse al final del ensayo, cuando se seque la muestra entera. Este procedimiento deberá ser usado, a menos que se necesite una porción de la muestra para los ensayos índices (véase numeral 33). En cuando al peso específico, podrá estimarse cuando no se necesite una relación de vacíos más exacta.

24. El límite líquido, el límite plástico y la granulometría, son útiles para identificar el suelo y para correlacionarlo. Se recomienda que los límites líquido y plástico sean determinados sobre recortes o sobre porciones representativas de la muestra del ensayo si el suelo exhibe una heterogeneidad significativa.

6.1.4.7.8. PROCEDIMIENTO

25. El objetivo de la preparación de las piedras y de los restantes elementos antes de que se pongan en contacto con la muestra es el de evitar cambios en el contenido de humedad de ésta. En esta forma, suelos altamente expansivos, muy secos, deberán colocarse sobre piedras secas, pero muchos suelos parcialmente saturados podrán colocarse sobre piedras que hayan sido simplemente humedecidas.
26. Si la muestra está saturada y si no se cree que tenga una elevada afinidad con el agua, deberán hervirse las piedras porosas después de limpiarlas con un cepillo no abrasivo y mantenerse saturadas hasta cuando se pongan en contacto con la muestra. Ármese el anillo, la muestra y las piedras porosas. Con el conjunto del consolidómetro ensamblado, envuélvase la muestra, el anillo, el papel de filtro (cuando se use) y las piedras porosas con un plástico suelto o con una membrana de caucho para evitar el cambio en el volumen de la muestra por evaporación. Podrá omitirse esta etapa cuando la muestra se inunde después de aplicado el primer incremento de carga como se prevé en el numeral 34.



Figura 6.1_128. Espécimen a Examinar



Figura 6.1_129. Inundación de carga

27. Colóquese el consolidómetro en el dispositivo de carga y aplíquese una carga de asentamiento de 5 kPa (0,05 kg/cm²) o de 100 lb/pie². Dentro de los cinco minutos siguientes a la aplicación de ésta, ajústese el deformímetro para la lectura inicial o para la lectura de cero. Para los suelos muy blandos es deseable por lo menos una presión de (0,025 kg/cm² o 2 o 3 kPa, alrededor de 50 lb/pie²).
28. Colóquense cargas sobre el consolidómetro para obtener presiones sobre el suelo de aproximadamente 0,025; 0,05; 0,1; 0,2; 0,4 kg/cm² etc. o de 5; 10; 20; 40; 80; etc. kPa, o (100, 200; 400; 800; 1.600, etc. lbf/pie²), con cada carga mantenida constante como se describe en el numeral 30 (pueden requerirse incrementos más pequeños sobre muestras muy blandas o cuando se desee determinar con mayor precisión la carga de preconsolidación). El proceso del cargue de la muestra deberá continuarse dentro de la zona de la compresión virgen de manera que pueda apreciarse la forma de la curva en la parte correspondiente a éste.

Típicamente, una carga final igual o cuatro veces mayor que la de preconsolidación de la muestra puede ser requerida con este fin. En particular en el caso de arcillas preconsolidadas, puede

ser deseable un ciclo de carga-descarga para evaluar mejor los parámetros de recompresión, pero dicho procedimiento es opcional.



Figura 6.1_130. Consolidómetro



Figura 6.1_131. Procesos de Cargas

29. Al menos para dos incrementos de carga incluido uno que exceda la preconsolidación, anótese el espesor de la muestra o el cambio de ésta antes de aplicar cada incremento y con intervalos de aproximadamente 0,1; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8; 15 y 30 minutos, 1; 2; 4; 8; etc. horas, contados a partir del momento cuando se aplicó la carga. Estas lecturas de tiempo-asentamiento sólo son requeridas para muestras saturadas. Las lecturas deberán continuarse por lo menos hasta que se haga patente la pendiente de la compresión lineal secundaria característica del asentamiento, contra el logaritmo del tiempo (véase el numeral 35), a menos que se use el método del numeral 40.
30. En cuyo caso, la carga siguiente pueda aplicarse tan pronto como se complete el 100 % de la consolidación. Para suelos con una baja consolidación primaria, las cargas deberán mantenerse por lo menos durante 24 horas. En casos extremos o cuando quieran evaluarse las características de consolidación secundaria, deberán aplicarse durante un período más largo. Se aplica luego el incremento siguiente de carga. Cuando no se requieran datos de tiempo contra asentamiento deberá mantenerse la carga sobre la muestra esencialmente durante el mismo tiempo que cuando se hacen lecturas del tiempo contra cada deformación. Deberá disponerse de suficientes lecturas cerca del final del período del incremento de carga para permitir cualquier extrapolación de la curva de tiempo vs. asentamiento.



Figura 6.1_132. Toma de Lectura



Figura 6.1_133. Disminución de Carga

31. Cuando se vayan a dibujar las deformaciones contra la raíz cuadrada del tiempo, los intervalos pueden ajustarse a aquellos que correspondan a raíces cuadradas, como por ejemplo 0,09, 0,25, 0,49, 1 minuto, 4 minutos, 9 minutos, etc.

32. Rebote. Cuando se deseen conocer las características del rebote o de la descarga, deberá descargarse el suelo mediante reducciones de la carga en orden inverso. Sin embargo, si se desea, cada carga sucesiva puede ser tan sólo un cuarto de la carga que la precede. Regístrense los intervalos de tiempo como se sugirió en el numeral 28. Nótese, sin embargo, que para muchos suelos el rebote se completará en menor tiempo del que había sido requerido para un incremento de carga durante la consolidación primaria, pero deberán hacerse suficientes lecturas para verificar que el rebote esté esencialmente completo.
33. Como alternativa, podrá emplearse un programa de carga, descarga y recarga, que reproduzca los cambios de esfuerzos que se presentarán durante la construcción, o que obtenga una mejor definición de alguna parte de la curva de carga-asentamiento, o que ayuden a la interpretación del comportamiento del suelo en el terreno. Esto deberá indicarse claramente en los resultados del ensayo.
34. Si el ensayo se efectúa sobre una muestra inalterada saturada bajo las condiciones del terreno o que haya sido obtenida por debajo del nivel freático, deberá inundarse antes de aplicar el primer incremento de carga. A medida que ocurra la inundación y el humedecimiento de la muestra, deberá aumentarse la carga cuando fuere necesario, para evitar que se expanda, a menos que ésta tienda a hincharse bajo la carga vertical estimada en el sitio. Si la muestra se comprime después de inundada, anótese simplemente la magnitud de la compresión. También pueden inundarse las muestras a presiones que simulen una situación futura bajo las condiciones del terreno. En tales casos, la presión de inundación y cualquier efecto resultante, como la expansión o el aumento de la compresión, deberán anotarse en los resultados del ensayo.
35. Puede aplicarse contrapresión para la saturación si así se desea y cuando el consolidómetro está capacitado para ello. La contrapresión deberá estimarse como sigue:

En unidades del sistema internacional (SI):

$$p \left(\frac{kg}{cm^2} \right) = \frac{\text{Profundidad de la muestra por debajo del nivel freático, (m)} \times 100 \text{ kg/m}^3}{10000 \text{ cm}^2/\text{m}^2}$$

En unidades del sistema inglés:

$$p \left(\frac{lb}{pulg^2} \right) = \frac{\text{Profundidad de la muestra por debajo del nivel freático, (pies)} \times 62.4 \text{ lb/pie}^3}{144 \text{ pulg}^2/\text{pie}^2}$$

- e. Aplíquese la contrapresión mediante incremento cada 30 minutos de manera que la aplicación total se cumpla en 6 horas. La contrapresión deberá mantenerse mientras tiene lugar la saturación de la muestra (aproximadamente 3 días).

6.1.4.7.9. CÁLCULOS

36. A partir de los incrementos de carga para los cuales se obtienen las lecturas del tiempo, dibújense las curvas: deformación contra el logaritmo del tiempo (en minutos) y contra la raíz cuadrada del tiempo, (en minutos), por cada incremento de carga a medida que progrese el ensayo, y para los decrementos del rebote.
37. Hállese el asentamiento que representa el 100 % de la consolidación primaria para cada incremento de carga. Dibújese primero una línea recta a través de los puntos que representan las lecturas finales y que exhiben una tendencia recta y una inclinación suave. Dibújese una segunda recta tangente a la parte más pronunciada de la curva de log. de tiempo vs. asentamiento. La intersección representa el asentamiento primario. Corrijase la deforma-

ción para el 100 % de acuerdo con los resultados de la calibración (véase “Calibración”). La consolidación que ocurra después del 100 % de la consolidación primaria se define como consolidación secundaria.

38. Hállese la deformación que representa el 0 % de la consolidación primaria. Para ello, se seleccionan dos tiempos (t_B y t_A) que tengan una relación de 1 a 4 ($t_A = 4 t_B$), de tal manera que la deformación correspondiente al mayor de los dos tiempos será mayor que 1/4 pero menor que 1/2 del cambio total de la deformación para el incremento de carga. La deformación correspondiente al 0 % de la consolidación primaria se obtiene al restar la diferencia de las deformaciones para los dos tiempos t_A y t_B seleccionados, del valor de deformación de t_B .
39. El asentamiento correspondiente al 50 % de la consolidación primaria para cada incremento de carga, es igual al promedio de los asentamientos no corregidos que corresponden al 0 y 100 %. El tiempo requerido para el 50 % de la consolidación bajo cualquier incremento de carga, puede hallarse gráficamente a partir de la curva de asentamiento-log. del tiempo para dicho incremento, observando el tiempo que corresponda al 50 % de la consolidación primaria de la curva.
40. Para cada incremento de carga en el cual se obtuvieron lecturas de tiempo-asentamiento, calcúlese el coeficiente de consolidación, C_v , así:

$$C_v = \frac{0,05 \cdot H^2}{t_{50}}$$

Siendo:

H: Altura de la muestra en metros (pies), para una muestra con drenaje doble al 50% de consolidación.

t_{50} : Tiempo para el 50% de consolidación en años.

C_v : Coeficiente de consolidación en $m^2/año$ ($pies^2/año$)

Si H está en mm. y t. en segundos o minutos, C_v quedará expresado en mm^2/s o mm^2/min , respectivamente, y será preferible hacer la conversión a unidades más convenientes.

41. Puede emplearse un procedimiento alternativo que requiere un gráfico de deformación contra tiempo para determinar los puntos del 0 y 100 % de consolidación, así como el coeficiente de consolidación para cada incremento. La parte inicial de la curva se aproxima mediante una línea recta. Se extrapola la línea hasta $t = 0$. La correspondiente ordenada de deformación representa el 0 % de la consolidación primaria. Se dibuja una segunda línea recta a través de este punto de manera que la abscisa de esta línea sea 1,15 veces la abscisa de la aproximación en línea recta de la parte inicial de la curva. La intersección de esta nueva línea con la curva de deformación-raíz cuadrada del tiempo corresponde al 90 % de consolidación primaria. La deformación al 100 % de la consolidación primaria es 1/9 mayor que la diferencia entre las deformaciones a 0 y 90 % de consolidación. Análogamente, la deformación al 50 % de consolidación primaria es 5/9 de la diferencia en las deformaciones entre el 0 y el 90 % de consolidación.

Las deformaciones correspondientes al 50 % y 100 % de consolidación deberán calcularse así:

$$D_{50} = D_0 + \frac{5}{9}(D_{90} - D_0)$$

$$D_{100} = D_0 + \frac{10}{9}(D_{90} - D_0)$$

D_0 , D_{50} , D_{100} serán las deformaciones correspondientes al 0%, 50 % y 100 % de consolidación.

El coeficiente de consolidación puede hallarse entonces a partir del tiempo del 90 % de consolidación así.

$$C_v = \frac{0,21 H^2}{t_{90}}$$

Donde:

H: Espesor de la muestra en m (pies) para una muestra con drenaje doble.

t_{90} : Tiempo para el 90% de consolidación en años.

C_v : Coeficiente de consolidación, en $m^2/año$ ($pies^2/año$)

Si H está en milímetros y t en segundos o minutos, las unidades de C_v será mm^2/min respectivamente y será conveniente la conversación a unidades más adecuadas. Si se desea, puede emplearse también el método de la raíz cuadrada del tiempo para obtener un valor de t_{90} .

Para cada incremento de carga deberán calcularse, además los siguientes valores:

$$CI = D_{100}(\text{carga anterior}) - D_0(\text{carga analisis})$$

$$CI = D_{100}(\text{carga anterior}) - D_{100}(\text{carga analisis})$$

$$\%CI = \frac{CI}{CT} \times 100$$

Siendo:

CI: Consolidación inicial.

CT: Consolidación inicial.

42. Calcúlese la relación inicial de vacíos, la humedad, el peso unitario y el grado de saturación, con base en el peso seco de la muestra total. El volumen de la muestra se calcula a partir del diámetro y de la altura del anillo. El volumen del suelo se calcula dividiendo el peso seco de la muestra por el peso específico del suelo, multiplicado éste por el peso unitario del agua. Se supone que el volumen de vacíos es la diferencia entre el volumen de la muestra y el volumen de los sólidos.

43. Calcúlese la relación de vacíos correspondiente al 100 % de la consolidación primaria (empleando las lecturas de asentamientos corregidas para cada carga). A manera de alternativa, calcúlese el porcentaje de compresión al 100 % de la consolidación primaria para cada carga a partir de la altura inicial de la muestra. Como segunda alternativa, calcúlese la relación de vacíos (o valores del porcentaje de compresión) empleando los valores de deformación obtenidos después de un intervalo de tiempo escogido, el cual incluirá alguna parte de consolidación secundaria; dicho intervalo deberá ser el mismo para cada incremento de carga. Sin embargo, si el valor de "equilibrio" escogido es diferente al punto del 100 % de la consolidación primaria, deberá incluirse una anotación al respecto con los resultados del ensayo. Es de observar que la segunda alternativa, atrás citada, se traducirá en valores algo más bajos de la carga de preconsolidación que las obtenidas cuando se emplean puntos del 100 % de la consolidación primaria.

6.1.4.7.10. INFORME

El informe deberá incluir lo siguiente:

- a) Identificación y descripción de la muestra, con indicación de si el suelo es inalterado, remoldeado, compactado o preparado de manera diferente.
- b) Humedades inicial y final.
- c) Peso unitario seco y peso unitario húmedo, inicial y final.
- d) Grado inicial de saturación.
- e) Peso específico del suelo o límites de Atterberg y datos de granulometría si se obtuvieron.
- f) Dimensiones de la muestra.
- g) Condiciones del ensayo (humedad natural o con saturación, presión de saturación).
- h) Procedimiento usado para la preparación en relación con el corte: establecer si la muestra fue desbastada, obtenida directamente por extrusión dentro del anillo, o ensayada directamente en un anillo proveniente de un tubo de muestreador.
- i) Incrementos de carga en las cuales se hicieron lecturas de tiempo-asentamiento. Para suelos orgánicos o altamente micáceos, u otros suelos con apreciable consolidación secundaria, es recomendable que el gráfico del log. del tiempo, se extienda de manera que quede incluida la zona de la consolidación secundaria.
- j) Dibújese la curva de relación de vacíos contra el log. de la carga e indíquese en ésta la carga de preconsolidación obtenida mediante el procedimiento gráfico y también el índice de compresión C_c . o pendiente de la parte recta.
- k) Puede dibujarse opcionalmente un gráfico de deformación unitaria contra el \log_{10} de la carga.

Este gráfico es idéntico en cuanto a forma a la curva e vs. $\log_{10} p$; pero la pendiente de la parte recta de la misma se denomina relación de compresión C'_c .
- l) Cuando se desean conocer las características de expansión, deberán dibujarse las mismas curvas que para la consolidación.
- m) En caso de que las lecturas de la tasa de consolidación hayan sido tomadas para varios incrementos de carga, deberá dibujarse un gráfico del coeficiente de consolidación contra el log. de la carga. Deberá anotarse el método usado para el cálculo de C_v . Si inicialmente se obtienen lecturas para algunos incrementos de carga, tabúlense simplemente los valores de C_v contra la carga promedia para el incremento.
- n) Deberán anotarse todas las desviaciones a partir del procedimiento delineado, incluyendo secuencias especiales de cargas. Por ejemplo, puede ser deseable inundar y cargar la muestra de acuerdo con la trayectoria de humedecimiento y carga esperada en el terreno. Relaciones más pequeñas que los incrementos normales de carga pueden ser deseables también para suelos altamente sensibles o cuyo comportamiento dependa en gran parte de la tasa de deformación.

6.1.4.7.11. PRECISIÓN

En "Equipos y materiales" de este método se especifica la precisión de las mediciones de carga y deformación. La precisión correspondiente de los esfuerzos aplicados y de la deformación re-

sultante en la muestra puede calcularse a partir de las dimensiones de ésta. La precisión con la cual los resultados de ensayo puedan aplicarse al terreno varía de un caso a otro y depende de:

- a) Calidad de las muestras empleadas.
- b) Del número de muestras ensayadas.
- c) De la distribución vertical y horizontal de las muestras ensayadas.
- d) De la heterogeneidad del perfil de suelos en el sitio.

Es necesario un método estadístico que incluya tanto el programa de muestreo como los resultados el ensayo para establecer de manera significativa la precisión con la cual pueden aplicarse los resultados en el campo. A falta de un análisis de esta naturaleza, puede estimarse la aplicabilidad de los resultados en el terreno de una manera cualitativa, teniendo en cuenta la variación en los resultados de los ensayos y las variaciones en los sondeos. Puede notarse, en general, que la precisión de las predicciones de asentamientos con base en ensayos de consolidación aumenta (sobre la base de un porcentaje) con la compresibilidad del suelo.

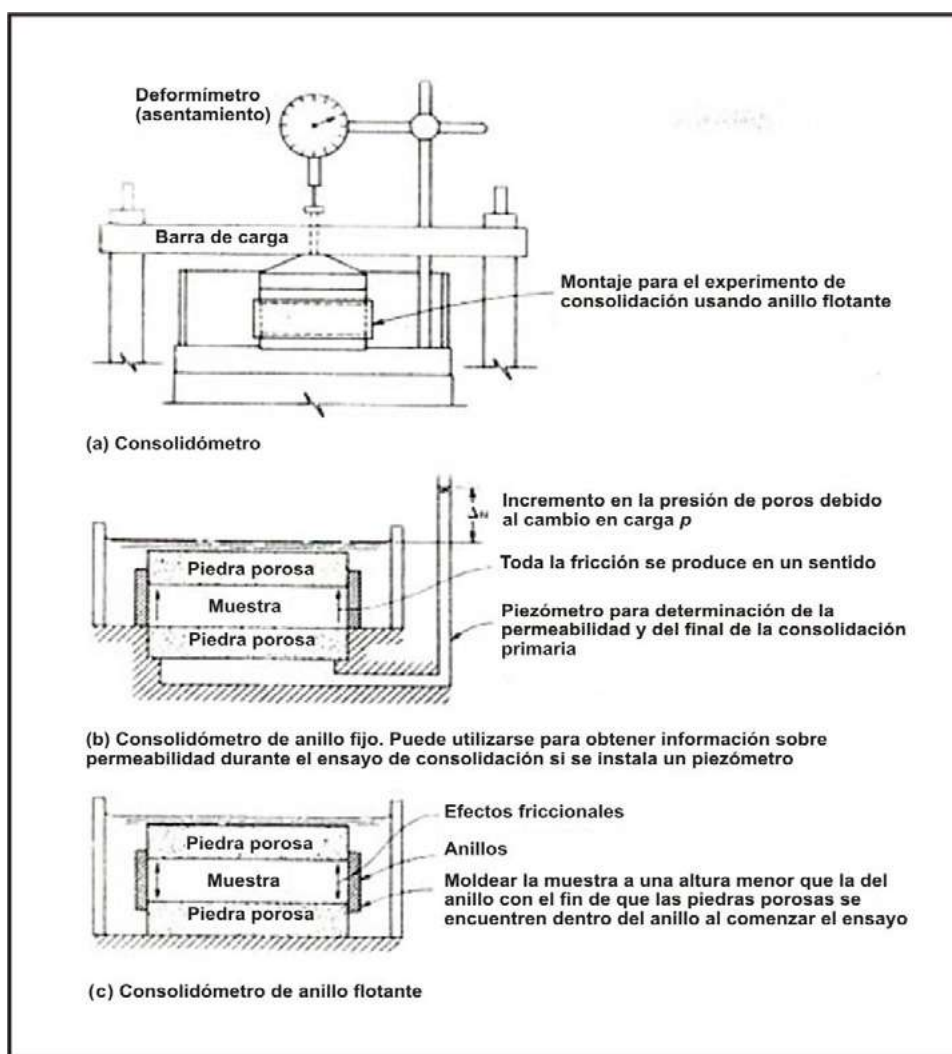


Figura 6.1_134. DETALLES DEL MONTAJE DE ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN TÍPICO

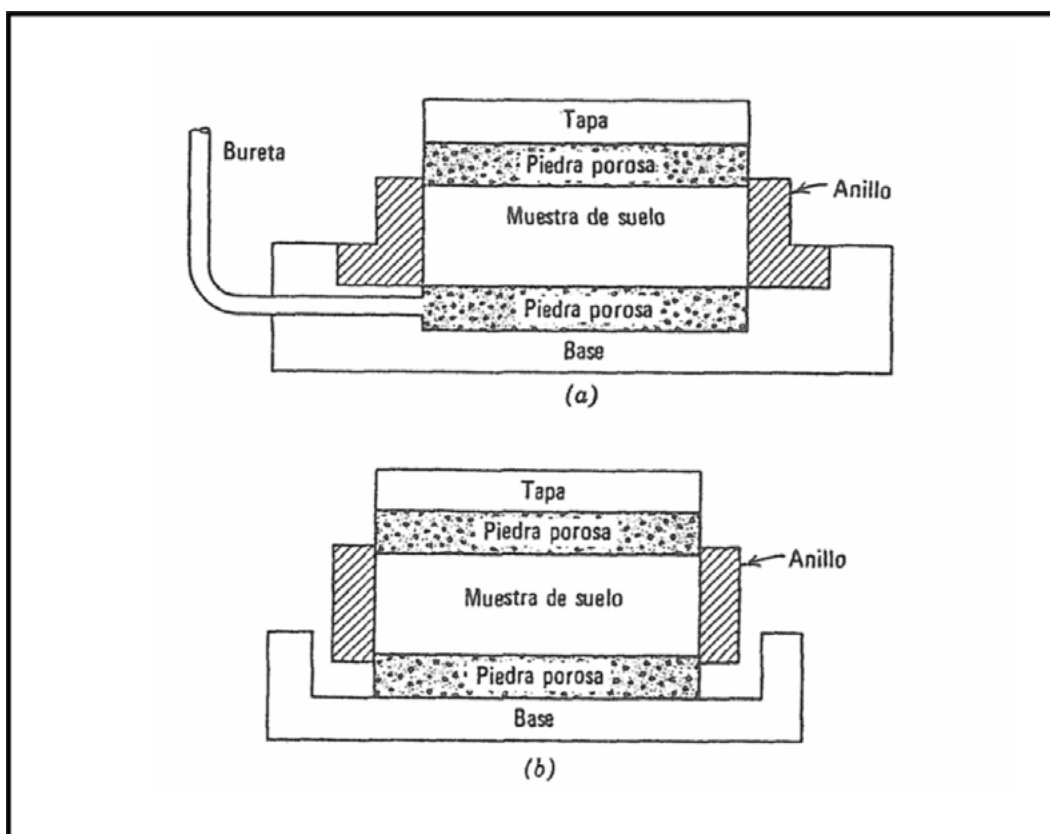


Figura 6.1_135. FORMAS HABITUALES DE ODÓMETROS, A) DE ANILLO RIGIDO, B) DE ANILLO FLOTANTE

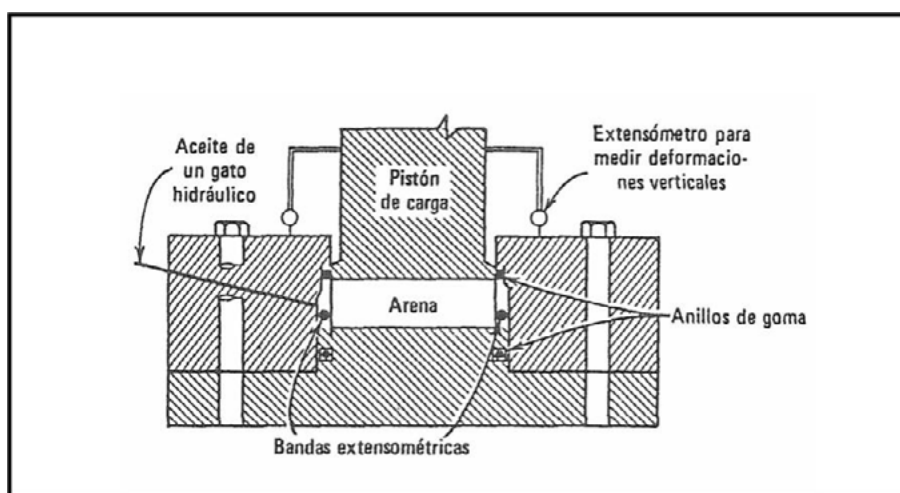


Figura 6.1_136. ODÓMETRO ESPECIAL QUE PERMITE MEDIR PRESIONES LATERALES

SECCION 6.1.4.8.

COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS (ASTM D2166 AASHTO T208)

6.1.4.8.1. OBJETO

El objeto de este método es indicar la forma de realizar el ensayo para determinar la resistencia a la compresión confinada de suelos cohesivos bajo condiciones inalteradas o remoldeadas, aplicando carga axial, usando cualquiera de los métodos de resistencia controlada o deformación controlada. Este ensayo se emplea únicamente para suelos cohesivos, ya que en un suelo carente de cohesión no puede formarse una probeta sin confinamiento lateral.

Resistencia a la compresión confinada, es la carga por unidad de área a la cual una probeta de suelo, cilíndrica o prismática, falla en el ensayo de compresión simple.

6.1.4.8.2. EQUIPOS Y MATERIALES

- Aparato de Compresión: conformado por una prensa para rotura de las probetas, de velocidad controlada manual o mecánicamente, con capacidad suficiente para llegar a la carga de rotura. El dispositivo de medida de la fuerza aplicada debe tener una precisión del 1 % de la resistencia a la compresión simple de la muestra ensayada.
- Extractor de muestras: capaz de sacar corazones de suelos; si las muestras llegan al laboratorio en tubos no abiertos longitudinalmente, es preciso que produzca poca alteración en el suelo.
- Un torno con motor o tallador de probetas de muestras inalteradas con accesorios (sierra de alambre, cuchillos, caja de ingletes, etc.).
- Moldes para preparar probetas de suelo amasado o compactado.
- Aparatos para determinar la humedad de la muestra según se indica en el **Método 6.1.3.1.**
- Un cronómetro, si el control de la prensa es manual.
- Un calibrador con nonio capaz de medir las dimensiones físicas de la probeta con precisión de 0,1 mm.
- Balanzas que den el peso de la muestra con una precisión del 0,1 % de su peso total.
- Horno capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ($230^\circ \pm 41 \text{ }^\circ\text{F}$).



Figura 6.1_137. Equipos Requeridos para el Ensayo

6.1.4.8.3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. DIMENSIONES Y LIMITACIONES DE LA PROBETA

La probeta debe ser de sección aproximadamente constante, circular o cuadrada, y eje perpendicular a dicha sección. Su diámetro o lado no debe ser inferior a 35 mm (1,4”) y en suelos que presentan discontinuidades se recomienda que sea de mayor tamaño. La mayor partícula contenida en su interior debe ser, como máximo, igual a 1/10 del diámetro o lado. Si, una vez terminado el ensayo, se encuentran partículas mayores que dicho tamaño, se hará constar esto, junto con los resultados.

Para muestras con diámetro igual o mayor de 71,1 mm, el tamaño de la partícula deberá ser menor a 1/6 del diámetro o lado.

La relación longitud-diámetro de las muestras para el experimento debería ser suficientemente grande para evitar interferencias de planos potenciales de falla a 45° y suficientemente corta para no obtener falla de “columna”. La relación L/d que satisface estos criterios es:

$$2 < L/d < 3$$

- a) El término probeta se aplica a la muestra ya tallada. Cuando la altura no cumpla con las dimensiones indicadas, deberá anotarse en el Informe.
- b) La dimensión longitudinal de la probeta cortada debe coincidir con la dirección vertical de la muestra original.

B. PROBETAS INALTERADAS

Si se trata de muestras de tubo, hay que manejarlas con gran cuidado para evitar su alteración, cambios en la sección transversal o la pérdida de humedad.

- a) Si se teme que el dispositivo de extracción pueda dañar la muestra, puede hendirse el tubo longitudinalmente o cortarlo en trozos más pequeños para facilitar la extracción de la muestra sin alterarla.
- b) Si se trata de arcilla no dura, se recomienda, cuando sea posible, tallar la muestra para eliminar las zonas alteradas próximas a las paredes del tubo. En general, deben desecharse las partes alteradas de la muestra.
- c) En caso de disponerse de cámara húmeda, las operaciones de tallado deben realizarse en ella con el fin de que el suelo permanezca el menor tiempo posible expuesto a la pérdida de humedad. Puede emplearse un torno o tallador como el descrito en 5, y para recortar los extremos la sierra de alambre y una caja de ingletes. Para evitar el desarrollo

de fuerzas capilares que se consideren importantes, en cuanto una probeta haya sido cortada, se envuelve en papel celofán o encerado, o se coloca en un recipiente hermético a menos que inmediatamente se realice el ensayo. Si lo que queda de la muestra inalterada original se va a usar otra vez, debe cubrirse nuevamente.

d) Cuando los extremos de la probeta quedan irregulares debido a la existencia de piedras, desmoronamiento de la muestra, etc., se deben igualar las caras rellenando los pequeños agujeros con suelo de los cortes. Si se trata de muestras duras, es conveniente refrentar las caras de modo que queden perfectamente paralelas. Esto puede hacerse mediante un corte de precisión o añadiendo una cápita de azufre o material duro análogo en un “refrentador”.

e) Se determina el peso de las probetas y separadamente se toma una muestra para determinar la humedad. El peso debe excluir la capa de material utilizado para refrentar la probeta.

C. PROBETAS REMOLDEADAS

Si se desea ensayar una muestra de arcilla saturada “remoldeada”, por ejemplo para determinar la sensibilidad, se procede del siguiente modo: se amasa perfectamente el suelo de modo que se destruya completamente su estructura anterior. Si se desea conservar la humedad que tenía la muestra original, es conveniente envolver el material en una membrana de caucho fino durante esta operación.

a) Para formar el espécimen puede emplearse un tubo metálico cilíndrico hueco de altura algo mayor que el doble del diámetro, en cuyo interior penetra un cilindro de madera del mismo diámetro que la probeta, cubierto con un disco de aluminio. Las paredes del tubo hueco se deben lubricar con vaselina.

b) La probeta se moldea contra el disco de aluminio, y se hace retroceder el cilindro de madera a medida que se añade más arcilla. Hay que tener cuidado de que no se introduzca aire en la probeta durante esta operación, con el objeto de mantener el grado de saturación anterior al amasado. Cuando dentro del tubo haya un cilindro de arcilla de altura un poco superior al doble del diámetro, se empuja el cilindro de madera en sentido contrario para extraer la muestra.

c) Para efectos de este método, la sensibilidad se define como el cociente entre la resistencia a la compresión simple de la muestra inalterada y la resistencia a la compresión simple de la muestra remoldeada sin pérdida de humedad. Como es inevitable que durante las operaciones citadas la muestra pierda algo de humedad, puede ser conveniente realizarlas con las manos algo húmedas, o bien obtener la resistencia de la muestra remoldeada a partir de un gráfico que relacione la resistencia y la humedad en dichas muestras.

En muchos casos, puede ser conveniente remoldear la muestra con los mismos restos de la inalterada una vez rota. En tales circunstancias, no es posible hallar la humedad en la muestra inalterada con la totalidad de la probeta.

D. PROBETAS COMPACTADAS

También puede compactarse una muestra en un molde a una humedad y peso unitario prefijado. Después que la probeta se haya formado, se le cortan extremos perpendiculares al eje longitudinal, se extrae del molde y se determinan su peso y dimensiones.

La experiencia indica que es difícil manejar, compactar y obtener resultados válidos con probetas que tienen un grado de humedad superior al 90 % de la saturación de la muestra de suelo.



Figura 6.1_138. Instrumentos necesarios para preparación de muestras para el ensayo

6.1.4.8.4. PROCEDIMIENTO

- a. Se miden la altura y el diámetro o lado de la probeta, con una precisión de 0,1 mm mediante un calibrador con nonio o un objeto análogo.



Figura 6.1_139. Lectura de la altura inicial



Figura 6.1_140. Lectura del diámetro

- b. En probetas de gran tamaño puede adoptarse una precisión menor y proporcional al tamaño de la muestra.
- c. Se pesa la muestra.
- d. Se coloca la probeta en la prensa de modo que quede perfectamente centrada. Se acciona el dispositivo de avance lo estrictamente necesario para que la probeta toque a la placa superior de la prensa. Se pone en cero el indicador de deformaciones.
- e. El ensayo podrá hacerse controlando la deformación o controlando la carga.



Figura 6.1_141. Pesada de la muestra



Figura 6.1_142. Probeta colocada en el Disco Espaciador



Figura 6.1_143. Marcado del Disco Espaciador

- f. Para el caso de la deformación controlada, se acciona la prensa de modo que la velocidad de deformación unitaria de la probeta esté comprendida entre $\frac{1}{2}$ % y 2% por minuto. Se toman medidas de las deformaciones y de las cargas cada 30 segundos hasta que las cargas comiencen a disminuir o hasta llegar a una deformación axial del 20% (lo que antes suceda). Se escogerá una velocidad en que la rotura ocurra en un lapso entre 1 y 10 minutos.
- g. En el caso de materiales muy blandos que exhiben deformaciones mayores a la falla, deberán ensayarse a una tasa mayor de deformación y lo inverso para los materiales duros o quebradizos.



Figura 6.1_144. Velocidad de aplicación de carga



Figura 6.1_145. Probeta deformada (ocurrencia de falla)

- h. Si se trata de una probeta de suelo muy duro, en la cual la deformación a la rotura sea muy pequeña, la curva esfuerzo-deformación no quedará debidamente representada en dicho gráfico.
- i. En ese caso, es posible desprestigiar el aumento de sección durante la carga.
- j. Cuando interesa hallar el módulo de deformación en probetas de suelo muy duro, es conveniente medir la deformación mediante extensómetros o por otro procedimiento que elimine las deformaciones en la base.
- k. Cuando se empleen esfuerzos controlados, se aplicará la carga para que produzca una deformación axial a una tasa de $\frac{1}{2}$ % a 2% por minuto y se registrarán los esfuerzos y las deformaciones cada 30 seg.



Figura 6.1_146. Toma de las Lecturas Reportadas por el Ensayo

- l. La tasa de deformación se regulará en tal forma que la falla de probetas sin refrentar nunca sobrepase de 10 minutos. La carga deberá proseguirse hasta que decrezcan los valores de la carga con el aumento de sección que se produce en la probeta durante la rotura, lo cual se traduce en una disminución del esfuerzo aplicado.
- m. Hágase un esquema de la forma de rotura. Si la rotura se produce a través de un plano inclinado, es conveniente medir el ángulo de inclinación de dicho plano.
- n. De la parte de la probeta en donde se ha producido la rotura se toma una pequeña muestra en el recipiente y se determina su humedad. También se determina la humedad de toda probeta, anotando los pesos y haciendo las operaciones que se indican en la hoja de cálculos.



Figura 6.1_147. Pesada de la Muestra Ensayada

6.1.4.8.5. CÁLCULOS

La deformación unitaria, se calculará con la siguiente fórmula:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Siendo:

- ε : Deformación unitaria axial para la carga dada.
- ΔL : Cambio en longitud de la muestra, igual al cambio entre la lectura inicial y final del indicador de deformación.

L_0 : longitud de la muestra.

Calcúlese la sección transversal promedio de la muestra, A , para una carga dada así:

$$A = \frac{A_0}{(1 - \varepsilon)}$$

Siendo:

ε : Deformación unitaria axial para la carga dada.

A_0 : Área inicial promedio de la probeta.

$$A_0 = \frac{(A_t + A_m + A_b)}{3}$$

A_t : Área en la parte superior de la probeta.

A_m : Área en la parte media de la probeta.

A_b : Área de la parte inferior de la probeta.

El área A , puede calcularse alternativamente a partir de dimensiones obtenidas por medición directa, cuando pueden medirse las superficies de la probeta.

Es útil preparar un gráfico que dé para cada deformación el área corregida correspondiente, de acuerdo con los diámetros iniciales de las muestras que se empleen en el ensayo.

Calcúlese el esfuerzo, c :

$$\sigma_c = \frac{p}{A}$$

Donde:

p : carga aplicada dada.

A : Área de la sección promedio correspondiente.

Prepárese un gráfico que muestre la relación entre el esfuerzo (ordenada) y la deformación unitaria (en las abscisas). Tómese el valor mayor de la carga unitaria o el que corresponda al 20% de deformación, el que ocurra primero entre las dos, e infórmese como resistencia a la compresión inconfina. Siempre que se considere necesario para una interpretación adecuada, se incluirá el gráfico correspondiente en el Informe.

La resistencia a la compresión inconfina se emplea también para calificar la consistencia del suelo como muy blanda, blanda, mediana, firme, muy firme y dura de acuerdo con el valor obtenido en la siguiente forma:

Consistencia del suelo	Resistencia a la compresión inconfina	
	Kg/cm ²	(kPa)
Muy blanda	< 0,25	(< 25)
Blanda	0,25 – 0,50	(25 - 50)
Mediana	0,50 – 1,00	(50 - 100)
Firme	1,00 – 2,00	(100 - 200)
Muy firme	2,00 – 4,00	(200 - 400)
Dura	> 4,00	(> 400)

Mediante el peso y la humedad de la probeta se calcula el peso unitario según se indica en la hoja de cálculos.

6.1.4.8.6. INFORME

El informe deberá incluir lo siguiente:

- Resistencia a la compresión inconfiada.
- Tipo y tamaño del espécimen.
 - a) Inalterado
 - b) Compacto
 - c) Remoldeado
 - d) Cilíndrico o Prismático
- Relación altura-diámetro
- Descripción visual: Nombre del suelo, símbolo, etc.
- Peso unitario inicial, humedad y grado de saturación (si se saturó en el laboratorio, anótese el grado alcanzado).
- Deformación promedio a la falla, en porcentaje.
- Tasa promedio de deformación a la falla, en porcentaje, y Observaciones. Anótese cualquier condición no usual u otros datos que se consideren necesarios para interpretar adecuadamente los resultados.

6.1.4.8.7. PRECISIÓN

Actualmente no existe un método que permita evaluar la precisión de un grupo de ensayos sobre muestras inalteradas, debido a la variabilidad de las probetas. Muestras de suelo inalterado de depósitos aparentemente homogéneos procedentes del mismo lugar, a menudo presentan diferentes resistencias y relaciones esfuerzo-deformación.

Aún no se ha desarrollado un método de ensayo y un procedimiento de preparación de muestras, para la determinación de la discrepancia de diferentes laboratorios, debido a la dificultad para producir probetas de suelos cohesivos idénticas. No es posible hacer estimación de la precisión en este método de ensayo.

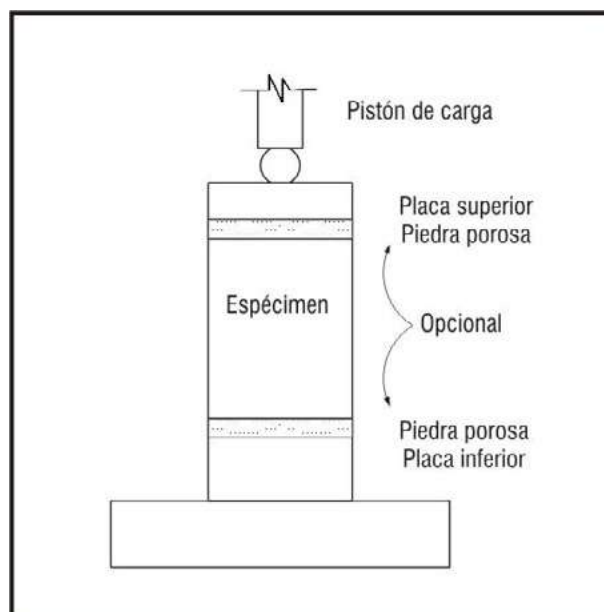


Figura 6.1_148. ESQUEMA DE UN ENSAYO DE COMPRESIÓN INCOFINADA

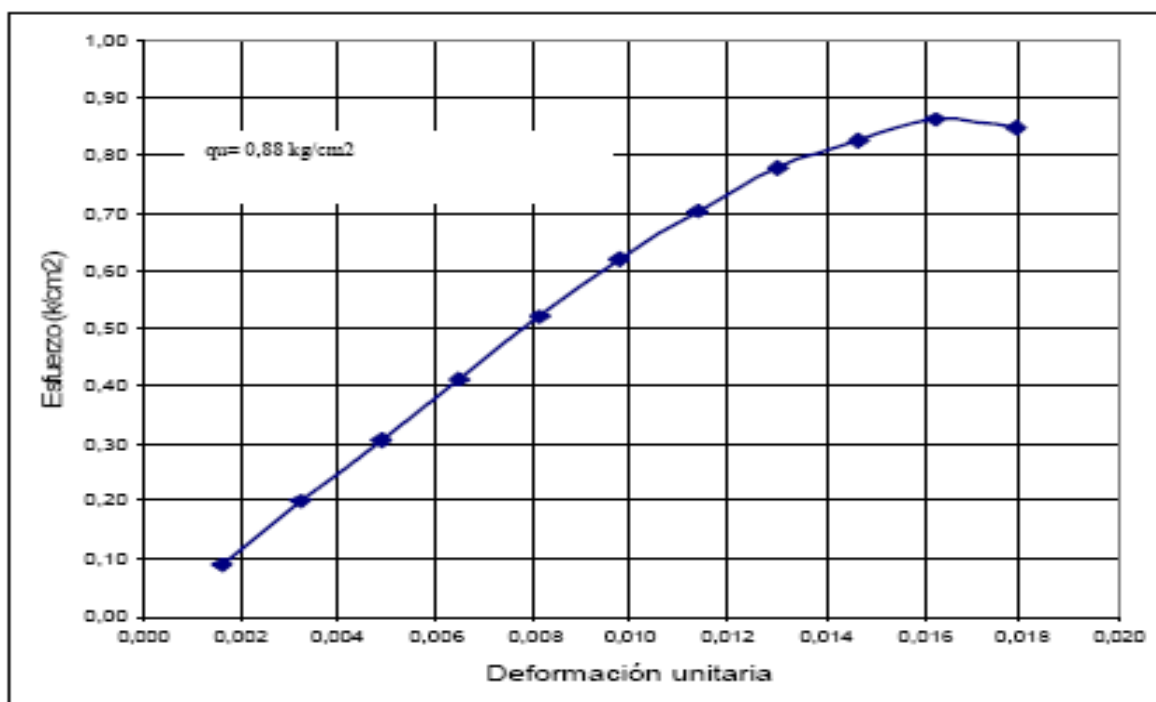


Figura 6.1_149. DEFORMACIÓN UNITARIA VS. ESFUERZO

SECCION 6.1.4.9. PARÁMETROS DE RESISTENCIA DEL SUELO MEDIANTE COMPRESIÓN TRIAXIAL (ASTM D2850 AASHTO T234)

6.1.4.9.1. OBJETO

Estos métodos se refieren a la determinación de los parámetros de resistencia de los suelos mediante el ensayo de compresión triaxial. Los métodos descritos son: el ensayo de compresión triaxial consolidado no drenado (CU) con o sin medición de la presión de poros; el ensayo drenado (D), y el ensayo no consolidado no drenado (UU) con o sin medición de las presiones de poros. Los parámetros obtenidos son el ángulo de fricción interna (ϕ) y la cohesión (C), y cuando se midan las presiones en los poros, podrán calcularse los valores efectivos de la fricción interna y la cohesión, (ϕ y C). Los valores así obtenidos pueden emplearse en diferentes análisis de estabilidad como por ejemplo en fundaciones de estructuras; en cortes y taludes o en estructuras de retención, problemas en los cuales la resistencia del suelo a corto y largo plazo, tiene importancia significativa.

Cada uno de estos métodos requerirá el ensayo de un mínimo de tres probetas.

6.1.4.9.2. EQUIPOS Y MATERIALES

D.1. Dispositivo de carga axial

El dispositivo de carga axial puede ser cualquier aparato de compresión con la suficiente capacidad y el adecuado control, para proporcionar la velocidad de carga prescrita en el procedimiento de consolidado y en el cual sean mínimas las vibraciones debidas a su operación.

- **El dispositivo para medir la carga axial**, puede consistir en un anillo de carga capaz de medir con precisión de 1.1 N (0.25 lb) o a valores de carga dentro del 1.0 % de la carga anticipada, cualquiera que sea la mayor. Cuando se emplee un anillo de carga, normalmente éste se hallará montado en la parte exterior de la cámara de presión. Puede emplearse también una celda electrónica para medir las cargas axiales aplicadas a la probeta de ensayo. Dicha celda deberá montarse en el interior de la cámara triaxial y, cuando se la emplee, se necesitará además el siguiente equipo electrónico accesorio para indicar la carga:

- a) Amplificador que aumente las señales eléctricas de la cámara de carga de manera que sean suficientemente grandes para que puedan ser detectadas mediante un voltímetro digital o un registrador gráfico de tira.
- b) Fuente de potencia de voltaje constante para excitar la celda de carga o el transductor de presión.
- c) Puente de balanceo para balancear los circuitos eléctricos del sistema de medida.
- d) Voltímetro digital o registrador gráfico, para medición de la carga o presión.

D.2. Indicador de Deformación

El indicador de deformación deberá ser un extensómetro de dial con graduaciones equivalentes a 0,02 mm (0.001") y que tenga un recorrido mínimo del 20 % de la longitud de la probeta de ensayo u otro dispositivo de medida que cumpla con estos requisitos generales.

D.3. Equipo para tallar las probetas

Este equipo incluye un marco, herramientas apropiadas para desbastar y tallar, calibrador Vernier que pueda medir las dimensiones de la muestra con precisión de 0,25 mm (0.01"), un cortador de muestras, un dispositivo para cortar los extremos, y un extractor de muestras.

D.4. Aparato de presión de poros

Este aparato puede consistir en un manómetro cerrado, un indicador de cero presión, o un transductor de presión. Cuando se emplee este último, podrá utilizarse con el mismo equipo electrónico usado para monitorear las cargas.

D.5. Horno para secamiento

Un horno termostáticamente controlado que pueda mantener una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 41^\circ\text{F}$) para determinar el contenido de humedad de los especímenes.

D.6. Balanzas.

Para muestras cuyo peso sea inferior a 100 g, deberá utilizarse una balanza con precisión de 0,01g, y para muestras de 100 g o más, una balanza con precisión de 0,1 g

D.7. Cámara de Compresión Triaxial

Empleada para contener el espécimen y el fluido de confinamiento, durante el ensayo. Las partes accesorias asociadas con la cámara incluyen: placa para base de la muestra, piedra porosa, dos placas lubricadas para base, anillos "O" u otro tipo de sellos, válvulas de cierre, placa superior, tubos de plástico para drenaje resistentes a la temperatura, tapa superior, pistón de carga, membrana de caucho, papel de filtro, dial con su soporte, etc.

D.8. Aparatos Misceláneos

Estos incluyen una bomba de vacío y un aparato de presión con sus respectivos manómetros y reguladores, un dilatador de membrana, recipientes para determinaciones de humedad, y los formatos de Informe que se requieran.

6.1.4.9.3. PREPARACIÓN DE PROBETAS

A. TAMAÑO DE LA PROBETA.

Los especímenes deberán tener un diámetro mínimo de 33 mm (1.3") y el mayor tamaño de partícula dentro de la muestra de ensayo deberá ser menor que 1/10 de su diámetro. Para muestras con diámetro de 71 mm (2.8") o más, la partícula mayor deberá ser menor que 1/6 del diámetro. Si después de la conclusión del ensayo de una muestra inalterada, se encuentran partículas de mayor tamaño, deberán hacerse las anotaciones correspondientes en el Informe. La relación altura - diámetro (H/D) debe estar entre 2 y 3, siendo preferible 2, valor que puede disminuirse hasta 1,25 cuando se usen placas lubricadas. Deberán efectuarse las mediciones con precisión de 0,10 mm (0.05") empleando un calibrador Vernier u otro dispositivo adecuado.

B. MUESTRAS INALTERADAS

Pueden prepararse muestras inalteradas a partir de muestras de mayor tamaño o de muestras obtenidas de acuerdo con el **Método 6.1.2.3.**

a) Cuando se reciben tubos con muestras en el laboratorio, éstas se sacan por extrusión mediante un gato u otro método que no las altere.

b) Se toman muestras para determinar la humedad, y se cortan especímenes de la longitud deseada; se identifica el suelo visualmente con ayuda **del Método 6.1.1.1.** para la descripción e identificación de suelos (procedimiento visual y manual)], y se recubren los especímenes con parafina, manteniéndolos en una cámara húmeda y fría hasta que vayan a ser ensayados.

c) Corte: Las muestras de tubo podrán ensayarse sin ser desbastadas, excepto para emparejar los extremos, si las condiciones de la muestra así lo exigen. Si es necesario desbastarlas, deberán manejarse con cuidado para evitar su alteración y cambios en la sección transversal o pérdida de humedad. El corte, en cuanto sea posible, deberá efectuarse en una cámara con humedad controlada procurando evitar a toda costa cualquier cambio en la humedad.

El molde del desbastador de muestras se construye en tal forma que el cortador cilíndrico se mueva verticalmente, sin movimiento horizontal alguno. El diámetro interior del cortador deberá ser alrededor de 0,13 mm (0.005") mayor que el diámetro deseado del espécimen de ensayo, excepto para una longitud de 3,2 mm (1/8") en el extremo del corte, donde dicho diámetro deberá ser igual al de la probeta. Céntrese la muestra bajo el cortador y bájese hasta la parte deseada, aflojando las tuercas de las aletas.

Después de que esté en posición, empújese el cortador lentamente hacia abajo dentro de la muestra, simultáneamente recórtese el exceso de suelo empleando un cuchillo para carne.

Cuando se haya bajado el marco a su posición final y se halle el cortador lleno con suelo, remuévase éste y sáquese por extrusión el espécimen mediante el bloque de extrusión. Para asegurar la menor alteración posible, el cortador deberá tener un recubrimiento de baja fricción.

Si la superficie de la muestra extraída no es lisa, se emplean pedazos de los recortes de suelo para llenar cualquier vacío.

Después de esto, empújese suavemente el cortador sobre la muestra para garantizar una vez más un espécimen del tamaño adecuado. Cualquier otro método de desbaste será aceptable siempre que, para el material ensayado, sólo produzca una alteración mínima en la muestra.

Colóquese el espécimen en el aparato para cortar los extremos y desbástese de manera que éstos sean perpendiculares al eje longitudinal de la muestra circular uniforme.

d) Efectúense varias medidas del diámetro y de la altura de la muestra y determínese el peso del espécimen de ensayo. Si no se emplea la muestra completa para la determinación de humedad, tómese con este objeto una muestra representativa de los recortes y colóquese inmediatamente en un recipiente cubierto.

C. MUESTRAS REMOLDEADAS

Pueden prepararse especímenes a partir de una muestra inalterada fallada o de una alterada. El método de moldeo y la compactación pueden variarse para producir el peso unitario, la humedad y la estructura del suelo deseadas.

Si las muestras no son moldeadas al tamaño requerido, el equipo empleado para desbastar muestras de suelo inalteradas puede emplearse también para las de material remoldeado. Cualquier método empleado para remoldear material que muestre resultados de ensayo similares, es satisfactorio.

6.1.4.9.4. MÉTODO CONSOLIDADO - NO DRENADO (CU)

A. PROCEDIMIENTO

13. Prepárese el pedestal así:

- Colóquese una piedra porosa sobre el pedestal.
 - Colóquese la muestra sobre la piedra porosa y adhiéranse tiras de papel de filtro a lo largo de los lados de la muestra, de manera que proporcionen el sistema deseado para las trayectorias del drenaje.
1. Empleando un dilatador de membranas al vacío, colóquese sobre la muestra una membrana delgada e impermeable; colóquense anillos en O u otros sellos de presión alrededor de la membrana a la altura del pedestal para proporcionar un sello efectivo; colóquense tiras filtrantes adicionales, piedra porosa y el cabezote superior sobre el espécimen. Colóquense anillos "O" u otro sello de presión alrededor de la membrana en el cabezote superior, para proporcionar un sello efectivo en la parte superior de la muestra.
 2. Colóquese el cilindro hueco sobre la base y asegúrese. Colóquese el pistón de carga dentro de la cámara por medio de las guías y bájese hasta que entre, pero sin que toque, la depresión de la parte superior. Asegúrese el pistón con el dispositivo fijador.
 3. Colóquese la cámara de ensayo con la muestra en el dispositivo de carga, y llénese con fluido. Satúrese la línea de drenaje antes de comenzar el ensayo, aplicando vacío a una línea de drenaje mientras que el extremo de la otra se halle sumergido en un recipiente con agua. Esto extrae el aire atrapado entre la muestra y la membrana y llena las líneas de drenaje con agua del recipiente. Satúrense también los cabezotes.
 4. Aplíquese una pequeña contrapresión y una presión de cámara, aproximadamente entre 7 y 14 kPa (1 a 2 lb/pul²) mayor que la contrapresión, para hacer que fluya el agua lentamente de la línea de presión de poros. Conéctese la línea de presión de poros al aparato de medida. Auméntese la contrapresión y la presión de la cámara paulatinamente, hasta cuando la lectura de presión de poros indique que se ha logrado equilibrio en toda la muestra.
 5. Manténgase la presión de la cámara aproximadamente 34,5 kPa (5 lb/pul²) mayor que la contrapresión para evitar flujo entre la muestra y la membrana. Continúese aumentando la contrapresión y la presión de confinamiento hasta que la respuesta de la presión de poros indique saturación. Si no se requieren medidas de presión de poros, puede eliminarse esta etapa.
 6. Auméntese la presión de la cámara hasta que la diferencia entre ésta y la contrapresión iguale la presión deseada de consolidación. Se requiere un mínimo de tres presiones de consolidación diferentes para definir una envolvente de falla. Permítase que la presión de consolidación se mantenga durante la noche o hasta que la lectura de presión de poros indique que se ha completado la fase de consolidación. Compruébese el grado de saturación antes de aplicar la carga axial cerrando la válvula de drenaje y aumentando la presión de confinamiento en 34,5 kPa (5 lb/pul²) o más. Calcúlese la relación del cambio de presión de poros (P) con respecto al cambio de la presión de confinamiento ($\Delta\sigma_3$).

Para una muestra saturada:

$$\left(\frac{\Delta P}{\Delta\sigma_3}\right) = 1,0$$

7. Antes de aumentar la carga axial, ciérrase la válvula entre la cámara y la bureta, de manera que la muestra sea sometida a esfuerzo cortante en condición no drenada. Deberá medirse cualquier cambio de volumen que ocurra durante la consolidación.

Póngase en movimiento el aparato de carga y déjese funcionar unos pocos minutos a la velocidad de ensayo deseada, para compensar cualquier efecto separado o combinado por fricción del pistón o por empuje hacia arriba sobre el pistón, debido a la presión de la cámara. Anótese la lectura cero de los aparatos de medida de carga y deformación cuando el pistón se ponga en contacto con la placa superior.

Nota1: *Quítese el seguro del pistón antes de poner en movimiento el dispositivo de carga. Si la presión de la cámara no es suficiente para restringir la caída del pistón sobre el tope de la muestra, entonces la carga adicional aplicada a ésta mediante el pistón, deberá agregarse al esfuerzo desviador.*

8. En el ensayo triaxial, la tasa de deformación deberá ser de tal magnitud que permita la igualación de la presión de poros (si se mide) en el espécimen; y puede emplearse la **Tabla 6.1_30** como una posible guía. Anótese las lecturas de carga y deformación a intervalos suficientemente pequeños para definir exactamente la curva esfuerzo-deformación.
9. El criterio de falla deberá ser el valor máximo del esfuerzo desviador en el supuesto de que ocurra un máximo. En caso de que no se presente un máximo definido y que el esfuerzo desviador continúe en aumento con la deformación, deberá tomarse la falla como el esfuerzo desviador correspondiente al 20 % de deformación. Si se miden presiones de poros, la relación máxima de esfuerzos principales efectivos puede adoptarse como criterio de falla.
10. Después de la falla, quítense todas las presiones y drénesse el fluido de confinamiento de la cámara de ensayo. Desármese el conjunto, examínese el espécimen, y hágase un esquema del modo de falla. Pésese la muestra y colóquese en un horno para secamiento con el fin de determinar la humedad y el peso unitario.

B. CÁLCULOS

11. Suponiendo que la muestra se deforma igualmente en todas direcciones durante la consolidación, la longitud de la muestra después de dicha consolidación podrá determinarse mediante la ecuación siguiente:

$$\sum 1 = \frac{1}{3} \sum v$$

Donde:

$\sum 1$: Deformación axial = $\Delta L/L$

$\sum v$: Deformación del volumen = $\Delta V/V$

L : Longitud del espécimen determinada mediante medida física.

ΔL : Cambio de longitud del espécimen durante la consolidación.

V : Volumen original del espécimen.

ΔV : Cambio de volumen medido con la bureta.

- Como alternativa, el cambio en longitud de una muestra debido a la consolidación, puede medirse directamente.

12. Calcúlese la deformación axial para una carga aplicada así:

$$\Sigma = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Donde:

ΔL : Cambio de longitud del espécimen determinado a partir del indicador de deformación.

L_0 : Longitud del espécimen después de la consolidación.

13. Calcúlese la sección transversal promedio, A, para una carga dada así:

$$A = \frac{A_0}{1 - \Sigma}$$

Donde:

A_0 : Área inicial de la sección trasversal promedio del espécimen

Σ : Deformación axial para una carga dada.

El área A puede también calcularse a partir de dimensiones obtenidas por medición directa mediante un catetómetro, cuando las superficies del espécimen lo permiten.

14. El esfuerzo desviador, por área unitaria, para una carga dada es:

$$\sigma_d = \frac{P}{A}$$

Donde:

P: carga desviadora aplicada.

A: Área promedio de la correspondiente sección transversal.

15. Gráficos.

- Prepárese un gráfico que muestre la relación entre la presión de poros y la deformación unitaria, si se midieron las presiones de poros.

- Dibújese un gráfico que muestre la relación entre el esfuerzo desviador unitario (como ordenada) y la deformación unitaria, (como abscisa).

- El valor máximo del esfuerzo desviador ($d = 1 - 3$) o la relación máxima de esfuerzos principales efectivos $1/3$, se elige y usa para dibujar los círculos de Mohr; si se midió la presión de poros U, réstese de los esfuerzos principales.

- Cuando todos los círculos de Mohr hayan sido dibujados, dibújese una línea que sea lo más tangente posible a todos los círculos. La intersección de esta línea con el eje de ordenadas, es el valor de la cohesión (efectiva si se midió U), C (C'), y el ángulo entre esta línea y la horizontal, es el ángulo de fricción interna, ϕ (ϕ_1), (Efectivo si se midió U).

6.1.4.9.5. MÉTODO DEL ESFUERZO TOTAL NO CONSOLIDADO - NO DRENADO (UU)

A. PROCEDIMIENTO

16. Colóquese una piedra porosa sobre el pedestal (Véase la Nota N°2 más adelante).
17. Colóquese un disco pulido de plexiglás o de teflón ligeramente mayor que la muestra sobre la piedra porosa en el pedestal y cúbrase tal disco con una película delgada de grasa de silicona. El disco engrasado se emplea para reducir la fricción entre la muestra y la tapa del extremo y permitir así una deformación más uniforme.
18. Colóquese la muestra sobre este disco. (Nota N°2). Si se usa una relación H/D de 2,0 o mayor, los discos pulidos no se necesitan.
19. Empleando un dilatador de membranas al vacío, colóquese sobre la muestra una membrana delgada e impermeable, asegurándola con anillos en "O" u otros sellos de presión alrededor de la membrana, a la altura del pedestal, para proporcionar un sello efectivo. Colóquese un disco pulido, engrasado, una piedra porosa y el cabezote superior sobre el espécimen. Colóquense anillos en "O" u otros sellos de presión alrededor de la membrana en el cabezote superior, con el fin de proporcionar un sello efectivo en el extremo de la muestra. Colóquese el cilindro hueco sobre la base y asegúrese. Colóquese el pistón de carga dentro de la cámara a través de la guía y bájese hasta que entre, pero sin que toque la depresión de la cabeza. Asegúrese el pistón de carga con el dispositivo de fijación.
20. Colóquese la cámara con la muestra en el dispositivo de carga, y llénese con fluido. Aplíquese, mediante el regulador de presión, una presión lateral aproximadamente igual a la presión de confinamiento soportada por el suelo a la profundidad a la cual fue tomada la muestra.
21. Póngase en movimiento el aparato de carga y déjese funcionar por algunos minutos, a la velocidad de ensayo deseada, para compensar cualquier efecto separado o combinado, por fricción o por empuje, debido a la presión de la cámara. Anótese la lectura cero de los dispositivos de medida de carga y deformación, cuando el pistón se ponga en contacto con la cabeza de compresión.
22. Anótese las lecturas de carga y deformación a intervalos suficientemente pequeños, para definir exactamente la curva esfuerzo-deformación. La tasa de deformación deberá hallarse dentro del rango de 0,3 a 1,0 por ciento por minuto; se recomienda una tasa de 0,5 por ciento. El criterio de falla deberá ser el del valor máximo del esfuerzo desviador en el supuesto de que ocurra un máximo.
23. Si no puede establecerse un máximo definido y el esfuerzo desviador continúa aumentando con la deformación, se toma la falla como el esfuerzo desviador a un 20% de deformación. Si se miden presiones de poros, la relación máxima de esfuerzos principales efectivos, puede adoptarse como criterio de falla.
24. Después de la falla, quítese toda presión y drénese el fluido de confinamiento de la cámara.
25. Desmóntese el aparato de ensayo, examínese la muestra y hágase un esquema del tipo de falla; pésese para secarla con el fin de determinar la humedad y el peso unitario.

Nota 2: *En lugar de la piedra porosa y de los discos pulidos requeridos en el numeral 16 podrá emplearse un espaciador adecuado de plexigas pulido o de un material similar.*

6.1.4.9.6. CÁLCULOS

Calcúlese la deformación axial, para una carga dada, así:

$$\Sigma = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Donde:

ΔL : Cambio de longitud de la muestra determinado por el indicador de deformación.

L_0 : Longitud de la muestra después de la consolidación.

Calcúlese el Área promedio de la sección transversal A, para una carga dada, así:

$$A = \frac{A_0}{1 - \Sigma}$$

Donde:

A_0 : Área inicial de la sección trasversal promedio del espécimen

Σ : Deformación axial para una carga dada.

El esfuerzo desviador por unidad de área, d; para una carga dada es:

$$\sigma_c = \frac{p}{A}$$

Donde:

P: carga desviadora aplicada.

A: Área promedio de la correspondiente sección transversal.

- o. Dibújese la curva esfuerzo-deformación con el esfuerzo desviador como ordenada y la correspondiente deformación como abscisa.
- p. Utilícese el valor $[\sigma_1 - \sigma_3]$ en el punto de falla para dibujar en el formato del ensayo, el diámetro del círculo de Mohr. Localícese el centro del círculo de Mohr en un punto que tenga el valor de $[\sigma_3 + 1/2 (\sigma_1 - \sigma_3)]$ a lo largo del eje del esfuerzo total.
- q. Ensáyense al menos tres muestras diferentes del material con distintas presiones laterales (σ_3).
- r. Dibújense los círculos de Mohr para cada muestra y trácese una línea tangente a los círculos que intercepte al eje vertical del esfuerzo de corte.

6.1.4.9.7. MÉTODO DEL ESFUERZO EFECTIVO NO CONSOLIDADO-NO DRENADO (UU)

A.1. Introducción

Este método es el mismo del método consolidado no drenado (CU) con excepción de que no se deja consolidar la muestra. Esto también elimina el numeral 11.

6.1.4.9.8. MÉTODO DE ENSAYO DRENADO (D)

A. PROCEDIMIENTO

- a. Colóquese sobre el pedestal una piedra porosa.
- b. Colóquense tiras de papel de filtro saturadas sobre la piedra porosa.
- c. Colóquese la muestra sobre la piedra porosa y adhiéranse tiras de papel de filtro a lo largo de los lados de la muestra, de manera que proporcionen el sistema de trayectorias de drenaje deseado.
- d. Empleando un dilatador de membranas al vacío, colóquese una membrana delgada e impermeable sobre la muestra. Colóquense anillos en O u otros sellos de presión alrededor de la membrana, a la altura del pedestal, para proporcionar un sello efectivo.
- e. Colóquense tiras de papel de filtro adicionales, una piedra porosa y el cabezote superior, sobre el extremo del espécimen. Colóquense anillos en O u otros sellos de presión alrededor de la membrana en el cabezote superior, con el fin de proporcionar un sello efectivo en el tope de la muestra. Colóquese el cilindro “hueco” sobre la base y asegúrese.
- f. Colóquese el pistón de carga dentro de la cámara a través de las guías y bájese hasta que entre, pero sin que toque la depresión de la cabeza. Asegúrese el pistón de carga con el dispositivo de fijación.
- g. Colóquese la cámara de presión con la muestra en el marco de carga y llénese con fluido. Satúrese la muestra cómo se describió en el numeral 2. Conéctese la línea de presión de poros a la bureta, la cual indicará el gasto debido al drenaje durante el ensayo.
- h. Aplíquese la presión de confinamiento deseada por medio de un regulador de presión.
- i. Antes de que la carga sea aplicada, ábrase la válvula entre la cámara y la bureta de manera que el espécimen sea sometido a esfuerzo cortante en una condición drenada.
- j. El ensayo drenado deberá efectuarse lentamente para evitar que se desarrolle presión de poros. En algunos suelos esto puede tomar un tiempo excesivo. Cuando esto ocurra, puede ser deseable efectuar el ensayo mediante métodos de esfuerzos controlados. Se sugiere que la presión de poros en un extremo de la muestra sea medida periódicamente durante el ensayo, para asegurarse de que no se desarrollen presiones de poros.
- k. Póngase en marcha el aparato de carga y permítasele funcionar por algunos minutos, a la velocidad de ensayo deseada, para compensar cualquier fricción del pistón, o empuje hacia arriba debido a la presión de la cámara, o por ambos efectos. Pónganse en cero las lecturas de los dispositivos para medir carga y deformación, cuando el pistón se ponga en contacto con la cabeza de presión.

- l. Anótese las lecturas de carga, y deformación a intervalos suficientemente pequeños para poder definir exactamente la curva esfuerzo-deformación. El criterio para falla deberá ser el valor máximo del esfuerzo desviador, en el supuesto de que se produzca un máximo. En el caso de que no ocurra un máximo definido y que continúe aumentando el esfuerzo desviador con la deformación, se tomará la falla como el esfuerzo desviador al 20% de deformación. Si se miden las presiones de poros, se podrá usar como criterio de falla, la relación máxima de esfuerzos principales efectivos.
- m. Después de la falla, elimínense todas las presiones y dréñese el líquido de confinamiento de la cámara de presión. Desármese el aparato de ensayo, examínese la falla y hágase un esquema de la misma. Pésese la muestra y colóquese en un horno, para determinar la humedad y el peso unitario.

6.1.4.9.9. Cálculos

Calcúlese la deformación axial, para una carga dada así:

$$\Sigma = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Donde:

ΔL : Cambio de longitud del espécimen determinado por el indicador de deformación.

L_0 : Longitud de la muestra después de la consolidación.

Calcúlese la sección transversal promedio, A, para una carga dada así:

$$A = \frac{A_0}{1 - \Sigma}$$

Donde:

A_0 : Área inicial de la sección trasversal promedio del espécimen

Σ : Deformación axial para una carga dada.

El esfuerzo desviador por unidad de área, d, para una carga aplicada es:

$$\sigma_d = \frac{P}{A}$$

Donde:

P: carga desviadora aplicada.

A: Área promedio de la correspondiente sección transversal.

A. GRÁFICOS.

Dibújense las curvas de esfuerzo-deformación y la curva de deformación-lectura de bureta.

Utilícese el valor de $[\sigma_1 - \sigma_3]$ en el punto de falla para dibujar en la hoja de informe el diámetro del círculo de Mohr. Localícese el centro de dicho círculo, en un punto que tenga un valor de $[\sigma_3 + 1/2 (\sigma_1 - \sigma_3)]$ a lo largo del eje de esfuerzo total.

Ensáyense al menos tres muestras de materiales similares con presiones laterales diferentes (σ_3).

Dibújese el círculo de Mohr para cada muestra y trácese una línea tangente a los círculos que intercepte la línea del esfuerzo de corte.

6.1.4.9.10. INFORME

Para cada uno de los tres tipos de ensayo el informe incluirá lo siguiente:

- La cohesión y el ángulo de fricción interna obtenidos de acuerdo con el tipo del ensayo.
- Ensayo ejecutado (CU, UU, D) con indicación de si se midieron las presiones de poros.
- Tipo y forma del espécimen, esto es, inalterado, remoldeado, cilíndrico o prismático.
- Relación altura-diámetro.
- Descripción visual.
- Peso unitario inicial, humedad y grado de saturación.
- Tasa promedio de deformación hasta la falla en porcentaje.
- Anótese cualquier condición anormal y datos que pudieran ser necesarios para interpretar adecuadamente los resultados obtenidos.
- Dibújense los círculos de Mohr y su envolvente correspondiente (línea ϕ).
- Hágase un esquema de la falla.
- Calcúlense para los especímenes en cada uno de los tres tipos de ensayos (CU, UU y D), los valores:

$$P = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad \text{y} \quad Q = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$$

Para el tipo de ensayo correspondiente, dibújense entonces los respectivos puntos (p, q) colocando P como abscisa Q como ordenada únense con una línea suave (llamada trayectoria de esfuerzo o línea K)

Tómese una línea promedio a través de la curva y mídase su pendiente y la intersección a con el eje (valor de la ordenada).

Calcúlese ϕ con base en la relación $\text{sen } \phi = \tan$ y la cohesión como sigue:

$$C = \frac{\phi}{\cos \phi}$$

Compárense los valores anteriores con los obtenidos a partir de los círculos de Mohr.

Tabla 6.1_30.

Permeabilidad cm/seg	Tasas típicas de deformación para el ensayo	
	Coefficiente de consolidación cm ² /seg	Tasa de deformación axial (% por minuto)
-1x10 ⁻⁴ a 1x10 ⁻⁶	2x10 ⁻¹ a 2x10 ⁻²	0,08
1x10 ⁻⁶ a 1x10 ⁻⁷	2x10 ⁻² a 2x10 ⁻³	0,08 con tiras filtrantes
1x10 ⁻⁷ a 1x10 ⁻⁸	2x10 ⁻³ a 2x10 ⁻⁴	0,08 – 0,04 con tiras filtrantes

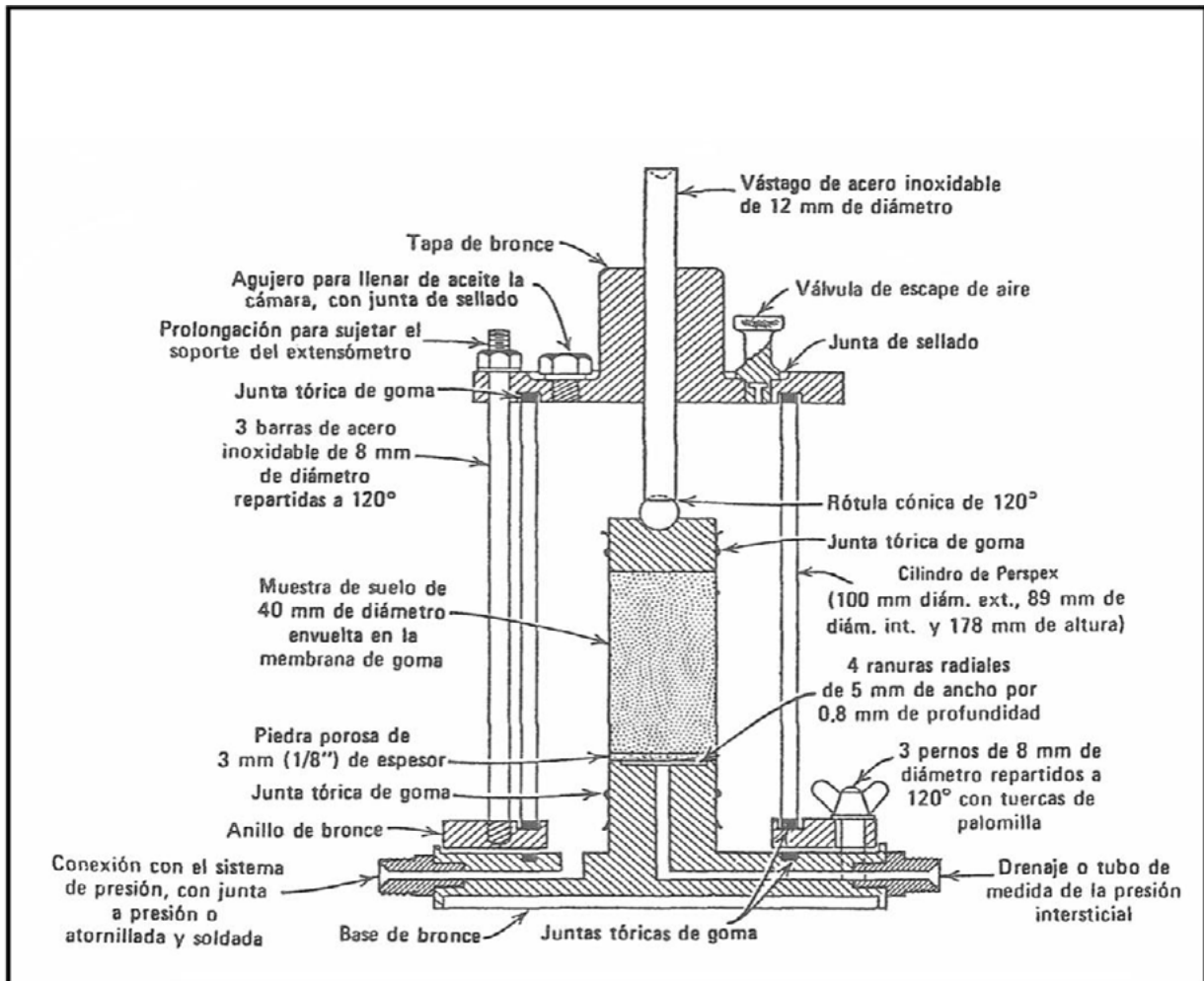


Figura 6.1_150. SECCIÓN DE UNA CÁMARA TRIAXIAL TÍPICA

SECCION 6.1.4.10.

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE MÉTODO DE CORTE DIRECTO (CD) (CONSOLIDADO DRENADO) (ASTM D3080 AASHTO T236)

6.1.4.10.1. OBJETO

Este método tiene por objeto establecer el procedimiento de ensayo para determinar la resistencia al corte de una muestra de suelo consolidada y drenada, empleando el método de corte directo.

Este ensayo puede realizarse sobre todos los tipos de suelos, con muestras inalteradas y remoldeadas.

6.1.4.10.2. PRINCIPIO DEL MÉTODO

1. El ensayo puede hacerse con un solo corte empleando un corte sencillo o doble.
2. El método de corte directo es apropiado para un ensayo consolidado y drenado; tiene la particularidad de que los recorridos para el drenaje a través de la muestra de ensayo son cortos y permiten mejor y más rápidamente la disipación de las presiones de poros.
3. Los resultados del ensayo son aplicables en situaciones de campo, en las cuales ha ocurrido la consolidación completa bajo la sobrecarga existente y se produce lentamente la falla, de suerte que se disipa el exceso de las presiones de poros.
4. El ensayo es utilizable también para la determinación de la máxima resistencia al corte y de la resistencia residual a lo largo de planos conocidos de baja resistencia en el material.
5. El ensayo no es apropiado para obtener relaciones exactas de esfuerzo-deformación (en la muestra de ensayo), debido a la distribución no uniforme de los esfuerzos de corte y de las deformaciones.
6. El desplazamiento a velocidad lenta permite disipar el exceso de las presiones de poros, y permite también el flujo plástico de los suelos cohesivos blandos.
7. Debe tenerse cuidado para que las condiciones del ensayo sean representativas de aquellas que se están investigando.
8. El ensayo consiste en:
 - a) Colocación de la muestra de ensayo en el dispositivo de corte directo.
 - b) Aplicación de una carga normal determinada.
 - c) Disposición de los medios de drenaje y humedecimiento de la muestra.
 - d) Consolidación de la muestra bajo la carga normal.
 - e) Liberación de los marcos que sostienen la muestra.

f) Aplicación de la fuerza de corte para hacer fallar la muestra.

Generalmente se ensayan tres o más muestras, cada una bajo fuerza normal diferente, para determinar los efectos sobre la resistencia al corte y las deformaciones. El intervalo de las cargas normales debe ser apropiado para las condiciones del suelo investigado.

6.1.4.10.3. EQUIPOS Y MATERIALES

9. Dispositivo de carga

El dispositivo de carga debe ceñirse a lo siguiente:

Sostener la probeta con seguridad entre dos piedras porosas colocadas una en cada cara, de tal manera que no se presenten movimientos de torsión sobre ella.

Estar provisto de los dispositivos necesarios para:

- a) Aplicar una fuerza normal en las caras de la muestra.
- b) Determinar los cambios en el espesor de la muestra.
- c) Drenar el agua a través de las piedras porosas.
- d) Sumergir la muestra en agua.
- e) Ser capaz de aplicar una fuerza de corte para hacer fallar la muestra a lo largo de un determinado plano (corte único) o de planos (corte doble) paralelos a las caras de la muestra.
- f) Los marcos que sostienen la probeta deben ser lo suficientemente rígidos para evitar su deformación durante el corte.
- g) Las diferentes partes del dispositivo deben ser de un material resistente a la corrosión por sustancias contenidas en el suelo o por la humedad del mismo.

10. Piedras porosas

Las piedras porosas deben ceñirse a lo siguiente:

- a) Deben ser de carburo de silicio, óxido de aluminio o de un metal que no sea susceptible a la corrosión por sustancias contenidas en el suelo o la humedad del mismo.
- b) Dependiendo del tipo de suelo que se va a ensayar, las piedras porosas deben tener la calidad adecuada para desarrollar el contacto necesario con la muestra y, además, deben evitar la intrusión excesiva de partículas de suelo dentro de sus poros.
- c) Para ensayos con suelos normales, la calidad de las piedras debe permitir una permeabilidad de 0,5 mm/seg a 1 mm/seg.

11. Dispositivo para la aplicación de la fuerza normal

Debe estar capacitado para aplicar rápidamente la fuerza especificada sin excederla y para mantenerla con una precisión de $\pm 1\%$ durante el proceso de ensayo.

12. Dispositivo para la aplicación de la fuerza de corte

- a) La capacidad depende más que todo del tipo de control: con control de deformaciones o con control de esfuerzos. Se prefiere generalmente el primero por la facilidad para determinar, tanto el esfuerzo último, como la carga máxima.

b) El equipo con control de deformaciones debe tener la capacidad para cortar la muestra a una velocidad de desplazamiento uniforme, con una desviación de $\pm 10\%$ y debe permitir el ajuste de la velocidad de desplazamiento dentro de un rango más o menos amplio.

c) La velocidad de aplicación de la carga, depende de las características de consolidación del suelo. (Véase numeral 42). Se logra usualmente por medio de un motor con caja de transmisión y la fuerza de corte se determina por medio de un indicador de carga.

d) Si se usa el equipo con control de esfuerzos, debe ser capaz de aplicar la fuerza de corte sobre la muestra con incrementos de carga y grado de precisión, como se especifica en el numeral 14.

13. Cuarto húmedo

La pérdida de humedad durante la preparación de la muestra no deberá exceder de 0,5 %, tanto para su almacenamiento como para su preparación.

14. Equipo para el corte de la muestra

Debe ser adecuado para tallar la muestra de acuerdo con las dimensiones interiores de la caja de corte con un mínimo de alteración. Puede necesitarse un soporte exterior para mantener en alineamiento axial una serie de 2 o 3 anillos.

15. Balanza

Debe tener una precisión de 0,1 g o 0,1 % del peso de la probeta.

16. Deformímetros

Deben ser adecuados para medir los cambios en el espesor de la muestra con una precisión de 0,002 mm (0.0001") y la deformación con precisión de 0.02 mm (0.001").

17. Horno de secado

Capaz de mantenerse a $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ ($230 \pm 9\text{ °F}$).

18. Recipientes para muestras de humedad.

19. Equipo para el remoldeo o compactación de probetas.

20. Otros equipos

Incluyen: cronómetro, sierra de alambre, espátula, cuchillos, enrasadores, agua destilada y demás elementos necesarios.



Figura 6.1_151. Equipo de Corte Directo

6.1.4.10.4. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

21. Si se usa una muestra inalterada, debe ser suficientemente grande para proveer un mínimo de tres muestras idénticas.
22. La preparación de la muestra debe efectuarse de tal manera que la pérdida de humedad sea insignificante.
23. La muestra se talla sobre medida para las dimensiones del dispositivo de corte directo.
24. Para muestras inalteradas de suelos sensibles, debe tenerse extremo cuidado al labrar las muestras, para evitar la alteración de su estructura natural.
25. Se determina el peso inicial de la muestra para el cálculo posterior del contenido inicial de humedad de acuerdo con el Método 6.1.3.1.
26. Si se utilizan muestras de suelos compactados, la compactación debe hacerse con las condiciones de humedad y peso unitario deseados. Se puede efectuar directamente en el dispositivo de corte, en un molde de dimensiones iguales a las del dispositivo de corte o en un molde mayor para recortarlas de acuerdo con el numeral 25.
27. El diámetro mínimo de las muestras circulares o el ancho mínimo para muestras rectangulares debe ser alrededor de 50 mm (2").

Para minimizar las alteraciones causadas por el muestreo, el diámetro de las muestras obtenidas de tubos sacamuestras debe ser, por lo menos, 5 mm (1/5") menor que el diámetro del tubo.
28. El espesor mínimo de la muestra de ensayo, debe ser alrededor de 12 mm (1/2"), pero no menor de un sexto el tamaño máximo de las partículas del suelo.
29. La relación mínima diámetro/espesor o ancho/espesor, según la muestra, debe ser 2:1.

6.1.4.10.5. CALIBRACIÓN

30. Se ensambla el dispositivo de corte directo (sencillo) con un disco metálico de calibración, de espesor igual al de la muestra de ensayo deseada y alrededor de 5 mm (1/5") menor en diámetro.
31. El dispositivo de corte doble, requiere dos discos de calibración.
32. Se aplica la fuerza normal igual a la fuerza que se va a utilizar en el ensayo y se coloca el indicador de desplazamiento normal. Se ajusta este indicador de tal manera que pueda usarse para medir tanto lecturas de consolidación como de expansión.
33. Se registra la lectura del indicador de deformación normal, como una futura referencia para determinar, tanto el espesor de la muestra de ensayo, como la deformación desarrollada por el conjunto.
34. Luego, se retira el disco de calibración. Se puede aceptar cualquier otro método que permita la calibración exacta del aparato.

6.1.4.10.6. PROCEDIMIENTO

35. Se ensambla la caja de corte con los marcos alineados y se bloquea. Se aplica una capa de grasa entre los marcos para lograr impermeabilidad durante la consolidación y reducir la fricción durante el corte. Pueden también usarse espaciadores o superficies recubiertas con tetrafluoretileno-fluoruro carbono, para reducir la fricción durante el corte.



Figura 6.1_152. Preparación de la Muestra

36. Se introduce la muestra de ensayo con sumo cuidado. Se conecta el dispositivo de carga y se ajusta el deformímetro para medir tanto la deformación durante el corte, como el cambio del espesor de la muestra y luego se determina el espesor inicial. La costumbre de humedecer las piedras porosas antes de la colocación y aplicación de la fuerza normal sobre las muestras, dependerá del tipo de problema en estudio.

Para muestras inalteradas obtenidas bajo el nivel freático, deben humedecerse las piedras.

Para suelos expansivos se debe efectuar el humedecimiento después de la aplicación de la fuerza normal, para evitar expansiones que no son representativas de las condiciones de campo.



Figura 6.1_153. Instalación de la Caja de Corte



Figura 6.1_154. Colocación de Puente de Carga sobre la Muestra

37. Se debe permitir una consolidación inicial de la muestra bajo una fuerza normal adecuada. Después de aplicar la fuerza normal predeterminada, se llena el depósito de agua hasta un nivel por encima de la muestra, permitiendo el drenaje y una nueva consolidación de la misma. El nivel del agua se debe mantener durante la consolidación y en las fases siguientes de corte de tal manera que la muestra esté saturada en todo momento.



Figura 6.1_155. Saturación de Muestra con Agua

38. La fuerza normal que se aplique a cada una de las muestras depende de la información requerida. Un solo incremento de ella puede ser apropiado para suelos relativamente firmes. Para los demás suelos pueden ser necesarios varios incrementos con el objeto de prevenir el daño de la muestra. El primer incremento dependerá de la resistencia y de la sensibilidad del suelo. En general, esta fuerza no debe ser tan grande que haga fluir el material constitutivo de la muestra por fuera del dispositivo de corte.



Figura 6.1_156. Colocación de carga en muestra



Figura 6.1_157. Toma de lectura

39. Durante el proceso de la consolidación deben registrarse las lecturas de deformación normal, en tiempos apropiados, antes de aplicar un nuevo incremento de la fuerza.
40. Cada incremento de la fuerza normal debe durar hasta que se complete la consolidación primaria. El incremento final debe completar la fuerza normal especificada.
41. Se representan gráficamente las lecturas de la deformación normal contra el tiempo.
42. Corte de la muestra.

Luego de terminada la consolidación se deben soltar los marcos separándolos aproximadamente 0,25 mm (0.01"), para permitir el corte de la muestra.



Figura 6.1_158. Separación de los marcos de corte

Se debe aplicar la fuerza de corte lentamente para permitir la disipación completa del exceso de presión de poros.

Para determinar la velocidad de aplicación de la carga hasta la falla, se puede emplear la siguiente expresión:

$$\text{Tiempo para falla} = 50 t_{50}$$

Dónde:

t_{50} = Tiempo requerido por la muestra para lograr el 50 % de consolidación bajo la fuerza normal.

En el ensayo con control de deformaciones, la velocidad de aplicación de cargas puede determinarse, aproximadamente, dividiendo la deformación estimada de corte, durante el esfuerzo máximo de corte, por el tiempo calculado para la falla.

Se continúa el ensayo hasta que el esfuerzo de corte sea constante, o hasta que se logre una deformación del 10 % del diámetro o de la longitud original.

En el ensayo con control de esfuerzos, se comienza con incrementos de la fuerza de corte de aproximadamente un 10 % de la máxima estimada.

Antes de aplicar un nuevo incremento, se permitirá por lo menos un 95 % de consolidación bajo el incremento anterior.

Cuando se ha aplicado del 50 % al 70 % de la fuerza de falla estimada, los nuevos incrementos serán de la mitad del valor de los aplicados hasta ese momento, o sea el 5 % de la máxima fuerza de corte.

En la proximidad de la falla, los incrementos de la fuerza pueden ser iguales a un cuarto del incremento inicial (2,5 % de la fuerza normal de corte estimada).

Se debe llevar registro de la fuerza de corte aplicada y la deformación normal y de corte para intervalos convenientes de tiempo. Con preferencia, el incremento de la fuerza de corte debe ser continuo.

Terminado el ensayo, se remueve la muestra completa de la caja de corte, se seca en el horno y se determina el peso de los sólidos.



Figura 6.1_159. Desmontaje de la muestra



Figura 6.1_160. Muestra secada en el horno

6.1.4.10.7. CÁLCULOS

Calcúlense los siguientes valores:

- a) Contenido inicial de humedad.
- b) Peso unitario seco inicial y peso unitario húmedo inicial.
- c) Esfuerzos de corte.
- d) Relación de vacíos antes y después de la consolidación y después del ensayo de corte, si se desea.
- e) Los grados de saturación inicial y final, si se desea.

6.1.4.10.8. INFORME

El informe deberá incluir lo siguiente:

- a) Descripción del tipo de dispositivo utilizado en el ensayo.
- b) Identificación y descripción de la muestra, incluyendo si el suelo es inalterado, remoldeado, compactado o preparado por otros medios, anotando cualquier característica no usual, referente por ejemplo a la estratificación.
- c) Contenido inicial de agua.
- d) Peso unitario seco inicial y peso unitario húmedo inicial.
- e) Espesor inicial.
- f) Se deben registrar todos los datos básicos del ensayo, incluyendo el esfuerzo normal, desplazamiento de corte y los valores correspondientes de la resistencia al corte máximo y residual cuando se indique, así como los cambios de espesor del espécimen.
- g) Para cada probeta de ensayo se debe elaborar la curva esfuerzo de corte y deformación unitaria en un gráfico con escalas aritméticas.
- h) Debe prepararse, igualmente, un gráfico que incluya los valores para las tres probetas de las fuerzas normales contra la resistencia al corte y determinar, a partir del mismo, los valores efectivos del ángulo de fricción ϕ , y de la cohesión, c . **(Véase Figura 6.1_163 y 6.1_164)**
- i) En el mismo gráfico anterior podrán incluirse los valores de las resistencias al corte residuales e indicar el ángulo de fricción interna residual ϕ ; y de la cohesión c' si la hubiere.

Se debe incluir el plan general de procedimiento, así como secuencias especiales de carga o requisitos especiales de humedad.

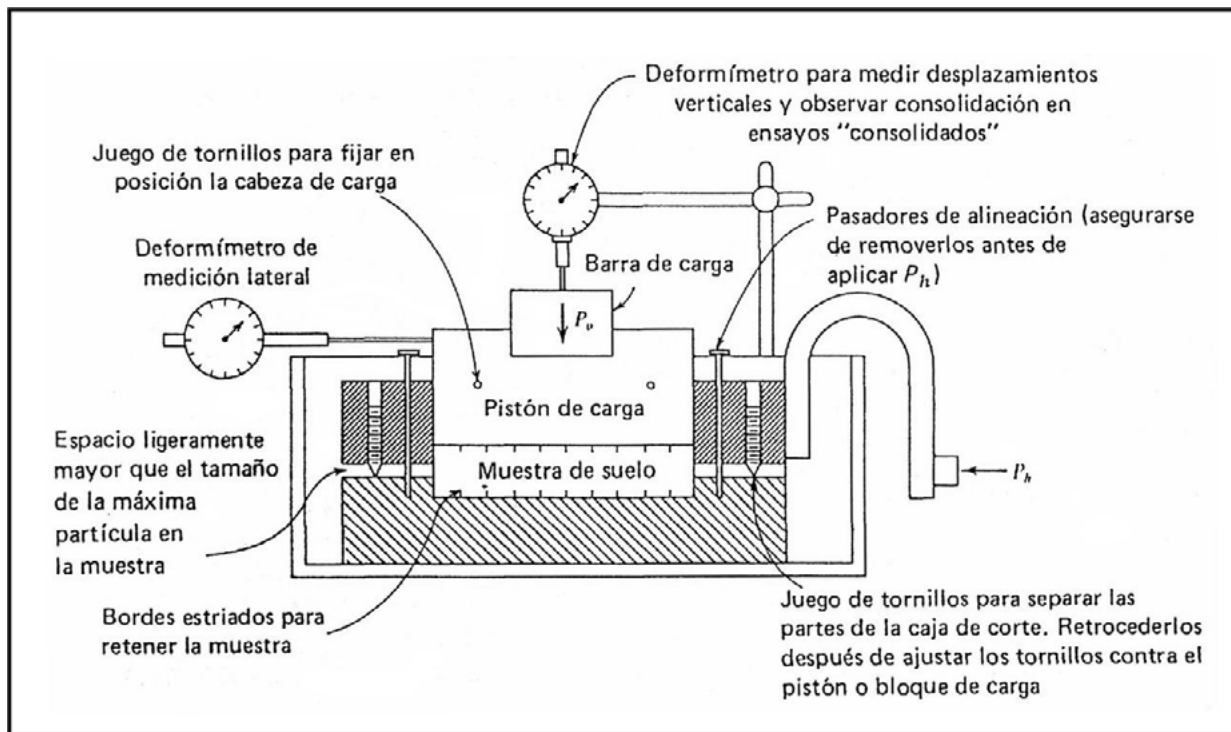


Figura 6.1_161. DETALLES DEL ENSAYO Y LA CAJA DE CORTE DIRECTO

ENSAYO DE CORTE DIRECTO (Cohesivos, No cohesivos)

Proyecto _____ Trabajo No. _____
 Localización del proyecto _____ Perforación No. _____ Muestra No. _____
 Descripción del suelo _____ Profundidad de la muestra _____
 Realizado por _____ Fecha de la practica _____
 Estado del suelo (húmedo, seco) Muestra de suelo (inalterada, alterada).

Datos para obtener la densidad de la muestra si no es inalterada

Peso inicial recipiente + suelo = _____
 Peso final recipiente + suelo = _____
 Peso de suelo usado = _____

Datos para el contenido de humedad

Peso suelo húmedo + lata = _____
 Peso suelo seco + lata = _____
 Peso de la lata = _____
 Peso del agua = _____
 Peso del suelo seco = _____
 Contenido de humedad, w% = _____

Datos de la muestra para corte

Dimensiones de la muestra:

Diam. o lado = _____
 Altura = _____
 Área = _____
 Vol. = _____

Densidad: γ_{humedo} = _____ γ_{seco} = _____

Carga normal = _____ Esfuerzo normal = _____
 Constante del anillo

Velocidad de carga = _____ /min de carag = _____ 7div.

Lectura del deformimetro vertical ()	Desplazamiento vertical ΔV ()	Lectura del deformimetro horizontal ()	Desplazamiento horizontal ()	Área corregida, A' ()	Deformimetro de carga	Fuerza de corte horizontal ()	Esfuerzo cortante τ , kPa

Nota: Introducir las unidades necesarias en los encabezamientos.

Figura 6.1_162. FORMULARIO TIPO

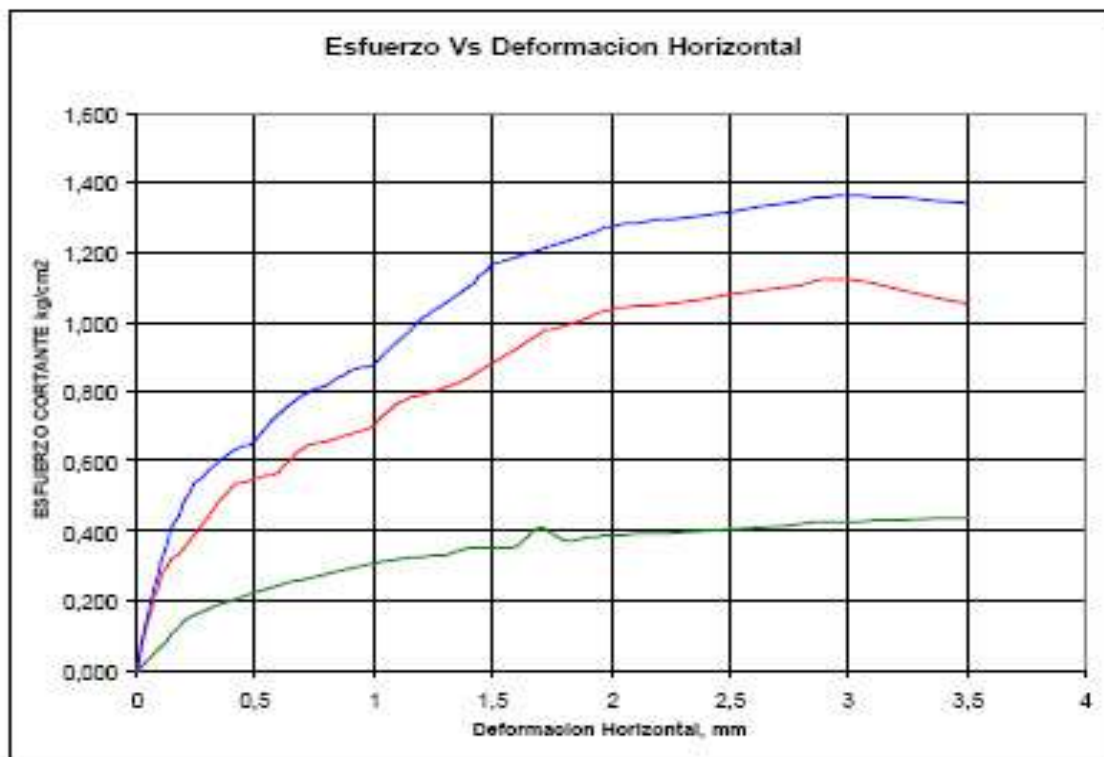


Figura 6.1_163. ESFUERZO DE CORTE VS. DEFORMACIÓN HORIZONTAL

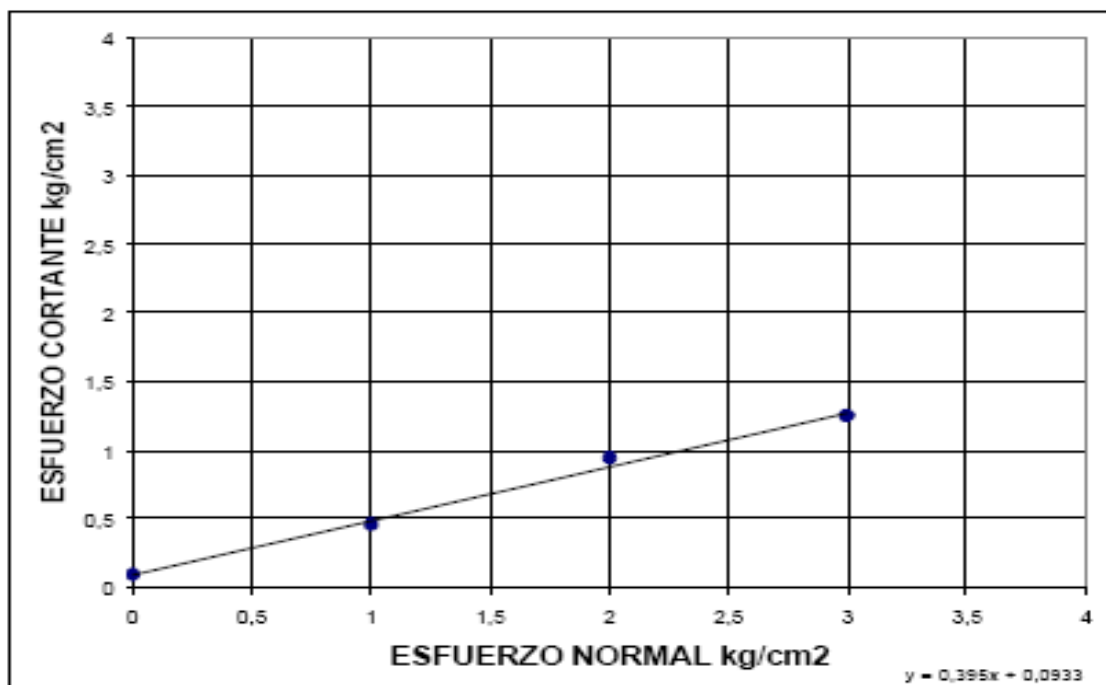


Figura 6.1_164. ESFUERZO NORMAL VS. ESFUERZO CORTANTE

SECCION 6.1.4.11.**RESISTENCIA NO DRENADA EN
ESPECÍMENES DE ROCAS MEDIAN-
TE COMPRESIÓN TRIAXIAL SIN MEDIR
PRESIONES DE POROS (ASTM 2664
AASHTO T 226)****6.1.4.11.1. OBJETO**

Este método establece el procedimiento para determinar la resistencia de una probeta de roca, en estado no drenado, sin medir presiones de poros, empleando compresión triaxial.

El método proporciona los datos para la determinación de la resistencia total y de las propiedades elásticas de las rocas (resistencia al esfuerzo cortante, variación lateral de la presión, ángulo de fricción interna, valor de la cohesión y módulo de Young).

La determinación de la resistencia de la roca, es función de la presión de confinamiento; este método es comúnmente usado en la simulación de las condiciones de resistencia prevalecientes en una masa de roca en estado natural.

6.1.4.11.2. EQUIPOS Y MATERIALES**A.1. Dispositivo de carga**

Un dispositivo adecuado de aplicación y medida de la carga axial en la probeta. Este debe ser de una capacidad suficiente para la aplicación de carga a una tasa conforme a lo especificado en el numeral 3, verificándose un adecuado intervalo de tiempo.

A.2. Dispositivo para mantener la presión

Debe constar de una bomba hidráulica, un amplificador de presión u otro sistema con suficiente capacidad, para mantener constante la presión lateral deseada 3.

A.3. Cámara de compresión triaxial

Debe ser un aparato donde la probeta para el ensayo pueda quedar encerrada dentro una membrana flexible e impermeable, colocada entre 2 platinas, una de las cuales debe tener un soporte esférico. El espécimen debe someterse a una presión hidráulica lateral constante y luego cargarse axialmente hasta la falla.

Las platinas deben ser hechas de acero endurecido (acero para herramientas) con una mínima dureza de 58 NDRC. Cuando las platinas son nuevas, las caras de apoyo no deben permitir un distanciamiento del plano de la superficie de contacto en más de 0,0127 mm (0.00050"); para platinas que hayan sido utilizadas, el distanciamiento debe ser inferior a 0,025 mm. (0.001").

Adicionalmente, consta de un cilindro de alta presión con una válvula de alivio, una base y orificios adecuados de acceso para el llenado del cilindro con un fluido hidráulico. Para la aplicación de la presión lateral, contará con mangueras, manómetros y las válvulas que sean necesarias.

A.4. Dispositivos para medir la deformación

Diales micrométricos de alta precisión u otros aparatos exactos para medir con unidades de 0,0025 mm (0.0001"), con una precisión de 0,0025 mm (0.0001") para cualquier medición hasta de 0,025 mm (0.0010") y de 0,005 mm (0.0002") para cualquier medición hasta de 0,25 mm (0.0100"), para medir la deformación axial debida a la carga. Estos pueden consistir en micrómetros de tornillo, diales micrométricos o transformadores diferenciales de variación lineal que deben estar sujetos de modo seguro al cilindro de alta presión.

-También puede usarse un deformímetro (celda de presión) aplicado directamente en la probeta de roca en dirección axial, para medir eléctricamente la resistencia. El uso del deformímetro ajustado lateralmente, permite la obtención de datos necesarios para el cálculo de la relación de Poisson.

A.5. Membrana flexible

Debe ser de un material que permita separar el fluido continuamente de la probeta y no debe estar adherida fuertemente a la superficie rugosa de la misma. Debe ser suficientemente larga para que cubra la platina y cuando se presione ligeramente debe conservar el mismo diámetro de la probeta.

A.6. Láminas de calibración.

6.1.4.11.3. PREPARACIÓN DE LA PROBETA

A. DIMENSIONES

La probeta para el ensayo debe ser un cilindro circular recto, dentro de los criterios siguientes:

Relación de la longitud al diámetro (L/D) entre 2 y 2,5.

El diámetro de la probeta debe ser como mínimo 10 veces más grande que el mayor tamaño de los granos minerales constituyentes.

Nota1: Se considera que las probetas obtenidas mediante coronas NX (1-15/16") satisfacen el anterior criterio.

B. TOLERANCIAS

Rectitud: Las caras de la probeta deben estar pulidas con tolerancia de 0,5 mm de lo especificado y libres de irregularidades abruptas; con todos sus elementos rectos dentro de la longitud total de la misma. La desviación de la rectitud de la probeta deberá determinarse por el método A ó el B.

B.1. Método A

Se coloca la probeta sobre su superficie cilíndrica en el banco del bloque en V. Se monta el medidor de dial en la cima de la probeta y se mueve la probeta desde un extremo del bloque en V hasta el otro lado, a lo largo de una línea recta, se registra el máximo y el mínimo de las lecturas con el medidor de dial y se calcula la diferencia. Se repite la misma operación rotando la probeta 90° y obteniendo los valores $\Delta 90$, $\Delta 180$, $\Delta 270$. El máximo valor debe ser menor que 0,5 mm (0.02").

B.2. Método B

La probeta cilíndrica debe girarse sobre una superficie plana y lisa, midiendo la altura de la máxima separación entre la probeta y la superficie plana por medio de las láminas de calibración.

Si la máxima separación excede de 0,5 mm, (0.020”), la probeta no está dentro de las tolerancias requeridas de rectitud del elemento. La superficie lisa en que es ensayada la probeta no debe tener un error de condición llana de más de 15 µm (0.0006”).

Llanura y perpendicularidad.- Se deben cortar los extremos de la probeta paralelamente uno a otro, formando un ángulo recto con el eje longitudinal, deben estar pulidos con un error de llanura de 25 µm y no se deben apartar de la perpendicularidad en más de 0,25° o aproximadamente 0,25 mm (1/10”) en 51 mm (2”). La perpendicularidad de la superficie de los extremos con respecto al eje longitudinal se debe determinar por el método C ó el método D.

B.3.Método C

Se debe instalar el dispositivo que sostiene el medidor de dial, de tal modo que éste último toque y se desplace sobre el extremo de la probeta a lo largo de una dirección diametral. Se debe tener cuidado para que un extremo del dispositivo de montaje del medidor mantenga un íntimo contacto (p-q) con un extremo del bloque en V durante el movimiento. Se registra la lectura del medidor del dial y se calcula la diferencia entre los valores máximo y mínimo, cuya diferencia se denomina como Δl. Se rota la probeta en 90° y se repite la operación calculándose la diferencia Δ2. Se debe repetir el mismo procedimiento en el otro extremo, obteniéndose la diferencia de los valores Δ1 y Δ2. Se considera que el requisito de perpendicularidad, en cada extremo, se cumple cuando,

$$\frac{\Delta l}{\text{diametro}} \text{ y diametro} \leq 0,005$$

La condición llana de la superficie de los extremos se puede determinar tomando lecturas del medidor del dial en cada 3,2 mm a lo largo de cada diámetro, cuando se está realizando la medida de perpendicularidad. Uniendo todas las lecturas se forma una curva de deformación del diámetro. La tolerancia de llanura se cumple cuando la curva así determinada no se aparte de una línea recta en más de 25 µm. Se debe girar la probeta 90° alrededor de su eje longitudinal y repetir la misma operación, verificando la tolerancia sobre el nuevo plano diametral. Se debe repetir la operación sobre el otro extremo.

B.4. Método D

Se debe recorrer el medidor de dial sobre el extremo de la probeta el cual está asegurado al bloque en V, y hacer las medidas por lo menos en 3 líneas diametrales. La variación de la lectura debe ser de 0,1 mm en 20 mm. La condición de llanura se debe medir en igual forma que el método C.

Condiciones de humedad.- La condición de humedad de la probeta en el momento de la prueba puede tener un efecto significativo en la resistencia de la roca. Se deben probar muestras con diferentes contenidos de humedad incluyendo el cero. En cualquier caso, el contenido de humedad de la probeta debe tenerse en cuenta en el ensayo, y debe ser incluido de acuerdo con el punto “Informe”.

6.1.4.11.4. PROCEDIMIENTO

1. Se instala la platina inferior, limpia, sobre la base; las caras superior e inferior de la probeta se limpian; se coloca la probeta sobre dicha platina, y se monta la platina superior.

2. Se coloca la membrana flexible cubriendo la probeta y la platina, sellándola con una cinta o con un anillo de neopreno o caucho para mantener la probeta aislada del fluido.
3. Se coloca el cilindro sobre la probeta, asegurando un ajuste adecuado en las bases y se conectan los dispositivos de presión hidráulica.
4. Se coloca el dispositivo medidor de deformación y se llena la cámara con el fluido hidráulico.
5. Se aplica una carga axial aproximada de 111N (25 lb) a la cámara de compresión triaxial, con el fin de asegurar adecuadamente las partes del aparato.
6. Se toma una lectura inicial de deformación. Se incrementa suavemente la presión del fluido hasta el nivel predeterminado para la prueba, y al mismo tiempo se aplica suficiente carga axial para prevenir la deformación causada por la desviación de la lectura inicial.
7. Cuando se alcanza el nivel de presión establecido, se anota la carga axial aplicada y se considera que esta carga es el cero o la carga de iniciación de la prueba.
8. Aplíquese continuamente una carga axial sin impactos ni cambios bruscos, hasta que la carga sea constante o hasta alcanzar una tasa de deformación predeterminada.
9. Aplíquese la carga de tal manera que produzca una tasa de deformación tan constante como sea posible a través de toda la prueba, no permitiendo que en ningún momento se desvíe en más del 10% del valor seleccionado.
10. La tasa de deformación escogida, puede ser aquella con la cual se produzca la falla de una probeta similar, en un ensayo confinado y en un tiempo entre 2 y 15 min. La velocidad seleccionada para un determinado tipo de roca, debe conservarse en todas las pruebas, para una determinada investigación.
11. Se debe mantener constante la presión predeterminada de confinamiento (σ_3) a través del ensayo, registrando las lecturas de deformación.
12. Para asegurar que el fluido de prueba no penetre dentro de la probeta, la membrana debe ser cuidadosamente revisada para determinar los huecos o fisuras que deban corregirse en cada prueba; si se considera necesario, se pesa la muestra antes y después de cada ensayo.

6.1.4.11.5. CÁLCULOS

Se debe dibujar una curva colocando en la abscisa la diferencia de presión y en las ordenadas la deformación axial. La diferencia de presión se define como la presión axial principal máxima 1, menos la presión lateral σ_3 . El valor de la presión lateral σ_3 se deberá indicar en la gráfica.

Se debe dibujar el círculo de resistencia de Mohr en un gráfico, con escalas aritméticas, con la resistencia al corte en la ordenada y el esfuerzo normal en la abscisa. Son necesarios por lo menos 3 ensayos de compresión triaxial, cada uno con una presión de confinamiento diferente sobre el mismo material, para definir la envolvente del círculo de los esfuerzos de Mohr.

Nota 2: *A causa de la naturaleza heterogénea de la roca y de la dispersión de los resultados hallados, a menudo son necesarios al menos tres ensayos de especímenes esencialmente idénticos para cada presión de confinamiento diferente, o nueve ensayos sencillos a distintas presiones, que cubran el intervalo investigado, para determinar la envolvente.*

Se dibujará entonces la envolvente más ajustada (envolvente de Mohr). Además, debe incluir una descripción gráfica del plano o planos de falla y de su inclinación con respecto al plano del esfuerzo principal mayor.

6.1.4.11.6. INFORME

Deben incluirse los siguientes datos:

- a) Origen de la probeta, nombre y localización del sitio, condiciones ambientales de su almacenamiento, si se conocen, diámetro y profundidad de la probeta en la perforación.
- b) Descripción física de la probeta incluyendo el tipo de roca; localización y orientación de los planos aparentemente débiles; planos de estratificación y fisuras; inclusiones grandes o falta de homogeneidad, si las hubiere.
- c) Datos del muestreo y de la prueba.
- d) Diámetro y longitud de la muestra de acuerdo con los requisitos dimensionales.
- e) Velocidad de carga o deformación.
- f) Indicaciones generales de las condiciones de humedad de la probeta durante el ensayo, estado en que se recibe, fisuración y condiciones de secado. Se recomienda que las condiciones de humedad y el grado de saturación, se deban determinar de la manera más precisa posible.
- g) Definición del tipo y localización de la falla, recomendando presentar un esquema de la muestra fallada.
- h) Se debe incluir una memoria de los cálculos efectuados en el punto anterior.

SECCION 6.1.4.12.

MÓDULO RESILIENTE DE SUELOS DE SUB-RASANTE (AASHTO T274

6.1.4.12.1. OBJETO

Este método cubre los procedimientos normalizados para la determinación del módulo elástico-dinámico (de resiliencia) de los suelos. Incluye la preparación y ensayo de suelos no tratados, bajo condiciones que representan una simulación razonable de las características físicas y de los estados de esfuerzos de los materiales de la sub-rasante, bajo pavimentos flexibles sometidos a las cargas debidas al tránsito.

Los métodos descritos, son aplicables a muestras inalteradas de materiales naturales, a muestras compactadas de sub-rasante y a muestras transportadas, preparadas para ser ensayadas, por compactación en el laboratorio.

Los valores del módulo resiliente (elástico-dinámico) determinados con estos procedimientos, pueden ser empleados en las teorías de sistema de capas elástico-lineales y elástico-no lineales, para calcular la respuesta física de las estructuras de pavimentos.

6.1.4.12.2. USO Y SIGNIFICADO

El ensayo de módulo resiliente, proporciona la relación básica constitutiva entre esfuerzo y deformación, de los materiales de construcción de pavimentos flexibles para su empleo en el análisis del sistema de capas en pavimentos.

También, proporciona un medio de evaluación de los materiales de construcción de pavimentos, incluyendo suelos de sub-rasante, bajo una variedad de condiciones ambientales y de estado de esfuerzos, que simulen realísticamente las situaciones existentes en pavimentos sometidos a cargas móviles del tránsito.

σ_1 =Esfuerzo axial total (esfuerzo principal mayor).

σ_3 =Esfuerzo radial total; esto es, la presión de confinamiento aplicada en la cámara triaxial (esfuerzo principal, intermedio y menor).

$\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$ = Esfuerzo desviador; esto es, el esfuerzo axial repetido para este procedimiento.

E_1 = Deformación axial total debida a σ_d .

E_r =Deformación axial resiliente (recuperada).

$M_r = \sigma_d / E_r$ es el módulo resiliente, esto es, la relación entre el esfuerzo dinámico y la deformación que puede substituirse, en procedimientos analíticos que incluyen cargas de tráfico dinámico y requieren de un módulo de elasticidad.

Duración de la carga = Intervalo de tiempo durante el cual el espécimen es sometido a un esfuerzo desviador.

Duración del ciclo = Intervalo de tiempo en que transcurren las aplicaciones sucesivas de un esfuerzo desviador.

Tanto w como S pueden expresarse con un decimal o como un entero, esto es 20% puede representarse como .20 ó 20, pero es necesario que haya consistencia entre los dos.

$$\rho_d = \frac{G \cdot \rho_w}{1 + \left(\frac{w \cdot G}{S}\right)}$$

Donde:

ρ_d : Peso unitario del suelo seco, Kg/m³ (lb/pie³).

G : Peso específico de los sólidos.

w : Contenido de agua del suelo (%).

S : Grado de saturación (%).

ρ_w : Peso unitario de agua, Kg/m³ (lb/pie³).

6.1.4.12.3. EQUIPOS Y MATERIALES

- Cámara de compresión triaxial.- La cámara de compresión triaxial se utiliza para contener la muestra y el fluido de confinamiento durante el ensayo. En la **Figura 6.1_165** se muestra una cámara adecuada para emplear en el ensayo de resiliencia de suelos. La cámara es similar a muchas celdas triaxiales normales, excepto que es algo más grande para facilitar la carga montada internamente y el equipo de medida de la deformación, y que tiene salidas adicionales para las guías eléctricas de los aparatos de medida.

- Pueden emplearse celdas triaxiales normales con equipo montado exteriormente y equipo para medir deformación (**Véase Figura 6.1_166**), para materiales cuyo módulo resiliente sea menor de 104000 kPa (15000 lb/pulg²).

En ambas configuraciones puede utilizarse aire como fluido para la cámara. Puede emplearse también agua o mezcla de agua-alcohol.

- Dispositivo de aplicación de carga.- La fuente externa de carga puede ser cualquier dispositivo capaz de producir carga repetida, que varíe en ciclos fijos de carga y de alivio. Estos dispositivos varían desde ejes de levas simples e interruptores de carga estática o pistones de aire, hasta sistemas electrohidráulicos de abrazaderas de cierre. Se necesita una duración de la carga, de 0.1 seg. y una duración del ciclo, de 1 a 3 seg.

Puede emplearse una forma de pulsación del esfuerzo simulada, sinusoidal, rectangular o triangular.

- Equipo de medida de la carga y de la respuesta del espécimen:

a) El dispositivo para medir la carga axial es una celda electrónica de carga. Preferiblemente se mide la carga colocando la celda entre la parte superior del espécimen y el pistón de carga, como se muestra en la **Figura 6.1_165**. Las celdas de carga pueden montarse también fuera de la cámara de ensayo, previendo que se hagan las correcciones necesarias por cualquier fricción dinámica del pistón en el cuello de la cámara.

b) Las presiones de la cámara de ensayo son controladas con manómetros convencionales de presión o transductores (aparatos medidores de presión) con graduaciones de sensibilidad convenientes.

c) El equipo para medida de la deformación axial usado en materiales con módulos resilientes mayores de 104000 kPa (15000 lb/pulg²), consiste de 2 transformadores lineales diferenciales variables (TLDV), conectados directamente a la muestra mediante un par de abrazaderas. Las abrazaderas y los TLDV se muestran en posición, sobre un espécimen de ensayo, en la **Figura 6.1_165**. Detalles de las abrazaderas se muestran en la **Figura 6.1_167**.

d) Pueden efectuarse las medidas de la deformación axial, sobre materiales con módulo resiliente máximo, menor de 104000 kPa (15000 lb/pulg²), con los TLDV abrazados al cuerpo del pistón por fuera de la cámara de ensayo (**Véase Figura 6.1_166**)

e) Es necesario mantener una señal de excitación adecuada, acondicionada y un campo de grabación adicionado a los dispositivos de medida, para registrar simultáneamente las deformaciones y la carga axial. Los TLDV deberán conectarse de tal manera, que sea registrada la señal promedio del par.

f) Para disminuir errores en la medida y registro de la respuesta del espécimen, se calibra el sistema inmediatamente antes y después de cada ensayo. Un dispositivo que ha sido hallado satisfactorio para este fin, consiste de un anillo de carga de alta calidad soportado por una guía incompresible de acero, cuyas dimensiones totales son similares a las del espécimen de ensayo (Fig. N°4). Para calibrar el sistema, se coloca el dispositivo sobre la base de la cámara triaxial de la celda de carga, con los TLDV instalados. El dispositivo se somete a cargas repetidas de la magnitud y duración empleada para medir la respuesta resiliente del espécimen de ensayo. Sosteniendo una tarjeta contra la cara del dial del anillo de carga, pueden observarse sin dificultad las deflexiones dinámicas resultantes del anillo. Los desplazamientos del anillo de carga se comparan con la traza registrada del TLDV, para obtener la calibración de la deformación.

La carga de la propia relación fuerza-deformación del anillo, se utiliza para establecer la magnitud de la carga representada por la traza registrada de la celda de carga.

- Equipo para la preparación del espécimen.- Se requiere gran variedad de equipos para la preparación de muestras inalteradas para ensayos, y para obtener especímenes compactados que sean representativos de las condiciones en el terreno. El empleo de diferentes materiales y de distintos métodos de compactación en el terreno, implican el uso de técnicas variadas de compactación en el laboratorio. El equipo típico requerido se enumera a continuación:

a) Equipo para recortar especímenes de ensayo de muestras inalteradas como el descrito en el **Método 6.1.4.9.**, "Determinación de los parámetros de resistencia del suelo mediante compresión triaxial".

b) Equipo para compactación por impacto: como el descrito en los **Métodos S0402** para las relaciones de humedad-peso unitario de suelos empleando equipo normal y **S0403** para la relación humedad-peso unitario de suelos empleando equipo Proctor Modificado.

c) Aparato para compactación por amasado como el descrito en el **Método 6.1.4.5.**, valor de resistencia R y presión de expansión de suelos compactados, u otros aparatos que utilicen métodos de compactación por amasado.

d) Aparato para compactar estáticamente un peso conocido de suelo húmedo hasta una longitud predeterminada y un diámetro fijado por las dimensiones de un molde. En la **Figura 6.1_169** se muestra un conjunto de molde típico para la preparación de un espécimen de 71 mm (2.8") por 152 mm (6") de altura para 3 capas de compactación estática.

e) Molde partido y compactador vibratorio manual operado con aire, como se muestra en la **Figura 6.1_ 170**.

f) Máquina de carga estática con una capacidad adecuada para compactar diferentes materiales.

- Aparatos y elementos misceláneos requeridos.- Estos incluyen calibradores, manómetros micrométricos, regla de acero (calibrada a 0.5 mm (0.02")), membranas de caucho de 0.254 a 0.635 mm (0.01" a 0.025") de espesor, anillos de caucho en O, fuente de vacío con cámara y regulador de burbujas, dilatador de membrana, piedras porosas, reglas, recipientes para contenidos de agua, así como formatos para informe.

6.1.4.12.4. PREPARACIÓN DE ESPÉCIMENES DE ENSAYO.

1. Tamaño del espécimen.- La longitud del espécimen no deberá ser menor de dos veces el diámetro.

El diámetro mínimo del espécimen, es el mayor entre 71 mm (2.8") o seis veces el tamaño de la partícula mayor del suelo. Especímenes de 102 mm (4") de diámetro por 203 mm (8") de altura pueden acomodarse en la celda triaxial mostrada en la **Figura 6.1_ 165**, y éste es el tamaño mínimo requerido para el espécimen, cuando se utilizan abrazaderas de anillo como soportes, de los TLDV mostrados en la **Figura 6.1_ 167**.

2. Especímenes inalterados.- Los especímenes inalterados se recortan y preparan como se describe en la norma INV E-153, "Parámetros de resistencia de suelos mediante compresión triaxial".

3. Preparación del suelo para especímenes compactados de laboratorio.- El procedimiento siguiente es empleado para preparar las muestras de suelos para compactación en el laboratorio:

a. Si la muestra de suelo está húmeda cuando se recibe del terreno, se secará hasta que sea disgregable con un palustre. El secado puede ser al aire o mediante el empleo de un aparato para secar, en tal forma, que la temperatura no exceda de 60°C (140°F). La disgregación se hará evitando la reducción del tamaño natural de las partículas individuales.

b. Tamícese una cantidad adecuada, representativa de suelo, sobre el tamiz de 19.0 mm (3/4").

c. Descártese el material grueso retenido, si lo hubiere.

d. Determínese la humedad w_1 , secando el suelo al aire. La muestra para humedad no deberá pesar menos de 200 g para suelos con un tamaño máximo de partículas de 4.75 mm (N°4), y no menor de 500 g, para suelos con tamaño máximo de partículas, mayor que 4.75 mm (N°4).

e. Determínese el volumen V , del espécimen compactado que se va a preparar. Para métodos diferentes al de compactación estática, la altura del espécimen compactado, deberá ser ligeramente mayor que la requerida para el ensayo de resiliencia, para permitir el recorte de los extremos del mismo. Un exceso de 13 mm (0.5") es adecuado para este propósito.

f. Determínese el peso de los sólidos del suelo secado al horno W_s y el peso de agua W_c , requerida para obtener el peso unitario seco d deseado y el contenido de agua $w_c(\%)$, así:

$$W_s \text{ (lb)} = d \text{ (lb/pie}^3\text{)} \times V \text{ (pies}^3\text{)}.$$

$$W_s \text{ (gramos)} = W_s \text{ (lb)} \times 454.$$

$$W_c \text{ (lb)} = W_s \text{ (lb)} \times w_c/100$$

$$W_c \text{ (gramos)} = W_c \text{ (lb)} \times 454.$$

g. Determínese el peso del suelo secado al aire W_d , requerido para obtener W_s . Una cantidad adicional W_{as} , de por lo menos 500 grs, deberá dejarse para proporcionar material para la determinación del contenido de agua en el momento de compactación.

$$W_d \text{ (gramos)} = (W_s + W_{as}) \times (1 + w_1/100)$$

h. Determínese el peso del agua W_{aw} , requerido para aumentar el peso existente de agua hasta el peso del agua W_c , que corresponde al contenido de agua $w_c(\%)$ para la compactación deseada.

$$W_1 \text{ (gramos)} = (W_s + W_{as}) \times (w_1/100)$$

$$W_2 \text{ (gramos)} = (W_s + W_{as}) \times (w_c/100)$$

$$W_{aw} \text{ (gramos)} = W_2 - W_1$$

i. Determínese el peso húmedo del suelo W_t que va a ser compactado.

$$W_t \text{ (gramos)} = W_s \times (1 + w_c/100)$$

j. Colóquese el peso de suelo W_d , determinado anteriormente, dentro de una cazuela para mezclar.

k. Agréguese el peso de agua W_{aw} , al suelo en cantidades pequeñas y mézclese completamente después de cada adición.

l. Colóquese la mezcla en una bolsa plástica, séllese la bolsa y almacénese en un ambiente de por lo menos 75% de humedad relativa durante 24 horas. Asegúrese un sello completo empleando dos o más bolsas.

m. Después del mezclado y almacenamiento, pésese el suelo húmedo y el recipiente con aproximación al gramo más próximo y anótese este valor en los formatos apropiados mostrados en las **Figuras 6.1_171** y **6.1_172**.

A. ESPECÍMENES COMPACTADOS DE SUELOS COHESIVOS.-

El comportamiento resiliente de suelos cohesivos compactados, que contienen cantidades sustanciales de arcilla, depende de la estructura impartida a las partículas del suelo, mediante el proceso de compactación. Suelos cohesivos que contienen cantidades sustanciales de arcilla están definidos para este procedimiento como suelos clasificados como A-2-6, A-2-7, A-6 y A-7.

4. Selección del método de compactación. El método de compactación y el contenido de agua de moldeo w_c de suelos cohesivos, dependen de las condiciones del terreno que van a ser simuladas por el espécimen de laboratorio.

a) Especímenes que representen sub-rasantes cohesivas compactadas a humedades que correspondan a menos del 80% de saturación, que permanezcan en la condición como fueron construidas, podrán compactarse hasta el peso unitario seco y húmedo del terreno, mediante procedimientos normales giratorios, de amasado o estáticos.

b) Especímenes de ensayo que representen una sub-rasante que fue originalmente compactada a una humedad menor que la correspondiente al 80% de saturación, pero que ha experimentado posteriormente un aumento de humedad al someterse al servicio, se compactarán con la humedad esperada, empleando el método estático descrito en el numeral 7.

- c) El amasado se emplea para preparar especímenes que representan las condiciones en el terreno y de servicio del párrafo anterior, sólo si los especímenes se compactan al contenido inicial de agua (empleada en la construcción) y se someten luego a cambios después de la compactación. Cambios controlados del contenido de agua, después de la compactación, están limitados en el laboratorio a las técnicas de saturación bajo contra-presión, descritas en el numeral 8.
- d) Los especímenes de ensayo que representen sub-rasantes cohesivas, compactadas en el terreno a contenidos de agua mayores que el 80% de saturación, se compactarán en el laboratorio empleando la compactación por amasado. Tales especímenes de ensayo pueden someterse también a compactación posterior y a aumentos en la humedad, si el material del terreno que van a representar, ha experimentado compactación posterior y aumentos en su contenido de agua.
5. Relaciones entre humedad y peso unitario. Cuando son conocidas las variaciones de las condiciones de compactación y de las condiciones en el servicio, se escogerá el método de compactación requerido para el laboratorio, entre los métodos alternos enumerados. Si las condiciones en servicio no están bien definidas, se prepararán y ensayarán especímenes dentro de una variación de pesos unitarios secos y contenidos de agua. Se cumplirán cuatro pasos para escoger los pesos unitarios, contenidos de agua, y métodos de compactación empleados para preparar especímenes representativos dentro de la variación del comportamiento resiliente.
- a) Establézcase la relación peso unitario-humedad para el suelo según el **Método 6.1.4.2..**, con martillo de 2.5 kg (5.5 lb) y caída de 305 mm (12") (Equipo Normal).
- b) Determínese el peso específico de los suelos, de acuerdo con el **Método 6.1.3.7.**
- c) Úsense los datos así obtenidos para determinar el 100% y el 80% de saturación a diferentes densidades. Sobre el gráfico de la relación humedad-peso unitario determinada, se dibujan líneas para el 80% y para el 100% de saturación.
- d) Escójense los pesos unitarios, las humedades y los métodos de compactación, que deberán emplearse para preparar especímenes de ensayo.
6. Compactación por métodos de amasado. Los moldes normales, asociados con métodos de compactación por amasado, tales como el Hveem o el Harvard miniatura, pueden no tener las dimensiones correctas para su utilización directa en el ensayo de resiliencia. Pueden obtenerse, sin embargo, moldes de las dimensiones correctas, y los métodos a los cuales se hace referencia atrás, pueden adaptarse a los nuevos moldes. Generalmente, esto requerirá ajustes, por tanteos en el número de capas compactadas o en el número de golpes por capa (o ambos), para producir especímenes de los pesos unitarios requeridos. Especímenes compactados de mayor tamaño pueden prepararse y recortarse al tamaño correcto del espécimen de ensayo. Ocho pasos se requerirán para el procedimiento de compactación por amasado.
- a) Establézcase el número de capas, N que van a usarse para compactar el suelo. Determínese el peso húmedo del suelo requerido por capa, WL. El espesor de la capa no deberá exceder de 50 mm (2"):
- $$WL \text{ (gramos)} = Wt / N$$
- b) Colóquese en el molde el peso de suelo determinado en el paso a). Compáctese de acuerdo con el procedimiento establecido para las dimensiones del molde y el compactador usado.
- c) Escarífquese la superficie para las capas restantes.

d) Repítase el paso b) para las capas restantes.

e) Después de que se haya completado el espécimen, verifíquese el contenido de agua de compactación w_c del suelo restante. La muestra para humedad no deberá pesar menos de 200 g, para suelos con tamaño máximo de partículas de 4.75 mm (N°4) y no menos de 500 g, para suelos con un tamaño máximo de partículas mayor. Regístrese este valor en un formato para suelos cohesivos como se muestra en la **Figura 6.1_171**.

f) Remuévase cuidadosamente el espécimen del molde. Si el espécimen compactado no tiene las dimensiones deseadas, recórtese el espécimen de ensayo de acuerdo con los procedimientos descritos en el **Método 6.1.4.9**, "Determinación de los parámetros de resistencia del suelo mediante compresión triaxial". Si el molde de compactación tiene las mismas dimensiones del espécimen de ensayo deseado, pueden obtenerse extremos de superficies planas, aplicando una pequeña carga estática al espécimen antes de que sea cuidadosamente removido del molde.

g) Pésese el espécimen con aproximación al gramo más próximo, y determínese la altura y el diámetro promedio con aproximación a 0.5 mm (0.02"); anótense dichos valores en un formato para suelos cohesivos, como se muestra en la **Figura 6.1_171**.

h) Empleando un dilatador de membranas al vacío, colóquese una membrana delgada e impermeable sobre el espécimen. Colóquense anillos en O u otros sellos de presión alrededor de la membrana, para proporcionar un sello positivo a las platinas del tope y del fondo, como las que se usan con la cámara triaxial.

i) Envuélvase la muestra incluida en la membrana, en una bolsa plástica, y colóquese en un ambiente de por lo menos 75% de humedad relativa, durante un período de no menos de 24 horas, para asegurar una distribución uniforme de la humedad. Si no se va a emplear un acondicionamiento después de la compactación o una saturación por contrapresión, el espécimen está listo para transferirlo a la cámara triaxial para ensayo de resiliencia.

7. Compactación mediante carga estática.- En ausencia de métodos normales para compactación estática, se emplea el método descrito en esta norma. El proceso consiste en compactar un peso conocido de suelo húmedo hasta volumen que es fijado por las dimensiones del conjunto del molde.

Un conjunto de molde típico empleando 3 capas para la preparación de un espécimen de 71 mm

(2.8") de diámetro y 152 mm (6") de altura, se muestra en la **Figura 6.1_169**.

Pueden desarrollarse otros equipos adecuados y disponer el número de capas necesarias para producir muestras de dimensiones mayores. Para la compactación estática se requieren dieciséis pasos, a saber:

a) Establézcase el número, N de capas que deben emplearse para compactar el suelo. El espesor de cada capa deberá limitarse a 50 mm (2"). Determínese el peso del suelo húmedo por capas:

$$WL \text{ (gramos)} = Wt / N$$

b) Colóquese uno de los pistones de carga dentro del molde de la muestra.

c) Colóquese el peso del suelo WL, determinado en el paso a) dentro del molde para la muestra.

Úsese una espátula para quitar el suelo del borde del molde y para formar un ligero montículo en el centro.

d) Insértese el segundo pistón de carga y colóquese el conjunto en la máquina de carga estática.

Aplicúese una carga pequeña, ajústese el molde de manera que permanezca a igual distancia de la tapa de los pistones de carga.

e) La presión desarrollada en el suelo por la carga inicial sirve para mantener el molde en su lugar.

Teniendo ambos pistones de carga simultáneamente en posición para que no haya cambio de volumen, se obtienen pesos unitarios más uniformes, por capa.

f) Auméntese lentamente la carga, hasta que las tapas del pistón de carga descansen firmemente contra el molde. Manténgase la carga en o cerca de la carga máxima, por lo menos durante 1 minuto. La rata de carga y la duración de la misma, dependen de la cantidad del rebote del suelo. Para una rata de carga más baja y a mayor duración de la carga, el rebote será menor.

g) Disminúyase la carga hasta cero y remuévase el conjunto de la máquina de carga.

h) Remuévase el pistón de carga. Escarifíquese la superficie de la capa compactada, póngase el peso correcto del suelo WL para una segunda capa, y ajústese el suelo como en el paso c).

Agréguese un anillo espaciador e inviértase el pistón de carga.

i) Inviértase el dispositivo y repítase el paso h).

j) Colóquese el conjunto en la máquina de carga. Cárguese lentamente mientras se mantiene la carga en o cerca de la máxima, cuando el disco espaciador hace contacto firmemente con el molde.

k) Repítanse los pasos g), h), i), y j), tanto como sean requeridos.

l) Después de que haya sido completado el espécimen, determínese el contenido del agua de compactación (wc) del suelo restante. La muestra para humedad no deberá pesar menos de 200g, para suelos con tamaño máximo de partículas de 4.75mm (tamiz N°4) y no menos de 400 g, para suelos con tamaño máximo mayor. Regístrese este valor en un formato para suelos cohesivos.

m) Colóquese el pistón de extrusión dentro del molde de la muestra y fuércese el espécimen hacia afuera del molde y dentro del molde de extrusión.

n) Úsese el molde de extrusión para deslizar cuidadosamente el espécimen compactado, sobre una placa de vidrio.

o) Determínese el peso del espécimen compactado, con aproximación al gramo. Mídase la altura y el diámetro con aproximación a 0.5 mm (0.02"). Regístrense los valores en un formato para suelo cohesivo.

p) Empleando un dilatador de membranas, colóquese la membrana delgada a prueba de pinchazos sobre el espécimen. Colóquense anillos en O u otros sellos de presión, alrededor de la membrana para proporcionar un sello efectivo a las platinas sólidas de los extremos superior e inferior, similares a los que se emplean con la cámara triaxial.

q) Cúrese el espécimen como se describe en el numeral 5, paso i). Si no se va a efectuar ninguna operación después de la compactación, por ejemplo saturación por contrapre-

sión después de la compactación, el espécimen se halla listo para el ensayo de resiliencia en la cámara triaxial.

8. Saturación por contrapresión después de la compactación de especímenes de suelos cohesivos.- Si un espécimen de suelo cohesivo inalterado o que se compacta por los métodos de los numerales 6 y 7, se va a saturar antes del ensayo, deben cumplirse los siguientes 22 pasos:

a) Sepárese el espécimen de ensayo de las platinas de los extremos, removiendo primero los anillos de caucho en O, y luego doblando o enrollando cuidadosamente la membrana desde los extremos del espécimen, hasta una distancia de aproximadamente 6.4 mm ($\frac{1}{4}$ ").

b) Colóquese una piedra porosa saturada, encima del pedestal o de la platina de base de la cámara triaxial. Satúrese la línea de drenaje del fondo de la cámara triaxial y el dispositivo para medir presión de poros, antes de iniciar este proceso, haciendo pasar agua desaireada a través de él.

Si se usa una platina de tipo removible para el fondo, ajústese ésta firmemente a la cámara triaxial para obtener un sello hermético.

c) Con la válvula de drenaje del fondo cerrada, colóquese la muestra de ensayo sobre la piedra porosa saturada, desdóblese cuidadosamente la membrana hacia abajo y séllese ésta al pedestal o a la platina de base con un anillo en O u otro sello de presión.

d) Colóquese la piedra porosa superior y la placa del extremo superior (con la válvula de saturación de ingreso) sobre la parte superior del espécimen, desdóblese la membrana hacia arriba, y séllese al extremo superior de la platina.

e) Con la línea de drenaje del fondo del espécimen cerrado, conéctese la entrada de vacío de la parte superior del espécimen a una fuente de vacío a través de una cámara de burbujas, y aplíquese un vacío de 35 kPa (5 lb/pulg²). Si no hay burbujas, se ha obtenido un sello hermético para el sistema. Cuando hay burbujas, verifíquense los goteos causados por conexiones pobres, huecos en la membrana, o sellos imperfectos, en las platinas de los extremos.

f) Cuando se hayan eliminado los escapes, desconéctese la fuente de vacío. Si se ha de medir la respuesta del espécimen empleando los TLDV montados internamente, se requieren los pasos g), h) y i) Si se van a emplear TLDV montados exteriormente, el método continúa con el paso j).

g) Abrase la abrazadera del TLDV inferior y fíjese cuidadosamente, en un punto ubicado en el cuarto inferior del espécimen, aproximadamente.

h) Repítase el paso g) para la abrazadera superior, colocándola en el punto del cuarto superior. Asegúrese que ambas abrazaderas queden en planos horizontales.

i) Conéctense los TLDV a la unidad de registro y balancéense los puentes de registro. Esto requerirá ajustes del registrador y ajustes de los vástagos de los TLDV. Cuando se haya obtenido el balanceo de un puente de registro, determínese la separación vertical entre las abrazaderas de los TLDV con aproximación a 0.5 mm (0.02") y regístrese este valor en un formato para suelos cohesivos.

j) Asiéntese la celda de carga en su lugar sobre la parte superior de la muestra, si se emplea la configuración de la celda de carga de la **Figura 6.1_ 165**.

k) Colóquese el cilindro de la cámara y la placa de cubierta. Insértese el pistón de carga y obténgase una conexión firme con la celda de carga.

l) Ajústense firmemente las varillas de unión de la cámara.

m) Deslícese el conjunto del aparato, y colóquelo en posición bajo el dispositivo de carga axial.

n) Bájese el dispositivo de carga y acóplese al pistón de la cámara triaxial.

Conéctese la línea de suministro de presión a la cámara y aplíquese una presión de confinamiento, de 35 kPa (5 lb/pulg²).

o) Conéctese la línea de drenaje del fondo del espécimen a un recipiente de agua destilada desaireada, para la cual pueda controlarse la contrapresión.

p) Reconéctese la línea de drenaje de la parte superior de la muestra a la fuente de vacío a través de la cámara de burbujas. Aplíquese un vacío de 21 kPa (3 lb/pulg²), a la parte superior de la muestra.

q) Abrase la válvula de drenaje del fondo y déjese que el agua suba lentamente a través de la muestra. Cuando aparezca y fluya el agua del espécimen en la línea superior de drenaje, desconéctese la fuente de vacío.

r) Conéctese la línea de drenaje superior a un segundo recipiente de agua destilada desaireada. Manténgase la contrapresión en este recipiente, 35 kPa (5 lb/pulg²) menos que la presión en el recipiente conectado al fondo de la muestra.

s) Elévese la presión de la cámara y la contrapresión lentamente, en incrementos de 35 kPa (5 lb/pulg²) hasta 518 kPa (75 lb/pulg²) y 483 kPa (70 lb/pulg²) respectivamente, teniendo cuidado de mantener aproximadamente la presión de la cámara en 35 kPa (5 lb/pulg²) por encima de la contrapresión en el drenaje del fondo del recipiente, para evitar flujo entre el espécimen y la membrana.

t) Continúese el flujo de agua a través del sistema, manteniendo la diferencia de 35 kPa (5 lb/pulg²) en la contrapresión aplicada a las líneas de drenaje de la parte superior e inferior, hasta que haya sido eliminado todo el aire.

u) Cuando haya sido eliminado todo el aire del espécimen de ensayo, un aumento de la presión de la cámara (con las válvulas de contrapresión de la parte superior y del fondo del recipiente, cerradas) se traducirá en un incremento, aproximadamente igual, en la presión de poros. Cuando se logre esta condición (puede tomar varios días), redúzcase la contrapresión a cero y la presión de la cámara hasta 35 kPa (5 lb/pulg²), teniendo cuidado de mantener la presión de la cámara, 35 kPa más alta que la contrapresión.

v) Después que ambas, la contrapresión y la presión de la cámara, hayan sido reducidas a cero, desconéctense las líneas de drenaje de la parte superior e inferior, y ábranse a la presión atmosférica (cámara triaxial exterior). El espécimen está listo ahora, para el ensayo de resiliencia.

B.COMPACTACIÓN DE ESPECÍMENES DE SUELOS GRANULARES.

Suelos granulares que exhiban suficiente cohesión (aparente) para permitir su manejo (remoción del molde, transporte y sello en la membrana de caucho), se pueden compactar mediante los métodos descritos en los numerales 6 y 7.

No es necesario, sin embargo, considerar efectos por la estructura del suelo. Las excepciones son algunos limos plásticos, que pueden exhibir también propiedades resilientes que dependen de las condiciones de compactación. Los materiales granulares que no pueden manejarse, se compactarán como se describirá más adelante.

9. Relación de humedad-peso unitario.- Cuando es conocida la variación de pesos unitarios en el terreno y de las condiciones de humedad que se representarán con los especímenes de laboratorio, éstos se pueden compactar directamente al contenido de humedad en servicio, empleando los métodos de 26, 27 o 33. Si no están bien definidas las condiciones del

servicio, prepárense y ensáyense especímenes sobre una variación de pesos unitarios secos y contenidos de humedad.

10. Establézcanse las relaciones entre humedad-peso unitario del suelo de acuerdo con el procedimiento del **Método 6.1.4.2.**, empleando martillo de 2.5 kg (55 lb) y caída de 30.5 mm (12")

(Equipo Normal).

11. Compactación de suelos granulares empleando un molde partido y un vibrador. Materiales granulares no cohesivos, son verdaderamente compactados, mediante el empleo de un molde partido montado sobre la base de la celda triaxial como se muestra en la **Figura 6.1_170**. Las fuerzas de compactación son generadas mediante un vibrador, tal como un pequeño martillo neumático operado manualmente. Se necesitan los 26 pasos siguientes para compactar el espécimen:

- a) Ajústese la base de la muestra en su sitio sobre la base de la cámara triaxial. Es esencial que se asegure un sello hermético al aire.

Colóquense las dos piedras porosas más la tapa sobre la base de la muestra (se necesitan dos piedras porosas para especímenes saturados, pero generalmente sólo deberá usarse la piedra inferior para ensayos de especímenes no saturados). Determínese la altura de la base, tapa, y piedras con aproximación al 0.5 mm (0.02") más próximo, y anótese este valor en un formato para suelos granulares, como se muestra en la **Figura 6.1_171**.

- b) Remuévanse la tapa de la muestra y la piedra porosa superior, si ésta es usada; mídase el espesor de la membrana de caucho con un medidor micrométrico. Regístrese este valor en un formato para suelos granulares.

- c) Colóquese la membrana de caucho sobre la base de la muestra y la piedra porosa inferior.

- d) Fíjese la membrana en su sitio con sellos de anillos en O.

- e) Colóquese el molde partido primero alrededor de la base de la muestra y pásese la membrana por dentro del molde. Apriétese firmemente el molde partido en su sitio. Téngase cuidado para evitar pinchazos en la membrana.

- f) Estírese la membrana apretadamente sobre el borde del molde. Aplíquese un vacío al molde, para remover todas las arrugas de la membrana. El empleo de plástico poroso que forme un forro tubular como se muestra en la **Figura 6.1_170**, ayuda a asegurar que la membrana se ajuste exactamente alrededor del perímetro interior del molde. El vacío debe mantenerse durante el procedimiento de compactación.

- g) Úsense calibradores para determinar con aproximación a 0.5 mm (0.02") el diámetro interior de la membrana tubular ajustada al molde. Determínese con aproximación a 0.5 mm (0.02") la distancia desde la parte superior de la piedra porosa, hasta el borde del molde.

- h) Determínese el volumen V del espécimen que se va a preparar. El diámetro del espécimen es el diámetro medido en el paso g), y la altura es un valor menor que el determinado en el paso g) pero al menos de 2 veces el diámetro.

- i) Determínese el peso del material que debe compactarse dentro del volumen V determinado en el paso h), para obtener el peso unitario y el contenido de agua deseados, como se describió en el numeral 3.

j) Determínese el número de capas N que se van a emplear para la compactación. Normalmente, los espesores de las capas serán de 25.4 a 38.1 mm (1" a 1.5"). Determínese el peso del suelo húmedo requerido para cada capa WL, como en el numeral 6, paso a).

k) Colóquese el peso total requerido de suelo, Wad dentro de una bandeja para mezcla. Agréguese la cantidad de agua requerida, Waw y mézclase perfectamente.

l) Determínese el peso del suelo húmedo más el de la bandeja de mezclado, y anótese en un formato para suelos granulares.

m) Colóquese la cantidad de suelo húmedo requerido para una capa WL, dentro del molde.

Téngase cuidado de evitar rebose. Úsese una espátula para quitar el material del borde del molde y fórmese un pequeño montículo en el centro del mismo.

n) Insértese la cabeza del vibrador y víbrese el suelo hasta que la distancia entre la superficie compactada y el borde del molde, sea igual a la distancia medida en el paso g), menos el espesor de la capa escogida en el paso j). Esto puede requerir la extracción e introducción de la cabeza del vibrador varias veces, hasta que por experiencia se obtenga la medición del tiempo de vibración requerido.

o) Repítanse los pasos m) y n) para cada nueva capa. La distancia medida desde la superficie de la capa compactada hasta el borde del molde, es reducida sucesivamente por el espesor de cada nueva capa, a partir del paso j). La superficie final deberá ser un plano pulido y horizontal.

p) Cuando la compactación esté completa, mídase el peso de la bandeja de mezcla más el exceso de suelo, y anótese en un formato para suelos granulares. El peso determinado en el paso l), menos el peso medido ahora, es el peso del suelo húmedo incorporado en los especímenes.

Verifíquese el contenido del agua de compactación, w_c del suelo remanente en la bandeja. La muestra para humedad no deberá pesar menos de 200 g para suelos con tamaño máximo de partículas de 4.75 mm ($N^{\circ}4$) y no menos de 500 g para suelos con tamaño máximo de partículas mayor. Regístrese este valor en el formato para suelos granulares.

q) Colóquese la piedra porosa y la tapa de la parte superior sobre la superficie del espécimen. Si la tapa de la muestra se proyecta por encima del borde del molde, deberá sellarse firmemente la membrana contra la tapa con un anillo de sello O. Si no es así, el sello puede aplicarse más tarde.

r) Conéctese la entrada de vacío-saturación, a una fuente de vacío y aplíquense 35 kPa (5 lb/pulg²) de vacío con una cámara de burbujas. El vacío sirve para detectar escapes y para producir un esfuerzo inducido rígidamente al material, para evitar el colapso cuando se remueva el molde.

s) Remuévase cuidadosamente el molde con la muestra. Séllese la membrana a la tapa de la muestra si no se ha hecho esto. Determínese con aproximación a 0.5 mm (0.02") la altura de la muestra con tapa y base, y el diámetro del espécimen más la membrana tubular. Anótese estos valores en el formato para suelos granulares.

t) Obsérvese la presencia o ausencia de burbujas de aire en la cámara de burbujas. Si no hay burbujas, se ha logrado un sello hermético. Si hay burbujas, compruébense los escapes causados por conexiones mal hechas, huecos en las membranas, o sellos imperfectos en la tapa y en la base. La existencia de un sello hermético asegura que la membrana permanecerá firmemente en contacto con el espécimen. Esto es esencial para el empleo de la abrazadera montada interiormente para los TLDV. Los escapes a través de huecos en las

membranas, pueden eliminarse frecuentemente cubriendo la superficie de la membrana con caucho líquido (látex) o empleando una segunda membrana.

u) Cuando haya sido eliminado el escape, ábrase la abrazadera inferior de los TLDV y colóquese cuidadosamente sobre el espécimen, aproximadamente a la altura del cuarto inferior del espécimen.

v) Repítase el paso u) para la abrazadera superior y colóquese a la altura del cuarto superior.

Asegúrese de que ambas abrazaderas permanezcan en planos horizontales.

w) Conéctense los TLDV a la unidad de registro y balancéense los puentes de registro. Esto requerirá ajustes al registrador y ajuste de los vástagos de los TLDV. Cuando se haya obtenido un registro del puente de balanceo, determínese con aproximación de 0.5 mm (0.02") la separación vertical entre las abrazaderas de los TLDV, y regístrese este valor en un formato para suelos granulares.

x) Colóquese la celda de carga sobre la platina del extremo de la muestra, ensámblase el resto de la celda, y ajústense firmemente las varillas de unión. Deslícese el aparato ensamblado, colóquese en posición bajo el dispositivo de carga axial, y acóplense los pistones del impulsor y de la cámara triaxial.

y) Conéctese la línea de suministro a la cámara de presión y aplíquese una presión de 35 kPa (5 lb/pulg²).

z) Suspéndase la producción de vacío de la entrada de vacío-saturación, y ciérrase esta línea. Si el espécimen va a ser ensayado con el contenido de agua tal como fue compactado, está listo ahora para el ensayo de resiliencia. Si el espécimen va a estar sometido a saturación por contrapresión después de la compactación, se completan los pasos listados en 30 para suelos granulares.

12. Saturación después de la compactación por contrapresión.- Los especímenes de ensayo de suelos granulares, para ser saturados por inundación de contrapresión, son preparados mediante los métodos descritos en el numeral 9. Después de completarlos, háganse los siguientes pasos adicionales, que son necesarios para saturar el suelo:

a) Conéctese el suministro de vacío a la entrada del vacío (en la parte superior del espécimen) y conéctese la línea de drenaje del fondo a una fuente de agua destilada y desaireada.

b) Aplíquese un vacío de 14 a 21 kPa (2 a 3 lb/pulg²), ábrase la línea de drenaje del fondo, y permítase que el agua suba lentamente a través del espécimen.

c) Continúese la inundación con agua a través del sistema para remover todo el aire atrapado. Para evaluar la presencia o ausencia de aire, la respuesta de la presión de agua en los poros para un incremento de la presión de la cámara es observada, como se describe para suelos cohesivos en el numeral 7, paso u).

d) Cuando haya sido eliminado todo el aire, manténgase la presión de la cámara en 69 kPa (10 lb/pulg²), aplicando una contrapresión de 35 kPa (5 lb/pulg²) a la fuente de suministro de agua, mientras se cierra la válvula de producción de vacío. La presión efectiva de confinamiento de 35 kPa (5 lb/pulg²) sobre la muestra, es igual ahora a la presión de la cámara 70 kPa (10 lb/pulg²), menos la contrapresión 35 kPa (5 lb/pulg²).

e) El espécimen está listo ahora para el ensayo de resiliencia.

6.1.4.12.5. PROCEDIMIENTO

A. ENSAYOS DE RESILIENCIA SOBRE SUELOS COHESIVOS.-

Los procedimientos aquí descritos se emplean para especímenes inalterados y especímenes compactados en el laboratorio, de sub-rasantes de suelos cohesivos, como se definen en el “Especímenes compactados de suelos cohesivos”.

13. Conjunto de cámara triaxial. El ensayo de resiliencia de especímenes previamente sometidos a saturación por contrapresión según los procedimientos del numeral 7, se comienzan con el paso descrito en el numeral 14.

Especímenes recortados de muestras inalteradas, y especímenes compactados en el laboratorio, que no hayan sido sometidos a saturación por contrapresión después de la compactación, se colocan en la cámara triaxial y en el aparato de carga, según los siguientes pasos:

- a) Colóquese el conjunto de la base de la cámara triaxial sobre la plataforma de la máquina de carga. Si la cámara tiene una platina de fondo removible (base de la muestra), ajústese firmemente para obtener un sello hermético.
 - b) Remuévanse las platinas de los extremos del espécimen de ensayo, remuévanse los anillos de caucho en O, y luego envuélvanse o enróllense hacia atrás desde los extremos del espécimen a una distancia de aproximadamente 6.4 mm ($\frac{1}{4}$ ”).
 - c) Colóquese una piedra porosa encima del pedestal o sobre la platina del extremo del fondo de la cámara triaxial.
 - d) Colóquese cuidadosamente el espécimen sobre la piedra, dóblese la membrana, y séllese al pedestal o placa del extremo del fondo, con un anillo en O u otro sello de presión.
 - e) Colóquese la platina superior (tapa de la muestra) y la celda de carga sobre la muestra, dóblese la membrana y séllese a la platina superior.
 - f) Ciérrase la válvula sobre la línea de saturación de la placa superior (esta línea no se necesita para el ensayo de resiliencia de muestras no sometidas a la saturación después de la compactación). Cerrando la válvula, se evitará la pérdida de aire de la cámara durante el ensayo.
 - g) Conéctese la línea de drenaje del fondo de la muestra a una fuente de vacío a través del punto medio de una cámara de burbujas. Aplíquese un vacío de 21 kPa (3 lb/pulg²). Si hay burbujas, compruébense los escapes como se describe en el numeral 7, paso e).
 - h) Cuando se haya eliminado el goteo, desconéctese el productor de vacío. Instálese el conjunto de TLV en la cámara triaxial y colóquese bajo el dispositivo de carga axial, como se describe en el numeral 7, pasos g) al n).
14. Conducción del ensayo de resiliencia.- Se necesitan 12 etapas para efectuar el ensayo del módulo resiliente sobre suelo cohesivo instalado en la cámara triaxial y colocado en el aparato de carga, como se describe en el numeral 7 o en el 11.
 - a) Ábranse todas las válvulas de drenaje que conducen al espécimen.
 - b) Si no está ya conectada, conéctese la línea de suministro de la cámara de presión y aplíquese una presión de confinamiento (presión de la cámara) de 41 kPa (6 lb/ pulg²), al espécimen de ensayo.
 - c) Vuélvanse a balancear los puntos de registro para los TLDV y para la celda de carga.

d) Comiencese el ensayo aplicando 200 repeticiones de un esfuerzo desviador de 6.9 kPa (1 lb/-pulg²) y luego 200 repeticiones de cada uno de los valores 14, 28, 55 y 69 kPa (2, 4, 8 y 10 lb/pulg²).

La anterior secuencia de esfuerzos constituye el acondicionamiento de la muestra, esto es, la eliminación de los efectos del intervalo entre la compactación y la carga, y la eliminación del cargue inicial contra la recarga. Este acondicionamiento de carga, ayuda también a disminuir los efectos del contacto inicialmente imperfecto, entre las platinas de los extremos y el espécimen de ensayo.

e) Disminúyase el esfuerzo desviador hasta 6.9 kPa (1 lb/pulg²). Aplíquense 200 repeticiones del esfuerzo desviador y regístrese la deformación recuperada a la repetición N° 200 en un formato para suelos cohesivos.

f) Disminúyase el esfuerzo de confinamiento (presión de cámara), hasta 21 kPa (3 lb/pulg²). Repítase el paso e).

g) Disminúyase el esfuerzo de confinamiento (presión de cámara), hasta cero. Repítase el paso e).

h) Auméntese la presión de confinamiento (presión de la cámara) hasta 41 kPa (6 lb/pulg²), aplíquense 200 repeticiones de carga y regístrese la deformación vertical recobrada a la repetición N°200.

i) Con el esfuerzo desviador en 14 kPa (2 lb/pulg²), aplíquense 200 repeticiones del esfuerzo desviador y regístrese la deformación vertical recuperada a esfuerzos de confinamiento (presiones de cámara) de 21 kPa (3 lb/pulg²) y de cero (0).

j) Continúense registrando las deformaciones verticales, recobradas después de 200 repeticiones del esfuerzo desviador constante, disminuyendo la secuencia de la presión de confinamiento (presión de la cámara), para valores del esfuerzo desviador de 28, 55 y 69 kPa (4, 8 y 10 lb/pulg²).

k) A la conclusión del cargue (con la cámara de presión en cero), desármese la cámara triaxial y remuévanse las abrazaderas de los TLDV.

l) Úsese la muestra completa para determinar el contenido de agua y anótese este valor en el formato para suelos cohesivos.

B. ENSAYO DE RESILIENCIA DE SUELOS GRANULARES

Los procedimientos incluidos en esta parte, se emplean para suelos no cohesivos, saturados y no saturados. Para suelos saturados después de la compactación, empleando los pasos del numeral 10, los esfuerzos de confinamiento buscados para la fase de acondicionamiento, son esfuerzos de confinamiento efectivos, esto es, el esfuerzo de confinamiento es igual a la presión de la cámara menos la contrapresión.

Después de que haya sido preparado el espécimen de ensayo, y de que se haya colocado en el dispositivo de carga, como se describe en los numerales 9 o 10, se necesitan los pasos siguientes para efectuar el ensayo de módulo resiliente:

a) Si todavía no ha sido hecho, ajústese la posición del dispositivo de carga axial o el soporte de la base de la cámara triaxial, en cuanto sea necesario, para acoplar el pistón del dispositivo de generación de carga y el pistón de la cámara triaxial. El pistón de la cámara triaxial deberá soportarse firmemente sobre la celda de carga.

b) Vuélvase a balancear los puentes de registro de datos para los TLDV y la celda de carga.

c) Fíjese el esfuerzo de confinamiento, en 35 kPa (5 lb/pulg²) y aplíquense 200 repeticiones de un esfuerzo desviador axial de 35 kPa (5 lb/pulg²). Para especímenes saturados, la vál-

vula de drenaje de la base del espécimen hasta el recipiente de contrapresión se mantiene abierta durante todo el ensayo de resiliencia.

d) Colóquese el generador de carga axial, para aplicar un esfuerzo desviador de 69 kPa (10 lb/pulg²). Actívese el generador de carga y aplíquense 200 repeticiones de esta carga.

e) Fíjese la presión de confinamiento en 69 kPa (10 lb/pulg²).

f) Aplíquense 200 repeticiones de un esfuerzo desviador axial de 104 kPa (15 lb/pulg²).

g) Fíjese la presión de confinamiento en 104 kPa (15 lb/pulg²) y aplíquense 200 repeticiones de un esfuerzo desviador axial, de 104 kPa (15 lb/pulg²).

h) Aplíquense 200 repeticiones de un esfuerzo desviador axial de 138 kPa (20 lb/pulg²).

i) Si el espécimen es uno de los que han sido saturados mediante los procedimientos de saturación por contrapresión del numeral 10, redúzcase la contrapresión a cero.

j) Comiéncese el registro del ensayo del módulo resiliente, empleando una presión de confinamiento de 138 kPa (20 lb/pulg²), y un esfuerzo desviador de 6.9 kPa (1 lb/pulg²).

k) Regístrese la deformación vertical recuperada, en un formato para suelos granulares, después de aplicadas 200 repeticiones de carga.

l) Auméntese el esfuerzo desviador hasta 14 kPa (2 lb/pulg²) y regístrense las deformaciones verticales recuperadas, después de 200 repeticiones, para niveles de esfuerzo desviador de: 35, 69, 104 y 138 kPa (5, 10, 15 y 20 lb/pulg²).

m) Redúzcase la presión de confinamiento hasta 104 kPa (15 lb/pulg²), y regístrense las deformaciones verticales recobradas, después de la aplicación de 200 repeticiones de carga para cada uno de los siguientes niveles de esfuerzos desviadores: 6.9, 14, 35, 69, 104 y 138 kPa (1, 2, 5, 10, 15 y 20 lb/pulg²).

n) Redúzcase la presión de confinamiento, hasta 69 kPa (10 lb/pulg²) y regístrense las deformaciones verticales recobradas después de la aplicación de 200 repeticiones de cada uno de los siguientes niveles de esfuerzos desviadores: 6.9, 14, 35, 69 y 104 kPa (1, 2, 5, 10 y 15 lb/pulg²).

o) Redúzcanse las presiones de confinamiento hasta 35 kPa (5 lb/pulg²) y regístrense las deformaciones verticales recobradas después de aplicar 200 repeticiones, de cada uno de los siguientes niveles de esfuerzos desviadores: 6.9, 14, 35, 69 y 104 kPa (1, 2, 5, 10 y 15 lb/pulg²).

p) Redúzcase la presión de confinamiento hasta 6.9 kPa (1 lb/pulg²) y regístrense las deformaciones verticales recobradas después de aplicar 200 repeticiones, de cada uno de los siguientes niveles de esfuerzos desviadores: 6.9, 14, 35, 52 y 69 kPa (1, 2, 5, 7.5 y 10 lb/pulg²).

Deténgase el cargue, después de 200 repeticiones del último nivel del esfuerzo desviador, o cuando falle el espécimen.

q) Redúzcase la presión de la cámara hasta cero, desmóntese la celda y remuévanse las abrazaderas de los TLDV.

r) Úsese el espécimen de ensayo completo para determinar el contenido de agua. Regístrese este valor en un formato para suelos granulares.

6.1.4.12.6. CALCULOS

15. Los cálculos se efectúan empleando una disposición tabular a partir de un formato, como se muestra en la Figuras S0308_7 y S0308_8.

6.1.4.12.7. INFORME

A. SUELOS COHESIVOS

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Formatos con cálculos en forma tabular para cada muestra ensayada.
- b) Gráficas que muestren la variación del módulo resiliente, con el esfuerzo desviador y de confinamiento para cada espécimen ensayado.
- c) Dibújense las relaciones de humedad-peso unitario, para los suelos ensayados que muestren líneas de saturación del 100% y 80%, y los puntos (coordenadas) de humedad-peso unitario de los especímenes ensayados.
- d) Observaciones: Anótese cualquier condición inusual u otros datos que sean considerados necesarios, para interpretar apropiadamente los resultados obtenidos.

B. SUELOS GRANULARES.

El informe del ensayo del módulo resiliente de suelos granulares, deberá incluir lo siguiente:

- a) Hojas de datos con cálculos en forma tabulada para cada espécimen.
- b) Gráficas que muestren variaciones del módulo resiliente, con los esfuerzos desviadores y de confinamiento para cada espécimen,
- c) Gráfico logarítmico del módulo resiliente contra la suma de los esfuerzos principales,
- d) Para cada gráfico deberán establecerse las constantes de regresión K1 y K2.
- e) Dibújese la relación humedad-peso unitario para el suelo ensayado, mostrando las líneas de saturación del 100% y del 80%, y los puntos (coordenadas) de humedad-peso unitario, del espécimen ensayado.
- f) Observaciones: Anótese condiciones inusuales u otros datos que se consideren necesarios para interpretar adecuadamente los resultados.

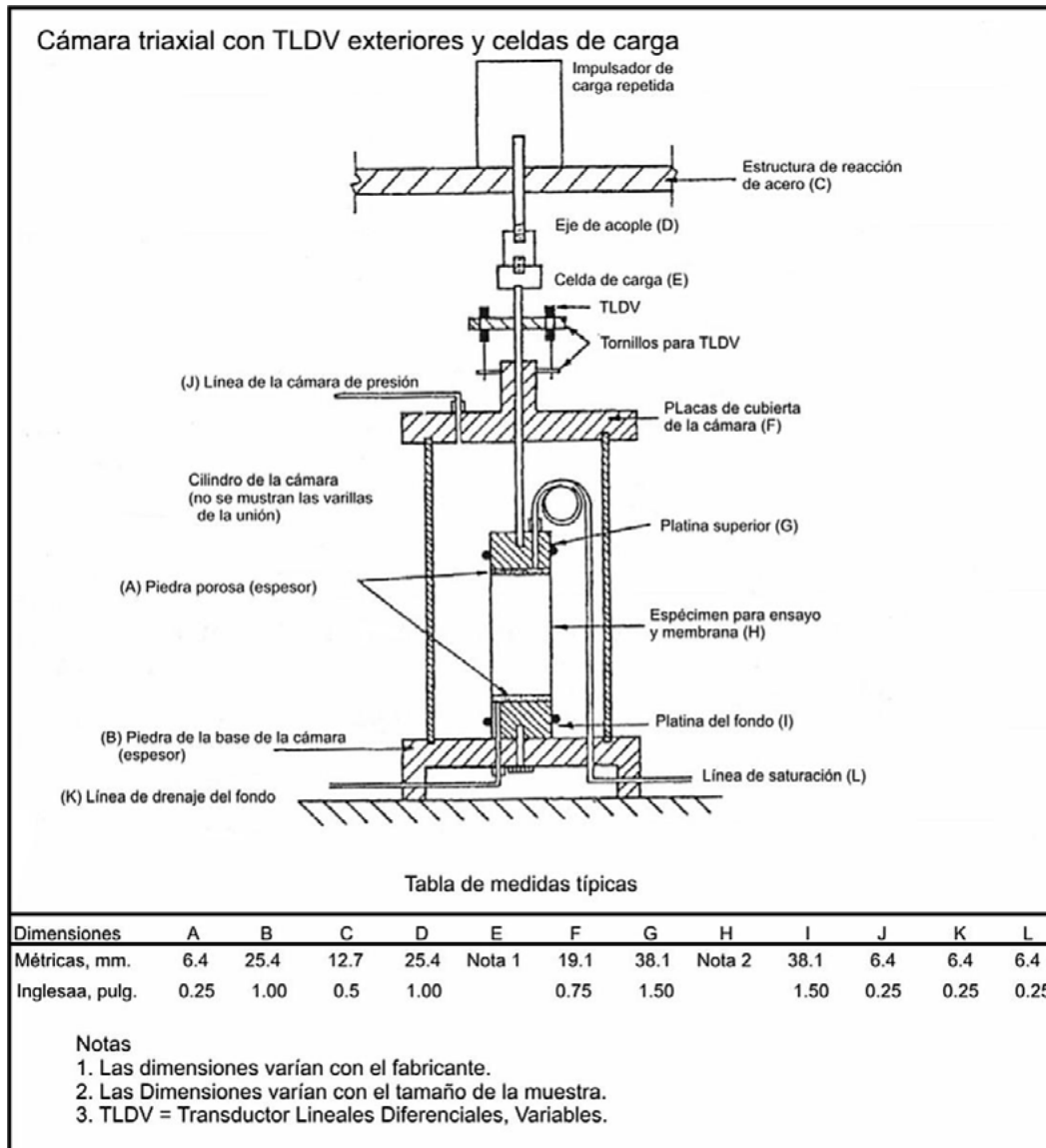


Figura 6.1_165. CÁMARA TRIAXIAL CON TLDV INTERIORES Y CELDAS DE CARGA

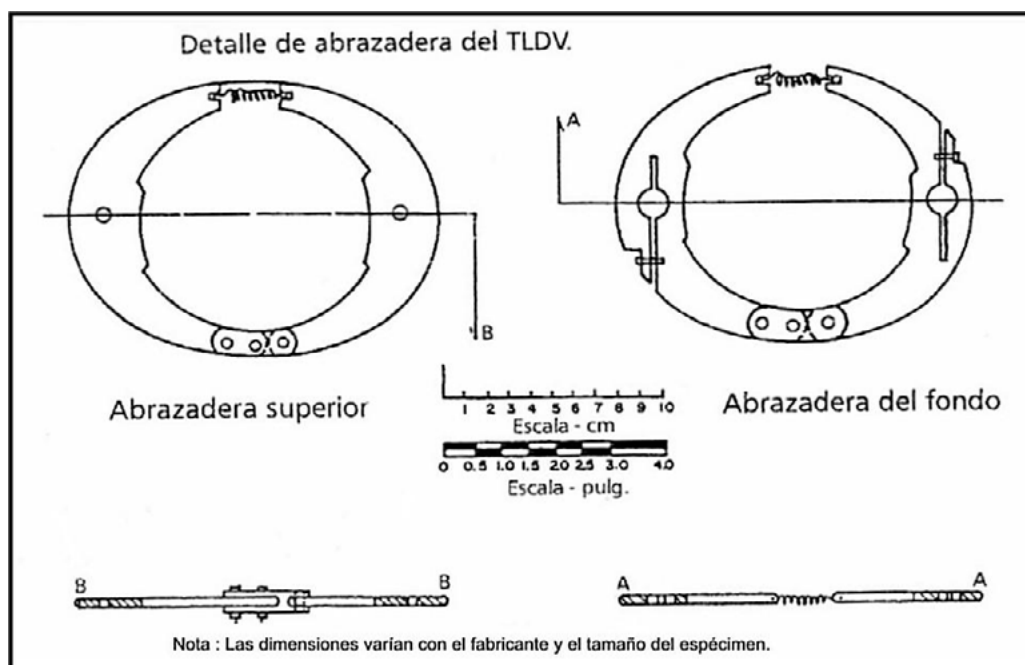


Figura 6.1_166. CÁMARA TRIAXIAL CON TLDV EXTERIORES Y CELDAS DE CARGA

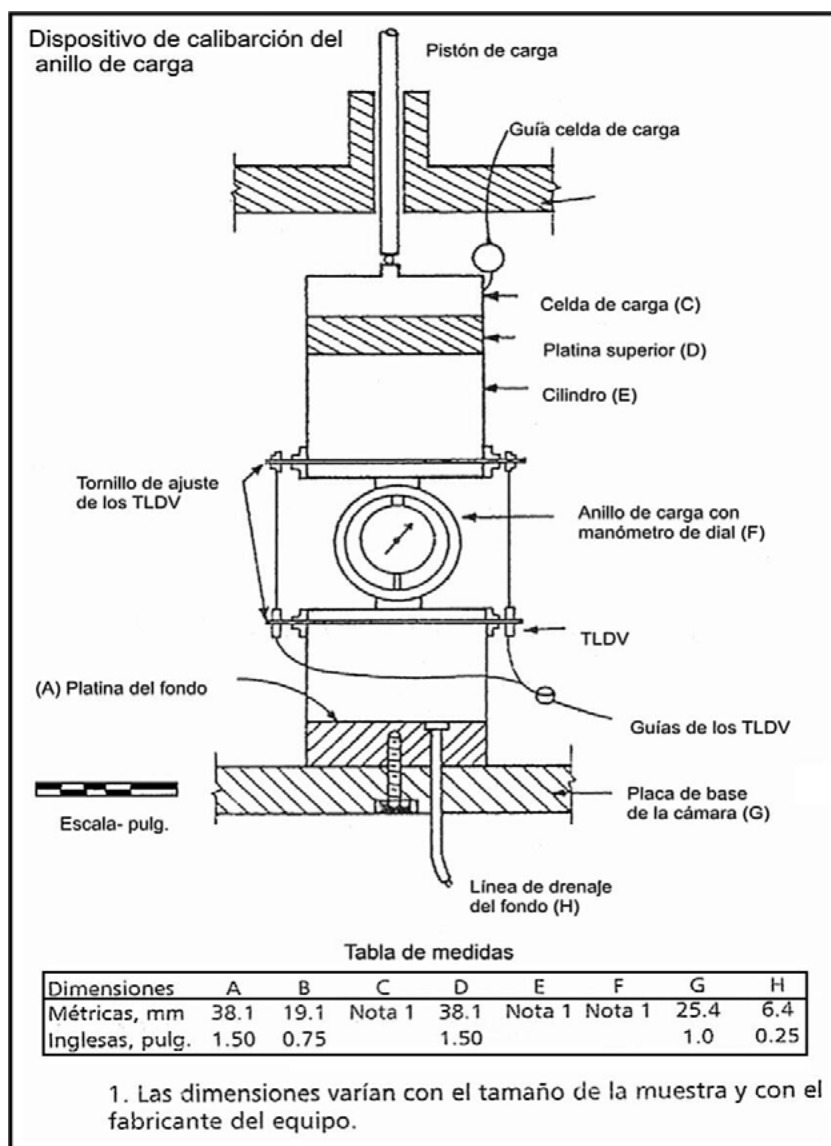


Figura 6.1_167. DETALLE DE LA ABRAZADERA TLDV

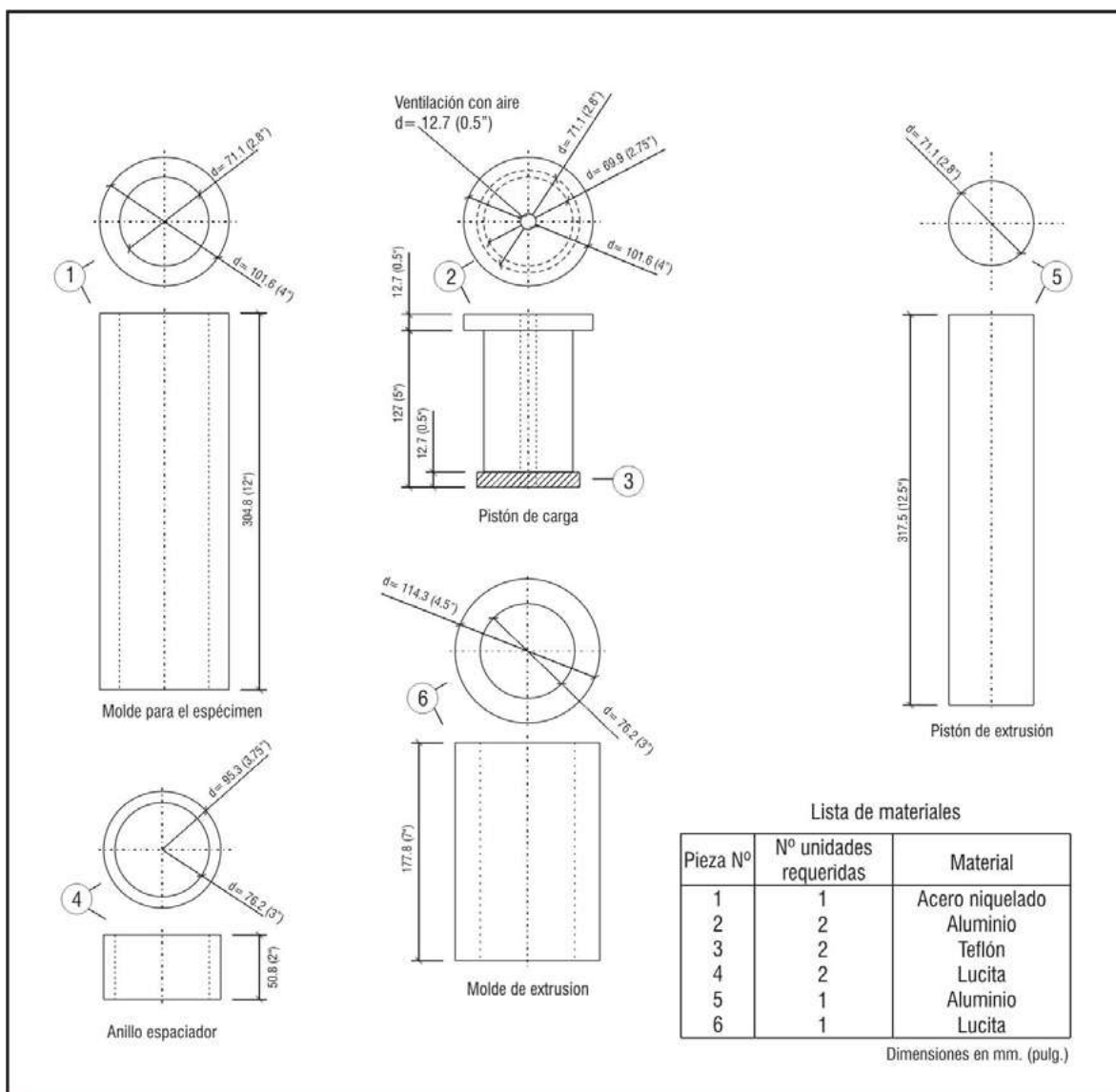


Figura 6.1_168. DISPOSITIVO DE CALIBRACIÓN DEL ANILLO DE CARGA

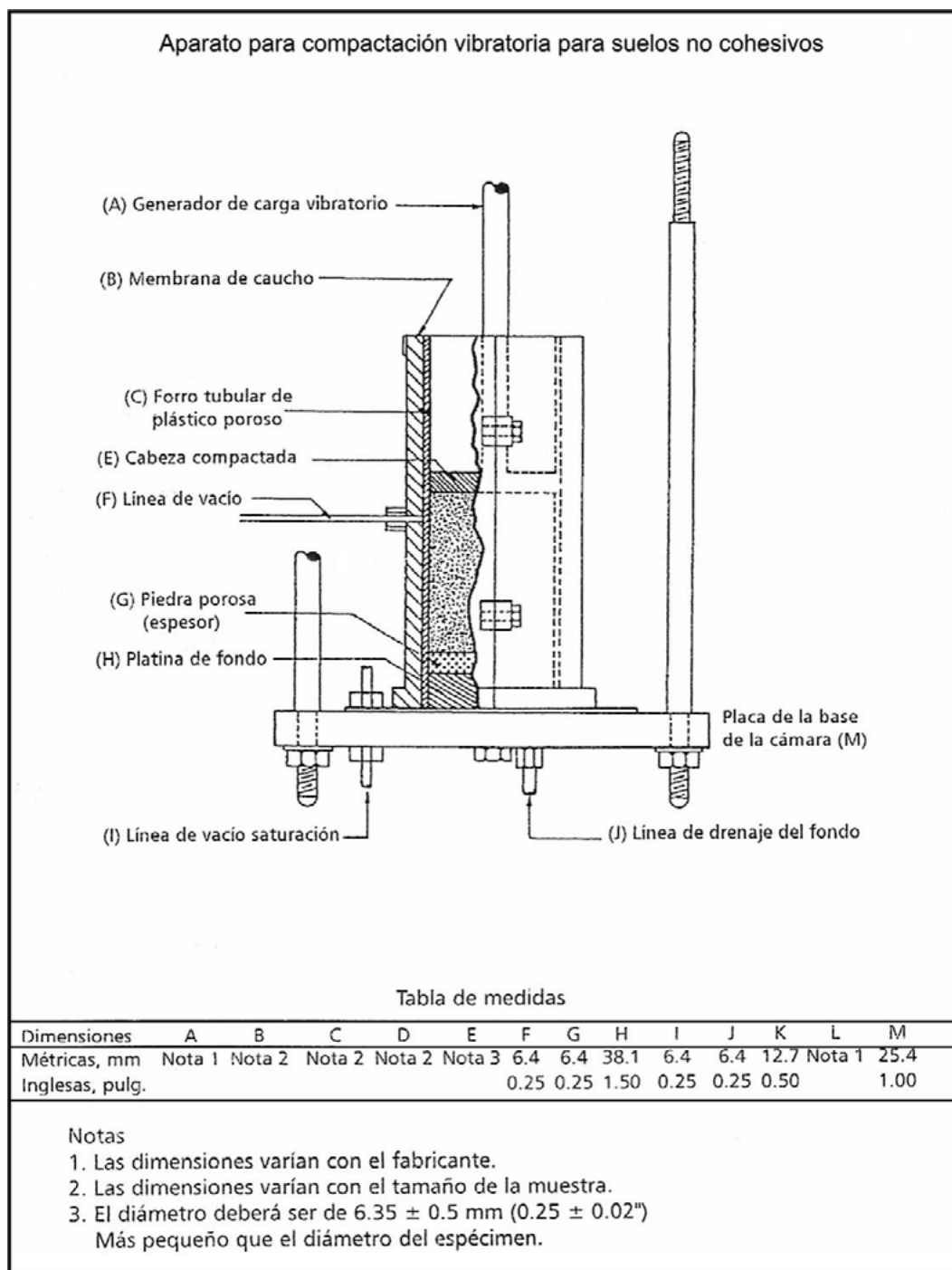


Figura 6.1_169. APARATO PARA COMPACTACIÓN ESTÁTICA

MODULO RESILIENTE PARA SUELOS COHESIVOS									
Obra _____	Peso del espécimen _____	Fecha _____							
Sitio _____	Peso inicial recipiente _____	Método de Compactación _____							
Muestra No _____	+ suelo húmedo, gms _____	Espaciamiento vertical* _____							
Peso específico _____	Peso final recipiente _____	Entre abrazaderas TLDV _____							
	+ suelo húmedo, gms _____	cm (pulg) _____							
Medidas del espécimen de suelo	Peso suelo húmedo usado _____	Constantes _____							
Superior _____		TLDV vertical _____							
Medio _____	Volumen espécimen de suelo _____	Carga de la celda _____							
Diámetro cm (pulg)	Area inicial A ₀ _____								
Inferior _____	cm ² (pulg ²) _____								
Promedio _____				Contenido de agua después del					
Espesor de la membrana _____	Volumen A ₀ L ₀ _____			Ensayo de Resiliencia % _____					
Diámetro neto cm (pulg) _____	cm ³ (pulg ³) _____			Observaciones _____					
Alt. espécimen + tapa + base _____	Peso unitario húmedo _____								
Alt. tapa + base _____	Kg /m ³ (lbs/pie ³) _____								
Longitud inicial L ₀ _____	Agua de compactación, w _c , % _____								
	% Saturación _____								
	Peso unitario seco _____								
	Kg/m ³ (lbs/pie ³) _____								
Esfuerzo de desviación nominal σ_d	Presión de la cámara σ_3	Carga de la celda lectura del gráfico	Carga de desviación	σ_d aplicado	Deformación recuperable TLDV lectura del gráfico	Deformación recuperable	ϵ_r	M _r = σ_d/ϵ_r	
kPa(lbs/pulg ²)	kPa(lbs/pulg ²)		kN(lbs)	kPa(lbs/pulg ²)		mm(pulg)	mm/mm (pulg/pulg)	kPa(lbs/pulg ²)	
* No aplicable a TLDV montado exteriormente									

Figura 6.1_170. APARATO PARA COMPACTACIÓN VIBRATORIA DE SUELOS NO COHESIVOS

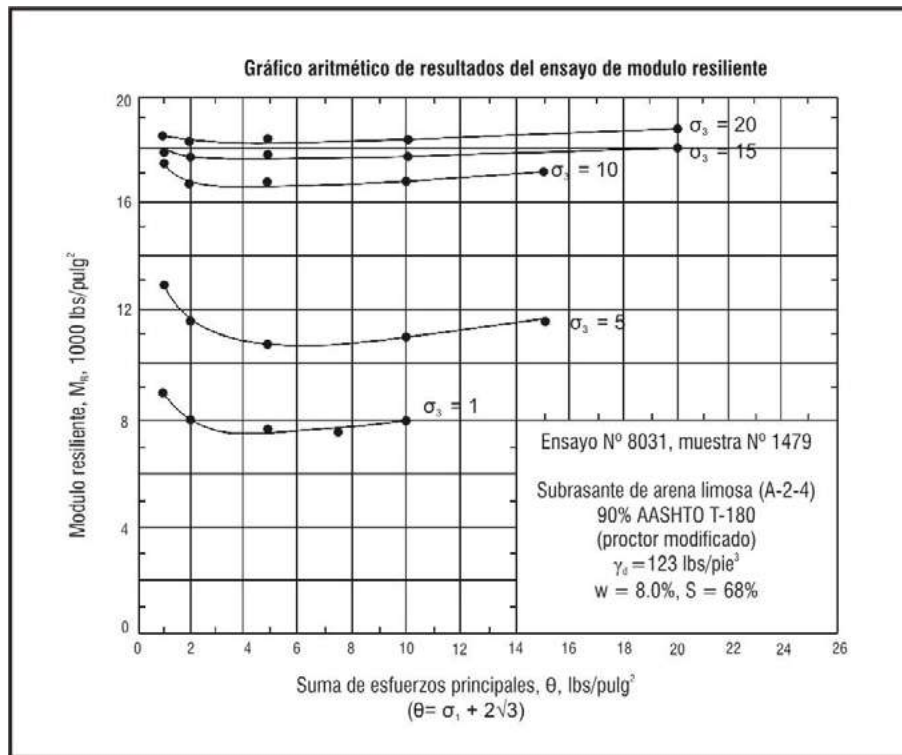


Figura 6.1_172. GRÁFICO ARITMÉTICO DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE MÓDULO DE RESILIENTE

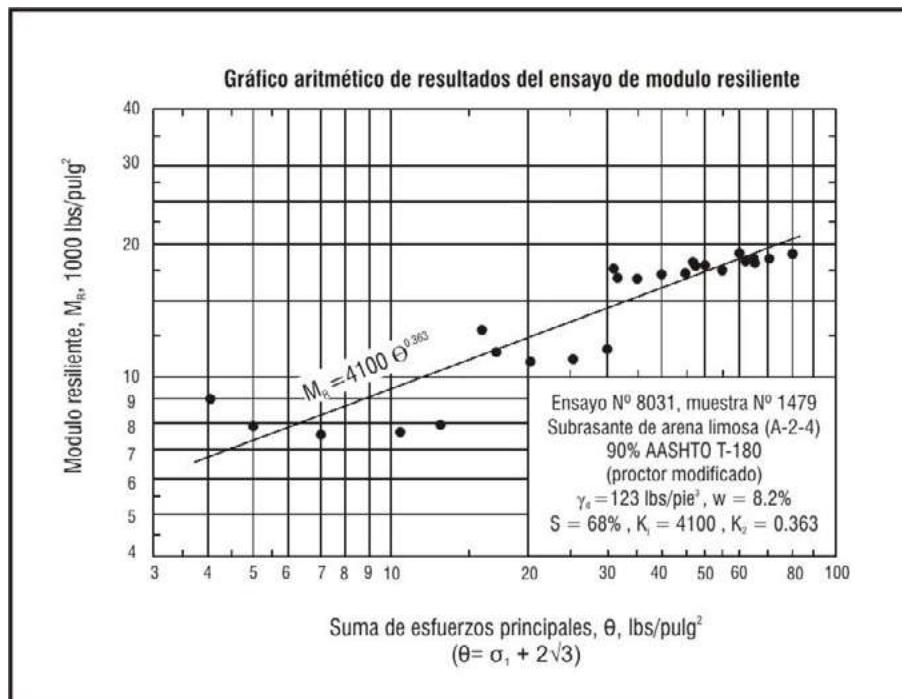


Figura 6.1_173. GRÁFICO LOGARÍTMICO DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE MÓDULO RESILIENTE

SECCION 6.1.4.13. DETERMINACIÓN DE LA SUCCIÓN DE UN SUELO CON EL MÉTODO DEL PAPEL DE FILTRO (AASHTO T273)

6.1.4.13.1. OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar la succión matricial de muestras inalteradas de suelo, por medio del método del papel de filtro.

6.1.4.13.2. USO Y SIGNIFICADO

En todas las obras viales en las cuales se encuentre involucrado el suelo como material de construcción, se deben tener en cuenta las condiciones de saturación parcial, que hacen que la resistencia del suelo se incremente. Por lo tanto, al tener en cuenta el término de la succión en el diseño, se van a obtener obras más económicas y funcionales.

Uno de los usos principales de los datos de succión es la determinación del perfil de humedad de equilibrio. La humedad de equilibrio que se obtiene mucho tiempo después de construida una estructura, como resultado del movimiento del agua del suelo de zonas de baja succión a zonas de alta succión. La medición de la succión en una arcilla parcialmente saturada permite la predicción de dicho perfil de equilibrio. Esto es de mucha importancia debido a la estrecha relación entre la humedad y el CBR, los cuales se utilizan para el diseño de espesores de pavimento.

Otro uso importante de los datos de succión, consiste en la predicción del levantamiento de suelos potencialmente expansivos. En nuestro medio son muy comunes los depósitos arcillosos extensos, con potenciales de expansión altos. En el análisis de dichos depósitos resulta importante la presión de succión, que se genera cuando son sometidos a procesos de compactación, lo que hace variar notablemente el estado de esfuerzos. Por lo tanto, en la predicción teórica del cambio volumétrico de este tipo de suelos, se debe incorporar la succión en las ecuaciones.

Adicional a las aplicaciones anteriores, los datos de succión son útiles en el análisis de problemas en obras construidas en zonas donde se presentan hierbas, árboles u otras plantas.

En estos casos, las raíces producen un fenómeno adicional de desecación, debido a la tensión en la fase de agua, llegando a extraerla del suelo. Por lo tanto, se genera un fenómeno de succión, que origina agrietamientos a la estructura del suelo. Con la medición de la succión se puede evaluar ese potencial y tenerlo en cuenta en el diseño.

6.1.4.13.3. DEFINICIONES

B.1. Succión matricial (hm)

Se define como la presión negativa que debe aplicarse al agua que tiene una composición idéntica a la del suelo, para que alcance el equilibrio con ésta a través de una membrana semipermeable. Esta succión depende de las fuerzas de atracción entre el agua y los cationes del suelo, de las fuerzas de tensión superficial y de las cargas externas.

B.2. Succión osmótica (hs)

Se define como la presión negativa a la cual debe someterse el agua químicamente pura, para que esté en equilibrio, a través de una membrana semipermeable, con el agua del suelo. Esta componente depende de la presencia de sales disueltas en el agua del suelo y no depende de la sobrecarga; para la mayoría de los efectos prácticos, esta componente se puede despreciar.

B.3. Succión total del suelo (h)

El término succión total del suelo se define como la presión negativa, con respecto a la presión externa (atmosférica), que debe aplicarse al agua químicamente pura que se encuentra en un depósito, para que alcance el equilibrio con el agua del suelo a través de una membrana semipermeable (permite únicamente el paso a moléculas de agua). La succión total también se expresa como la suma de dos componentes: succión matricial (hm) y succión osmótica (hs).

B.4. Unidades de medida

La succión en un suelo saturado es cero, pero en suelos muy secos se introducen fuerzas de succión que pueden alcanzar valores de miles de atmósferas. Debido a que este intervalo de variación es muy amplio, se acostumbra a utilizar la escala logarítmica para su descripción. La unidad empleada en este caso es el pF, y se define así:

$$1pF = \log_{10} h$$

Donde:

h: presión negativa expresada en cm de agua.

En la Tabla 6.1_31 se incluye la relación entre las diferentes escalas:

Tabla 6.1_31.

pF	cm de agua	Psi	Kg/cm ²	kPa
0	1	0,014	1x10 ⁻³	0,098
1	10	0,14	1x10 ⁻²	0,98
2	10 ²	1,42	1x10 ⁻¹	9,81
3	10 ³	14,22	1	9,81x10 ¹
4	10 ⁴	142,23	10	9,81x10 ²
5	10 ⁵	1422,32	10 ²	9,81x10 ³
6	10 ⁶	14223,29	10 ³	9,81x10 ⁴
7	10 ⁷	142232,94	10 ⁴	9,81x10 ⁵

B.5.Método de medición

El método del papel de filtro compara el potencial del agua del suelo con el potencial de retención de agua en un medio poroso, en este caso el papel de filtro Whatman N°42, cuyo rango de medición llega hasta 7pF.

En la **Figura 6.1_174** se presenta la curva Succión-Humedad hecha por R.G. Fawcett y N. Collis George (1967) para papel de filtro N°42. La succión se determina así, midiendo directamente la humedad del papel de filtro.

Para el papel de filtro Schleicher and Schuell N° 589 Cinta Blanca se muestra su curva de calibración en la **Figura 6.1_175**.

6.1.4.13.4. EQUIPOS Y MATERIALES

- Tubo de PVC de 50.8 mm (2 pulg.) de diámetro y 70 mm de longitud.
- Papel de filtro: puede ser Whatman N°42, el cual se presenta comercialmente en forma de círculos de 70 mm de diámetro, o Schleicher and Schuell N° 589 Cinta Blanca. Para este ensayo se debe disponer de dos círculos de 70 mm y uno de 50 mm, por cada muestra.
- Vasos plásticos de aproximadamente 50 mm de diámetro en la base y con una altura de 35 mm. Comercialmente, estos vasos se consiguen más largos, pero se pueden cortar para cumplir este último requisito.
- Papel de aluminio perforado. Para cada muestra es necesario un fragmento rectangular de 160 mm por 70 mm y dos circulares de 50 mm de diámetro. Cada uno de estos fragmentos debe perforarse; el diámetro de cada agujero debe ser de aproximadamente 1 mm y la separación máxima entre los mismos de 3 mm.
- Cinta adhesiva de 76.2 mm (3 pulg.) de ancho.
- Balanza analítica.
- Recipiente aislante térmico.
- Equipo complementario y accesorio.
- Pinzas, perforador, cortador de papel y rótulos autoadhesivos.

6.1.4.13.5. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

1. Las muestras deberán ser tomadas con un tubo de pared delgada y transportadas de acuerdo a los procedimientos del **Método 6.1.2.1**.
2. Córtese una muestra de 70 mm de longitud; remuévase todo tipo de material extraño adherido a la superficie. Envuélvase la parte lateral de la muestra con el fragmento rectangular de papel de aluminio previamente perforado y colóquense en cada cara los fragmentos circulares.

6.1.4.13.6. PROCEDIMIENTO

- a. Séllese uno de los extremos del tubo de PVC con el vaso plástico. Con el fin de facilitar al final el proceso de sellado hermético, háganse una serie de cortes a lo largo del vaso, de aproximadamente 2.5 cm.
- b. Colóquense dos círculos de papel de filtro dentro del tubo y luego la muestra previamente preparada, teniendo cuidado de no obstruir las perforaciones del papel de aluminio y garantizando que la muestra quede en contacto con el papel de filtro.
- c. Colóquese un círculo de papel de filtro de 5 cm. en la parte superior de la muestra.

Nota 1: *En la base de la muestra no se debe colocar papel de filtro porque el agua que a él llega será obtenida por acción de la gravedad.*

- d. Séllese el montaje con otro vaso plástico de las mismas características que se indicaron en el numeral 2. Hágase una pequeña perforación en la parte superior de éste último vaso, con el fin de sacar el aire que pueda quedar incluido y que quede sometido a presión.
- e. Para garantizar la hermeticidad total, envuélvase todo el montaje con la cinta adhesiva de 3 pulg. Colóquese un rótulo autoadhesivo indicando la posición de la cara superior en la cual se colocó el papel de filtro.
- f. Déjese el montaje en el cuarto húmedo, donde se deberán mantener constantes las condiciones de humedad y temperatura, por un lapso de 7 días.
- g. Al final del séptimo día, desmóntese la muestra y determínese inmediatamente el peso húmedo de los papeles de filtro.
- h. Colóquese los papeles de filtro al horno a 100°C durante una hora.
- i. Extráigase el papel del horno y colóquese en un recipiente aislante y térmico. Determínese el peso seco del papel.

6.1.4.13.7. CÁLCULOS

Determínese la humedad del papel de filtro así:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{A}{B} \times 10$$

Donde:

A: Peso del papel de filtro despues desecado al horno.

B: Peso del papel de filtro antes del secado.

Con ayuda de la **Figura S0213_1**, léase directamente la succión en unidades pF, entrando con la humedad de papel de filtro.

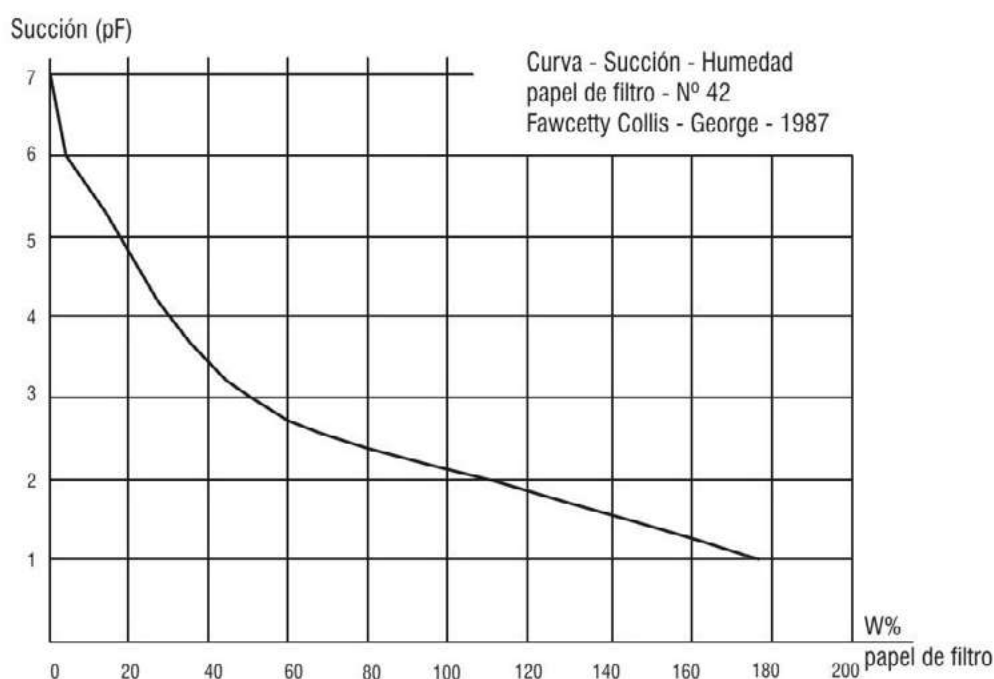


Figura 6.1_174. CURVA SUCCIÓN HUMEDAD PAPEL DE FILTRO WHATMAN N° 42

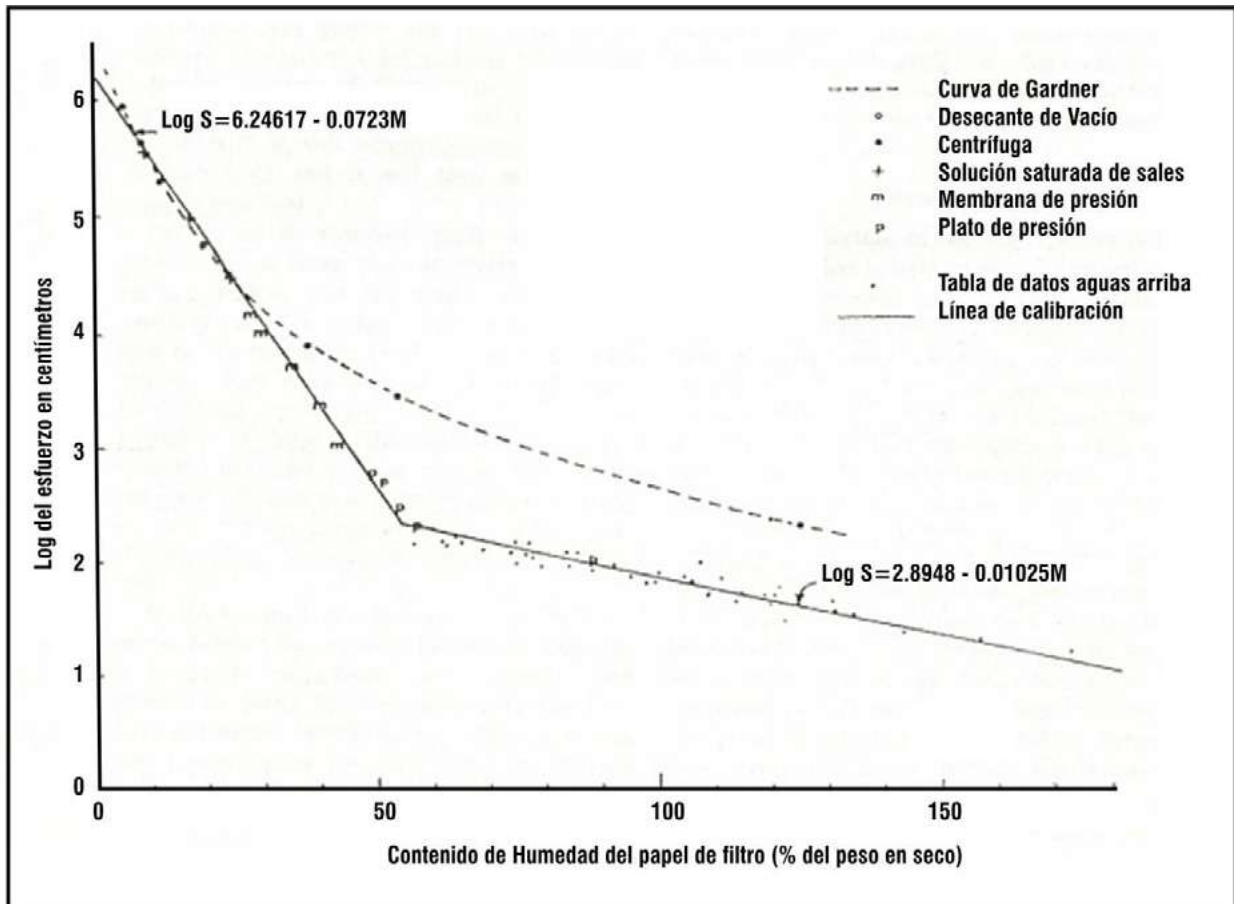


Figura 6.1_175. CURVA SUCCIÓN HUMEDAD PAPEL DE FILTRO SCHLEICHER AND SCHUELL N° 589 CINTA BLANCA

CAPITULO 6.1.5.

ENSAYOS DE VERIFICACIÓN Y MONITOREO “IN SITU” (ENSAYOS DE CAMPO)

SECCION 6.1.5.1.

VERIFICACIÓN DEL PESO UNITARIO DEL SUELO, MÉTODO DEL CONO DE ARENA (ASTM D1556 AASHTO T191)

6.1.5.1.1. OBJETO

Este método establece un procedimiento para determinar en terreno la densidad de suelos cuyo tamaño máximo absoluto de partículas sea menor o igual a 50 mm (2") en un caso y menor o igual a 150 mm. (6") en el otro.

Este procedimiento está referido a dos equipos utilizados en la medición del volumen de la perforación: cono de arena de 6" (cono convencional) cono de arena de 12" (macro-cono).

6.1.5.1.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A. CONOS DE DENSIDAD

A.1. Cono Convencional

Es un aparato medidor de volumen, provisto de una válvula cilíndrica de 12,5 mm de abertura, que controla el llenado de un cono de 6" de diámetro y 60° de ángulo basal. Un extremo termina en forma de embudo y su otro extremo se ajusta a la boca de un recipiente de aproximadamente 5 l de capacidad. La válvula debe tener topes que permitan fijarla en su posición completamente cerrada o completamente abierta. El aparato debe llevar una placa base. **(Ver Figura 6.1_ 176).**

Nota 1: *El aparato descrito puede usarse con perforaciones de ensayo de aproximadamente 3 litros.*

Nota 2: *El uso de la placa base facilita la ubicación del cono de densidad, permite reducir pérdidas al transferir el suelo desde la perforación al envase y proporciona una base más sólida en suelos blandos. Esta placa debe considerarse como parte constituyente del cono de densidad durante el ensayo.*

A.2. Macro-cono

Es un aparato medidor de volumen, de forma similar al descrito en 1 a), construido proporcionalmente a una escala mayor y que utiliza la misma válvula que el cono convencional.

A diferencia de este último, el macro-cono controla el llenado de un cono de 12" de diámetro y su recipiente tiene una capacidad aproximada de 35 l. **(Ver Figura 6.1_ 177)**

Este equipo permite el control de capas de suelo de espesor mayor que 20 cm. y de hasta 150mm (6") de tamaño máximo absoluto de partículas.

Este aparato utiliza la misma arena normalizada que el cono convencional. La densidad de esta arena debe ser calibrada con una medida volumétrica de altura igual al espesor de la capa por controlar.

B. ARENA NORMALIZADA DE ENSAYO

Se compone de partículas cuarzosas sanas, subredondeadas, no cementadas y comprendidas entre 2 mm y 0,5 mm. Debe estar lavada y seca en horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$.

Para calibrar la arena deben efectuarse cinco determinaciones de su densidad aparente empleando la misma muestra representativa, de acuerdo con el punto 11.

Para su aceptación, la diferencia entre los valores extremos de las cinco determinaciones efectuadas no deberá exceder de 1,5 % respecto de la media aritmética de ellas.

C. DEPÓSITO PARA CALIBRACIÓN DE LA ARENA

a) En el caso del cono convencional, el depósito consiste en un recipiente metálico, de forma cilíndrica, de 165 mm de diámetro interior, impermeable y una capacidad volumétrica entre 3 y 3,5 litros.

b) En el caso del macro-cono, el depósito consiste en un recipiente metálico, también de forma cilíndrica, de 300 mm de diámetro interior, impermeable y una capacidad volumétrica aproximada de 21 litros.

D. BALANZAS

Una con capacidad de 20 Kg. y precisión de 1 g cuando se utilice el cono convencional, y otra de 50 Kg. y precisión de 10 g cuando se use el macro-cono.

E. EQUIPO DE SECADO

Según Método para Determinar el Contenido de Humedad (**S0301**).

F. ENVASES

Recipientes con tapa, tarros de hojalata sin costura con tapa hermética, bolsas de polietileno u otros recipientes adecuados para contener las muestras y la arena de ensayo, respectivamente.

G. HERRAMIENTAS Y ACCESORIOS

Picota, chuzo, pala, para despejar o alcanzar la cota del punto de medición; combo, cuchillo, martillo, pala jardinera, punto, cincel, cuchara, brocha y huincha de medir, para cavar la perforación de ensayo; termómetro y placas de vidrio para calibrar los depósitos, regla metálica para enrase, libreta de apuntes y/o fichas de registro de datos.

H. CALIBRACIÓN DE LA ARENA DE ENSAYO

H.1. Determinación de la capacidad volumétrica del depósito.

- Coloque el depósito limpio y seco sobre una superficie firme y horizontal.
- Llene el depósito con agua a temperatura ambiente y enrase con una placa de vidrio, eliminando burbujas de aire y el exceso de agua.
- Determine la masa de agua que llena el depósito (m_W), aproximando a 1 g.
- Mida la temperatura del agua y determine su densidad (ρ_W), de acuerdo con la **Tabla 6.1_32**.
- Determine y registre la capacidad volumétrica (V_m), aproximando a 1 cm^3 , dividiendo la masa de agua que llena el depósito por su densidad:

$$V_m = \frac{m_W}{\rho_W}$$

Tabla 6.1_32. DENSIDAD DEL AGUA SEGÚN LA TEMPERATURA

Temperatura °C	Densidad (g/cm ³)
8	0,9999
9	0,9998
10	0,9997
11	0,9996
12	0,9995
13	0,9994
14	0,9993
15	0,9991
16	0,9990
17	0,9988
18	0,9986
19	0,9984
20	0,9982
21	0,9980
22	0,9978
23	0,9976
24	0,9973
25	0,9971
26	0,9968
27	0,9965
28	0,9963

I. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE DE LA ARENA DE ENSAYO

- Llene el aparato de densidad con la arena de ensayo, evitando cualquier derrame de ésta.
- Coloque el depósito limpio y seco en una superficie plana, firme y horizontal; monte sobre él la placa base y posicione el aparato de densidad sobre la placa.
- Abra la válvula y manténgala abierta hasta que la arena deje de fluir.
- Retire el aparato de densidad, la placa base y el exceso de arena. Enrase cuidadosamente con una regla metálica, evitando producir vibración. Una vez efectuado el enrase, asiente la arena dando golpes suaves en el manto del depósito.
- Determine la masa de arena que lleva el depósito (m_A), aproximando a 1 g.
- Determine la densidad de la arena (ρ_A), dividiendo la masa de ésta que llena el depósito por la capacidad volumétrica del depósito:

$$\rho_A = \frac{m_A}{V_M}$$

- Efectúe esta determinación cinco veces. Para su aceptación, la diferencia entre los valores extremos de las cinco determinaciones realizadas no deberá exceder de 1,5%, respecto de la media aritmética de ellas. De no cumplirse esta condición, repita el ensayo.
- Determine y registre la densidad aparente de la arena de ensayo como el promedio de los cinco valores obtenidos. Expresé el resultado en g/cm³, con una aproximación de dos decimales.

Nota 3: *Un lapso prolongado entre esta determinación y el empleo de la arena en terreno puede alterar la densidad por un cambio en su contenido de humedad o en su gradación efectiva.*

J. DETERMINACIÓN DE LA MASA DE ARENA QUE LLENA EL CONO BASAL

- a) Llene el aparato de densidad con arena. Determine y registre su masa (mI), aproximando a 1 g.
- b) Coloque la placa base sobre una superficie plana, firme y horizontal, asentando el aparato de densidad sobre la placa.
- c) Abra la válvula y manténgala abierta hasta que la arena deje de fluir.
- d) Cierre la válvula. Determine y registre la masa del aparato más la arena remanente (mF), aproximando a 1 g.
- e) Determine y registre la diferencia entre las masas inicial y final como la masa de arena que llena el cono basal (mC), aproximando a 1 g:

$$m_C = m_I - m_F$$

- f) Efectúe esta operación tres veces. Para su aceptación, la diferencia entre los valores extremos de las tres determinaciones realizadas no deberá exceder de 1,0 %, respecto de la media aritmética de ellas.

K. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL SUELO EN EL TERRENO

Determinación del volumen de la perforación de ensayo:

- a) Seleccione y prepare la superficie del punto por controlar, nivelándola si fuese necesario para conseguir un buen asentamiento de la placa.
- b) Coloque la placa base sobre la superficie nivelada.
- c) Proceda a excavar dentro de la abertura de la placa base, iniciando la excavación con un diámetro menor que ésta y afinando luego hacia los bordes. La profundidad de la excavación debe ser similar al espesor de la capa bajo control.

Nota 4: *Al ejecutar la excavación se debe tener cuidado de no alterar las paredes del suelo que delimitan la perforación, especialmente en el caso de suelos granulares.*

- d) Coloque todo el suelo excavado en un envase o bolsa, el cual debe cerrar herméticamente para conservar la humedad del suelo y evitar posibles pérdidas de material o contaminación.

Nota 5: *En caso que al efectuar la perforación se encuentre una o más partículas cuyos tamaños máximos absolutos excedan los valores indicados en 1 (50 o 150 mm según corresponda), éstas no serán devueltas a la excavación, debiéndose determinar su masa y volumen), para restar luego dichos valores a las respectivas medidas de terreno.*

- e) Determine y registre la masa del aparato de densidad con el total de arena (mti), aproximando a 1 g. Asiente el aparato de densidad sobre la placa, abra la válvula y ciérrela una vez que la arena ha dejado de fluir.
- f) Determine y registre la masa del aparato más la arena remanente (mtf), aproximando a 1 g.
- g) Determine y registre la masa de arena contenida en la perforación de ensayo (mP), aproximando a 1 g.

$$m_p = (mt_i - mt_f) - m_c$$

h) Recupere la arena de ensayo y déjela en un envase aparte para su posterior acondicionamiento.

Previo a su nueva utilización, ésta debe cumplir con los requisitos establecidos en el punto de arenas normalizadas de ensayo.

i) El volumen de la perforación de ensayo (VP) se calcula como:

$$V_p = \frac{m_p}{\rho_a}$$

Donde:

V_p : Volumen de la perforación de ensayo (cm³).

m_p : Masa de arena contenida en la perforación de ensayo (g).

ρ_a : Densidad aparente de la arena de ensayo (g/cm³)

Determinación de la masa seca del material extraído de la perforación de ensayo.

6.1.5.1.3. MANUALES TÉCNICOS

a) Inmediatamente después de extraer todo el material de la perforación de ensayo, determine y registre su masa húmeda (mh), aproximando a 1 g. Envase en frascos o bolsas, herméticamente a fin de conservar su humedad y evitar posibles pérdidas de material o contaminación.

b) Extraiga una muestra representativa de este material, del tamaño indicado en la **Tabla 6.1_33**, para suelos cuyos tamaños máximos absolutos de partículas no superen los 50 mm y sean controlados con el cono convencional.

En el caso de suelos con tamaño máximo absoluto de partículas de hasta 150 mm (6") y que, por lo tanto, deban controlarse mediante el macro-cono, considere una masa mínima de muestra de 24 Kg. para la determinación de humedad.

En el caso de suelos naturales de tamaños máximos mayores que 3" (80 mm) y menores o iguales que 6" (150 mm), controlados con el macro-cono, considere para la determinación de humedad una masa mínima de muestra de 36 kg.

Tabla 6.1_33. MASA MÍNIMA DE MUESTRA PARA DETERMINAR LA HUMEDAD EN SUELOS DE TAMAÑO MÁXIMO ABSOLUTO MENOR O IGUAL QUE 50 MM.

Tamaño maximo absoluto de paticulas (mm0)	Masa minima de muestra (g)
50	3.000
25	1.000
12,5	750
5	500
2	100
0,5	10

Determine la humedad (w) de la muestra en laboratorio, según Método para Determinar el Contenido de Humedad (**Método 6.1.3.1**).

Nota 6: En suelos en que predominan las partículas gruesas es recomendable determinar la humedad sobre el total del material extraído.

6.1.5.1.4. CÁLCULOS

Determinación de la masa seca del material extraído de la perforación de ensayo.

Determine la masa seca del material extraído de la perforación de ensayo mediante la expresión:

$$m_s = \frac{m_h}{1 + \frac{w}{100}}$$

Donde:

m_s : Masa seca del material extraído de la perforación de ensayo (g).

m_h : Masa húmeda del material extraído de la perforación de ensayo (g), sin incluir las partículas de tamaño superior a 50 mm en caso de controlarse la densidad mediante el Método Proctor Modificado u 80 mm en caso de efectuarse mediante densidad relativa, según corresponda.

w: Humedad del suelo determinada según **Método 6.1.3.1.** (%)

Determinación de la densidad del suelo.

La densidad seca del suelo se determina mediante la expresión:

$$\rho_d = \frac{m_s}{V_p}$$

Donde:

ρ_d : Densidad del suelo seco (g/cm³)

m_s : Masa seca del material extraído de la perforación de ensayo (g)

V_p : Volumen de la perforación de ensayo (cm³), sin incluir las partículas de tamaño superior a 50 mm en caso de controlarse la densidad mediante el Método Proctor Modificado u 80 mm en caso de efectuarse mediante densidad relativa, según corresponda.

Nota 7: La densidad del suelo puede expresarse también como densidad del suelo húmedo, indicando además la humedad correspondiente (w) de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$\rho_h = \frac{m_h}{V_p}$$

Donde:

ρ_h : Densidad del suelo húmedo (g/cm³)

Nota 8: Combinando las últimas fórmulas puede expresarse la densidad del suelo seco en función de la densidad del suelo húmedo y del porcentaje de humedad, mediante la relación:

$$\rho_d = \frac{\rho_h}{1 + \frac{w}{100}}$$

Donde:

ρ_d : Densidad del suelo seco (g/cm^3).

ρ_h : Densidad del suelo húmedo (g/cm^3).

w: Humedad del suelo (%).

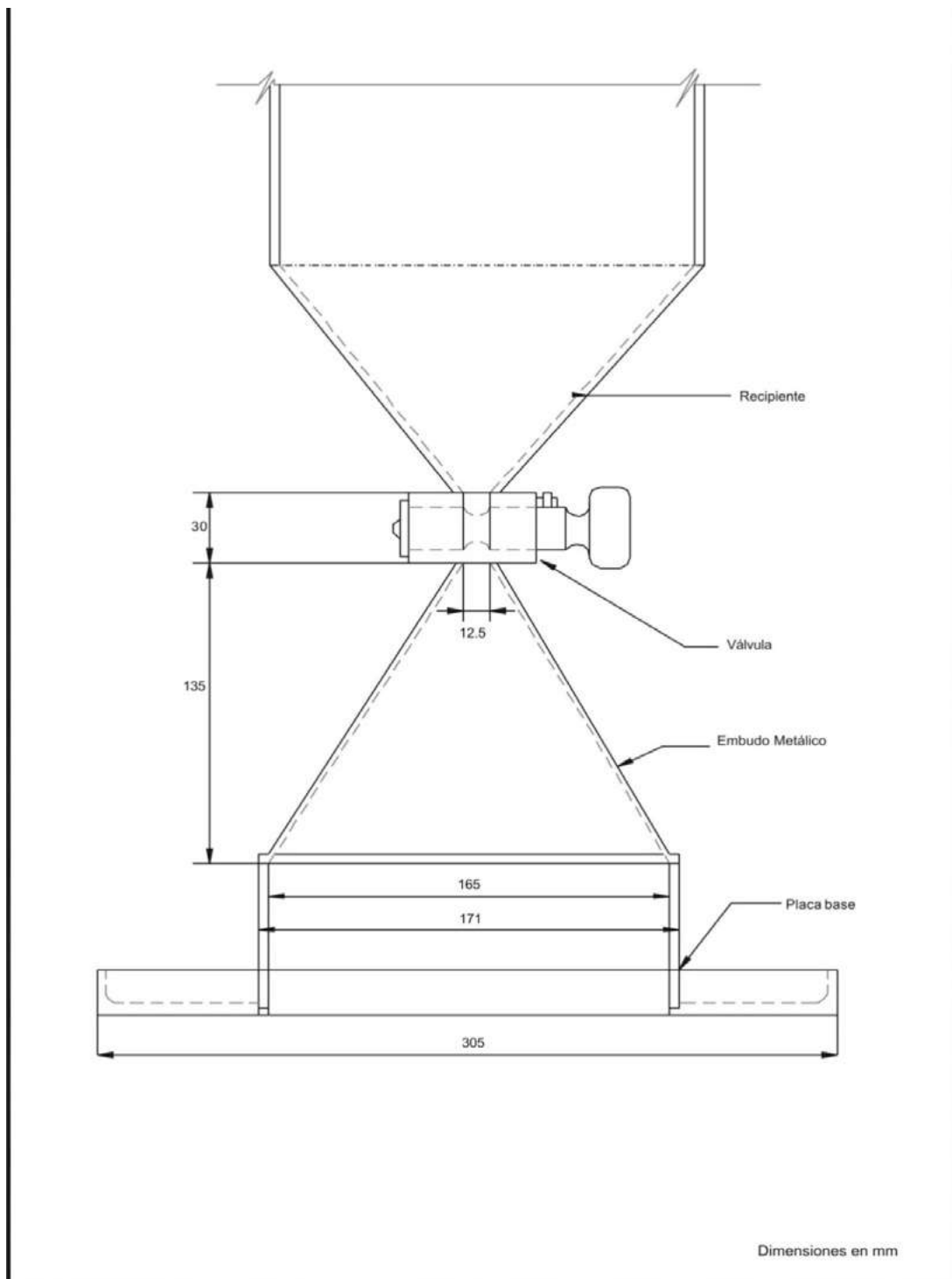


Figura 6.1_176. ESQUEMA DE CONO CONVENCIONAL

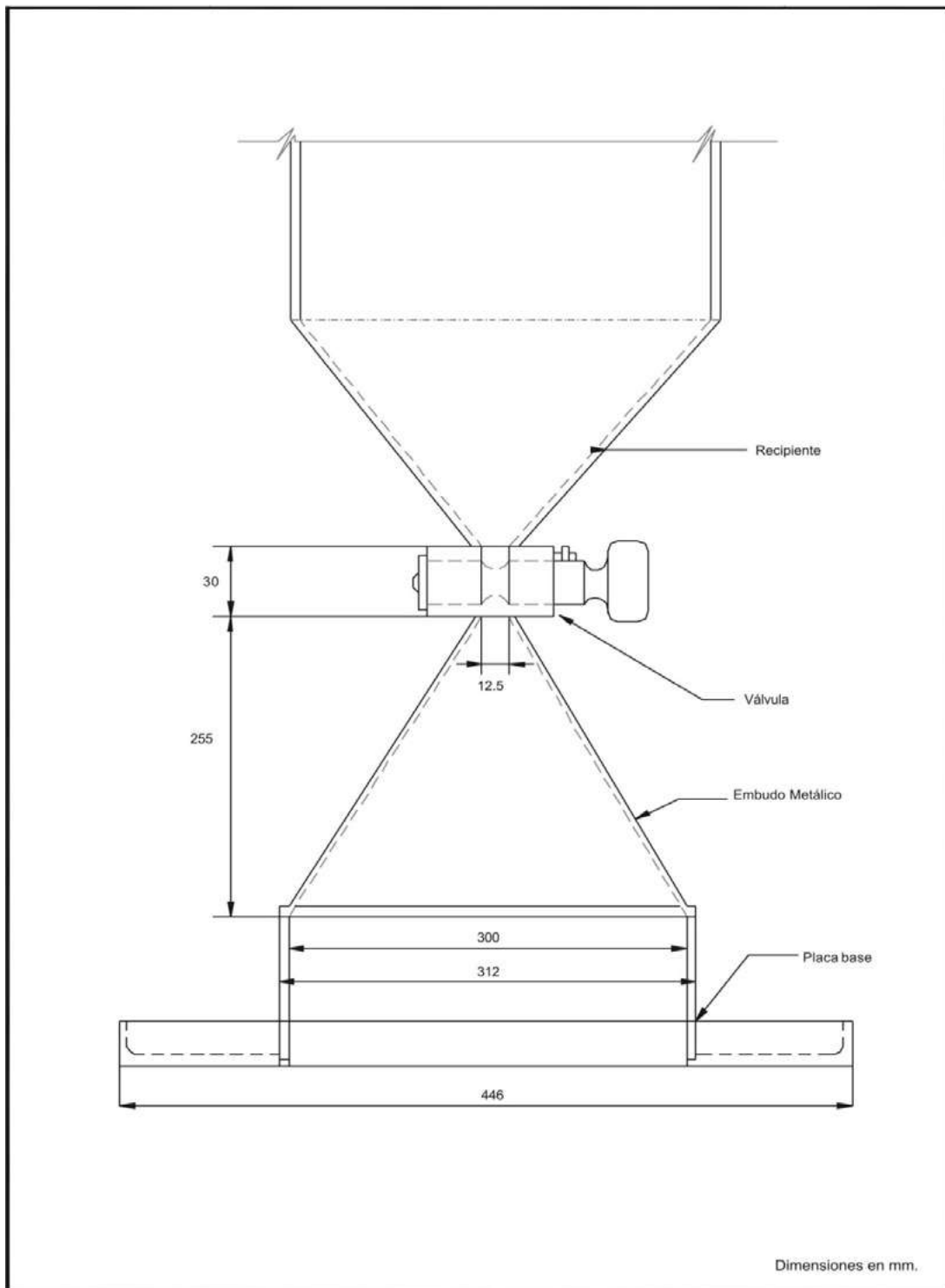


Figura 6.1_177. ESQUEMA DE MACRO-CONO

Contrato/Camino:						
Sector:						
Tramo a Controlar:						
Material:						
Fecha Control:						
Responsable Control Terreno:						
	1	2	3	4	5	6
Kilómetro						
Capa/Cotar/Estrato						
Lado						
Espesor (cm)						
A	Densidad arena normalizada de ensayo	(g/cm ³)				
B	Masa suelo húmedo	(g)				
C	Masa húmeda de partículas mayores a 50 u 80 mm (*)	(g)				
D	Masa húmeda de control (B - C)	(g)				
E	Masa inicial de arena	(g)				
F	Masa arena remanente	(g)				
G	Masa arena en cono basal	(g)				
H	Volumen perforación de ensayo (E - F - G) / A	(cm ³)				
I	Volumen partículas mayores a 50 u 80 mm (*)	(cm ³)				
J	Volumen de la masa de control (H - I)	(cm ³)				
K	Densidad húmeda (D / J)	(g/cm ³)				
L	Densidad seca K / (1 + W / 100)	(g/cm ³)				
M	DMCS	(g/cm ³)				
N	Porcentaje de compactación (L / M) * 100	(%)				
HUMEDAD: w						
O	Masa recipiente + suelo húmedo	(g)				
P	Masa recipiente + suelo seco	(g)				
Q	Masa recipiente	(g)				
R	Masa suelo seco (P - Q)	(g)				
W	Humedad 100 * (O - P) / R	(%)				

(*) Nota : - Partículas mayores a 50 mm cuando el control se efectúe en base a Próctor Modificado (Método 8.102.7)
- Partículas mayores a 80 mm cuando el control se efectúe en base a Densidad Relativa (Método 8.102.8)

Responsable ensaye:

Fecha de Informe:

Nº Bº Jefe Laboratorio:

Figura 6.1_178. FORMATO TIPO, DENSIDAD DE TERRENO

SECCION 6.1.5.2.**VERIFICACIÓN DEL PESO UNITARIO DEL SUELO EN EL TERRENO, MÉTODO DEL CILINDRO PENETRANTE (AASHTO T204)****6.1.5.2.1. OBJETO**

Este método de ensayo establece y define los procedimientos a seguir en terreno para utilizar el penetrómetro dinámico de cono portátil, PDCCP, para la identificación de materiales inadecuados y caracterizar capas granulares y sub-rasantes.

Se utiliza en la prospección de suelos en terreno que no sean gravosos, es decir arenas y suelos finos, hasta una profundidad máxima de 1 m, medido desde la cota o superficie de ensayo. Este ensayo debe complementarse con calicatas que permitan obtener muestras de suelos yestratigrafías del terreno.

Sirve para la caracterización geotécnica de suelos de sub-rasantes, reconocimientos rápidos del terreno, controles de calidad de rellenos y capas estabilizadas durante la construcción, detección de anomalías de capas construidas, evaluación de las capas granulares y sub-rasantes de pavimentos existentes y detección de suelos con características de materiales homogéneos o inadecuados. Los resultados se correlacionan con parámetros del suelo, tales como: la Capacidad de Soporte de California(CBR), el módulo resiliente (MR), la resistencia a la compresión no confinada (q_u) y la densidad relativa de suelos no cohesivos (D_r).

6.1.5.2.2. EQUIPOS Y MATERIALES**K.1. Penetrómetro Dinámico de Cono Portátil (PDCCP)**

Es un equipo, que permite medir la penetración dinámica por golpes de una masa (martillo), que se deja caer libremente desde una altura constante. La penetración es función de la resistencia al corte de la(s) capa(s) que está(n) siendo traspasada(s) por el ensayo. La energía recibida por el yunque es traspasada a la barra y al cono, que perforan las capas de la estructura del material; es, por lo tanto, una medida de la resistencia al corte del suelo.

La **Figura 6.1_184** muestra un esquema general de las características principales del equipo.

Existen a lo menos 3 tipos de equipos, que se pueden clasificar según el peso del martillo, tal como se indica en la **Tabla 6.1_34**. El tipo más empleado es el liviano.

Tabla 6.1_34. CLASIFICACIÓN DE PENETRÓMETROS DINÁMICOS PORTÁTILES

Características/Clasificación	Liviano	Mediano	Super pesado
Masa martillo (Kg)	8	12	63,5
Altura de ca	57,5	60	75
Φ ext. Barra (mm)	16	33,3	41,3 a 44,5
Φ int. Barra (mm)	-	20,6	28,6 a 31,8
Largo de la barra que penetra (m)	1,0	0,965	1,0 a 3,0

Peso equipo completo aproximado (Kg)	15,0		
Φ cono (mm)	20	35,7	51
Angulo cono (º)	60	60	60
Prof. Max. De auscultación (m)	1,2	8	25

Como se muestra en la **Figura 6.1_184**, el equipo está compuesto por una barra provista de una punta cónica (cono), atornillada, o embutida con un sistema de bayoneta, a una barra de penetración que se hincan por la energía que recibe el yunque al ser golpeado por el martillo.

K.2. Cono

Consiste de una punta cónica, de acero, de 60°, seguida de una extensión cilíndrica y una transición cónica de largo igual al diámetro del cono, entre la extensión cilíndrica y la barra de extensión (**Figura 6.1_187**). Se une a la barra de penetración, generalmente, por medio de una unión de hilo o de un pasador tipo bayoneta, de manera que no haya desacople; el cono puede ser perdido o retenido para recuperarlo y utilizarlo en ensayos posteriores. En el caso de reutilizarlo, el desgaste máximo permitido es de 2 mm respecto del diámetro del cono y 1 mm respecto al largo de la punta; la punta cónica no debe presentar deterioros.

K.3. Barra de penetración

Las dimensiones de las barras son las que muestra la **Figura 6.1_188**. En el caso del equipo liviano, materia de este método, se acepta una extensión de 400 mm, por medio de una barra que se une mediante un hilo. Las barras son de acero al carbono con contenidos de entre 0,8 y 1,2%, templado en baños de aceite. Antes y después de cada ensayo verifique que las barras permanezcan rectas y sin deformaciones; para ello hágalas rodar sobre una superficie plana. Los operadores deben ser capaces de corregir cualquier anomalía. Las barras por utilizar deben ser de un mismo diámetro y la deflexión en el punto medio, medida a partir de una línea recta que une los extremos, no debe exceder 0,5 mm por cada metro.

K.4. Martillo

El martillo, de acero, debe estar provisto de un orificio central, con un diámetro de 3 a 4 mm mayor que el diámetro de la barra de extensión (**Figura 6.1_185**). La razón entre el largo y el diámetro del martillo debe estar entre 1 y 2. Debe caer libremente, sin ningún obstáculo que pueda afectar su aceleración o frenado.

No se debe dejar caer el martillo con una cuerda o de otra forma que no sea directamente con la mano, ya que impide una caída libre. Asegúrese que golpea al yunque correctamente, es decir, que la energía se transmita lo más limpiamente posible, sin deformar el yunque.

K.5. Yunque

El yunque, debe ser de acero; debe fijarse rígidamente a las barras (**Figura 6.1_186**). Su diámetro no debe ser menor que 100 mm, ni mayor que la mitad del diámetro del martillo. El eje, varilla guía y el martillo no deben presentar deformaciones, aceptándose una máxima de 0,5 mm por metro; al yunque va unido el mango, que también sirve para indicar en la regla, la profundidad que ha alcanzado la penetración.

K.6. Regla de medición

La regla de medición, debe estar graduada en cm y subdividida en mm.

K.7. Otros elementos

También se requiere: una plomada o nivel de burbuja, para medir la verticalidad de las barras; hojas de registros, un reloj cronómetro, un piso o banquillo que permita alcanzar la parte su-

perior y guantes de seguridad para todos los que entren en contacto con el equipo mientras operan.

6.1.5.2.3. PROCEDIMIENTO

A. ESTADO DEL EQUIPO

Antes de efectuar una serie de ensayos, verifique las condiciones del equipo; compruebe el peso del martillo, las dimensiones del cono, la limpieza general, las longitudes y distancias, en particular la altura de caída del martillo, también, que el roce de éste con la barra sea nulo y que el acople de las barras al cono y al yunque y entre ellas sea el correcto.

Antes de cada ensayo, compruebe que las barras no presenten deformaciones y que los hilos se encuentren en buen estado, permitiendo el acople de las barras y del cono.

B. PERSONAL

Opere el equipo con 3 personas: una encargada de anotar las lecturas obtenidas, otra para observar la verticalidad de las barras, sujetando el penetrómetro y la tercera, levantando y dejando caer el martillo. Eventualmente, también puede ser operado por 2 personas, siempre que se asegure que la verticalidad del instrumento se encuentre dentro de los rangos admisibles.

C. POSICIÓN DEL EQUIPO

El equipo debe colocarse en forma vertical; la desviación máxima admisible es de 3° respecto de la vertical. El equipo debe estar firmemente soportado y el cono y las barras deben ser guiados al comienzo del ensayo, de modo de mantener rectas las barras.

D. PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE

a) En el caso de ensayos de capas subyacentes en pavimentos de asfalto u hormigón, extraiga un testigo cilíndrico que alcance las capas granulares o de suelo sub-rasante, según se requiera.

b) Para ensayos sobre el terreno natural, remueva la capa superior del suelo vegetal y prepare la superficie hasta dejarla lo más horizontal posible. Cuando el ensayo se efectúe en el interior de una calicata, hágalo sobre una superficie horizontal y registre la profundidad o cota de ensayo.

E. PROFUNDIDAD DE AUSCULTACIÓN

Se recomienda una profundidad de exploración del orden de 800 mm. Algunas aplicaciones computacionales, utilizando modelos de multicapas no lineales, indican que se podrían alcanzar hasta profundidades entre 800 mm y 1200 mm; por lo anterior, no se recomienda efectuar este ensayo a profundidades mayores que 1,2 m.

F. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

El ensayo, debe ajustarse a los siguientes pasos o etapas:

- a) Fije el instrumento hundiendo el dispositivo con la reglilla en la superficie preparada en el suelo.
- b) Coloque el instrumento en forma vertical, usando un nivel de burbuja o una plomada y sujételo con el dispositivo con la reglilla.
- c) El segundo operador sube el martillo deslizante hasta la marca superior y después lo deja caer libremente sobre el yunque.
- d) El tercer operador registra la penetración lograda en mm para cada golpe, anotando en una planilla como la que muestra la **Figura 6.1_179**.

- e) Golpeé con el martillo con una frecuencia de 5 a 15 golpes por min, sin pausa.
- f) Si requiere efectuar una detención, gire el cono y mida el torque necesario para el giro, para tener una medida del roce producido entre el sistema de barras y cono, con el suelo perforado.
- g) Si el instrumento se sale de la vertical, no corrija la posición, pues el contacto de la barra con las paredes de la perforación afecta los resultados.
- h) Cuando el ángulo de la inclinación de la barra sea mayor a 3°, provocando que el martillo deslice sobre la barra y no caiga libremente, suspenda y abandone el ensayo, anotando las condiciones cuando ello se produjo.
- i) Si se usa una plomada adosada a la regla de medición, esta no debe desplazarse más de 5 cm de la vertical. Anote la lectura inicial y registre la lectura final después de cada golpe en la ficha correspondiente.
- j) Cuando use cono perdido, asegúrese que el cono no se suelte de la barra prematuramente, al hincar o girar las barras.
- k) Se recomienda despreciar la primera lectura, por razones de acomodo entre el cono y la masa de suelo.

6.1.5.2.4. CÁLCU LOS

Los resultados del ensayo PDCP se presentan mediante diferentes gráficos y diagramas característicos.

A. CURVA PDCP

Es la representación de la evolución de la penetración del equipo con la profundidad; en el eje de las ordenadas se indica la profundidad (normalmente hasta 1.000 mm) y en el eje de las abscisas el número acumulado de golpes para alcanzar esas profundidades. La **Figura 6.1_180** muestra un ejemplo de este gráfico.

B. ÍNDICE DE PENETRACIÓN O NÚMERO D (DN)

El número D indica el avance de la penetración por golpe y se expresa en mm. Corresponde a la pendiente de la curva PDCP y refleja la penetración del cono por cada golpe. Se calcula dividiendo el avance acumulado, expresado en mm, por el número de golpes dados para lograr esa penetración; se expresa como mm/golpes. Algunos valores típicos representativos de diferentes suelos son los que se indican en la **Tabla 6.1_35**.

Tabla 6.1_35. VALORES TÍPICOS DE D PARA DISTINTOS MATERIALES

Material	DD (mm/golpe)
Base de piedra chancada	1,7
Sub-base de grava	4,0
Sub-rasante de arcilla	25,5

C. DIAGRAMA ESTRUCTURAL

Es un gráfico en que en el eje de las ordenadas se representa la profundidad del terreno y en el eje de las abscisas el número D. Cuando el valor D se hace constante, existe uniformidad en

las propiedades del suelo; por el contrario, las variaciones implican cambios en las propiedades del material, como por ejemplo, variaciones en el contenido de humedad o la densidad, o bien, un cambio de capas; la variación de propiedades también se puede representar por un cambio de pendientes. La **Figura 6.1_181** muestra un ejemplo de la representación gráfica de este parámetro.

D. NÚMERO ESTRUCTURAL O NE

Es el número de golpes requerido, para penetrar hasta una profundidad determinada. Así, NE800 representa el número de golpes necesarios para alcanzar hasta 800 mm por debajo de la superficie.

También, puede definirse de acuerdo a la siguiente expresión:

$$NE_{zi} = \frac{h_i}{D_i} \times 100$$

Donde:

NEzi: Número estructural de una capa material i.

hi: Espesor de la capa de material i.

Di: Índice de penetración de la capa i.

El número estructural para el total del pavimento, NEzp, es la suma de los NEzi o el número de golpes del martillo, requerido para penetrar el espesor total del pavimento considerado. Es decir:

$$NE_{zp} = \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{D_i}$$

E. CURVA DE BALANCE ESTRUCTURAL, BEZ

La resistencia a la penetración a distintas profundidades se puede expresar también como un porcentaje del número de golpes necesario para penetrar hasta una profundidad evaluada. Por ejemplo:

$$BE_z = \frac{NE_z}{NE_m} \times 100$$

Donde:

BEz: Balance estructural para la profundidad z (%).

NEz: Número de golpes, requerido para penetrar z.

NEm: Número de golpes requerido para penetrar la máxima profundidad de exploración.

El valor de BEz representa el porcentaje de la capacidad estructural total que aportan los materiales existentes hasta una profundidad z determinada. Por ejemplo, si el BE100 = 40%, significa que hasta una profundidad de 100 mm el aporte estructural a la resistencia del suelo es de un 40%.

Los valores de NEz expresados como un porcentaje del NEm, se llevan a un gráfico que representa la curva de Balance Estructural, tal como se muestra en el ejemplo de la **Figura 6.1_182**.

Es importante hacer notar que como normalmente la capacidad estructural de un pavimento decrece con la profundidad, una variación uniforme (sin discontinuidades) de la BEz, significa que el pavimento se encuentra en estado de equilibrio estructural.

F. CURVA DE BALANCE ESTÁNDAR, BZ

Define una función por medio de curvas que describen la situación idealizada (teórica) entre la capacidad estructural y la profundidad, para la estructura de un pavimento. Por ejemplo, para B=0, el suelo recibe proporcionalmente todo el número estructural, NEz, en toda la profundidad de auscultación.

La expresión matemática para la familia de curvas es la siguiente:

$$B_z = \frac{H \cdot (400 \cdot B + (100 - B)^2)}{4 \cdot BH + (100 - B)^2}$$

Donde:

Bz : Número estructural, en porcentaje, del NEz necesario, para penetrar 100% de la profundidad evaluada.

H : La profundidad, en porcentaje, dada como:

$$H = \frac{\text{profundidad (i)}}{\text{profundidad total}} \times 100$$

B: Parámetro geométrico, que corresponde al valor máximo, medido sobre la diagonal que sirve de eje de la simetría de la hipérbola rectangular. Este valor puede ser cualquier entero, normalmente se dan los valores de 60, 0 y -60.

Las curvas de balance estructural sirven para comparar la curva de terreno con la situación teórica y poder clasificar un suelo de acuerdo a la comparación de su curva de balance estructural y la de balance estándar más aproximada. No siempre coinciden con las curvas de balance estructural, tal como muestra el ejemplo de representación gráfica de este parámetro que se muestra en la **Figura 6.1_ 183**.

G. RELACIÓN CON EL CBR

Considerando que el parámetro de suelo que más se ha correlacionado con el ensayo de penetración de cono portátil es el CBR, se propone una ecuación de carácter general que correlaciona estas dos variables. La expresión que mejor representa el CBR, según los antecedentes disponibles a la fecha, es:

$$\log CBR = 2,60 - 1,26 \cdot (\log D)$$

Donde:

D: Índice de penetración (mm/golpe)

CBR: Capacidad de Soporte de California (%)

Cabe señalar, finalmente, que en la literatura existen correlaciones entre los resultados del penetrómetro de cono portátil con otros parámetros del suelo como por ejemplo el Módulo Resiliente, la Compresión no Confinada y la Densidad Relativa, las que no se han incluido en este método por considerarse ellas de carácter preliminar.

Contrato :									
Camino :					Rol :				
Sector :									
Fecha del ensayo :									
Dm :			Profundidad inicial (mm) :		300				
tipo de base :					Tiempo inicio :		Tiempo término		
Duración ensayo (min) :									
DATOS					CALCULOS				
Nº Golpes Acum.	Lectura (mm)	Profund. (mm)	D (mm/golpe)	CBR (%)	Nº Golpes Acum.	Lectura (mm)	Profund. (mm)	D (mm/golpe)	CBR (%)
0	10	(lectura sin cálculos)			27				
1	25	315	15	13.1	28				
2	30	320	5	52.4	29				
3	45	335	15	13.1	30				
4					31				
5					32				
6					33				
7					34				
8					35				
9					36				
10					37				
11					38				
12					39				
13					40				
14					41				
15					42				
16					43				
17					44				
18					45				
19					46				
20					47				
21					48				
22					49				
23					50				
24					51				
25					52				
26					53				
OBSERVACIONES:									
NOTA:									
1) Duración ensayo = tiempo inicio - tiempo término									
2) Golpe 0 corresponde a la lectura inicial									
3) Cálculos: Profund. (mm) = Prof. inicial + lectura (i+1) - lectura (i) D (mm/golpe) = Lectura (i+1) - Lectura (i)									
CBR = 398,107 * (D) ^ -1,26 (Relación de Kleyn)									
Entidad a cargo del control:									
Profesional responsable del control:									

FIRMA									

Figura 6.1_179. FORMULARIO TIPO, CONO DE PENETRACIÓN DINÁMICA PORTÁTIL, DATOS DE TERRENO Y CORRELACIÓN CON EL CBR

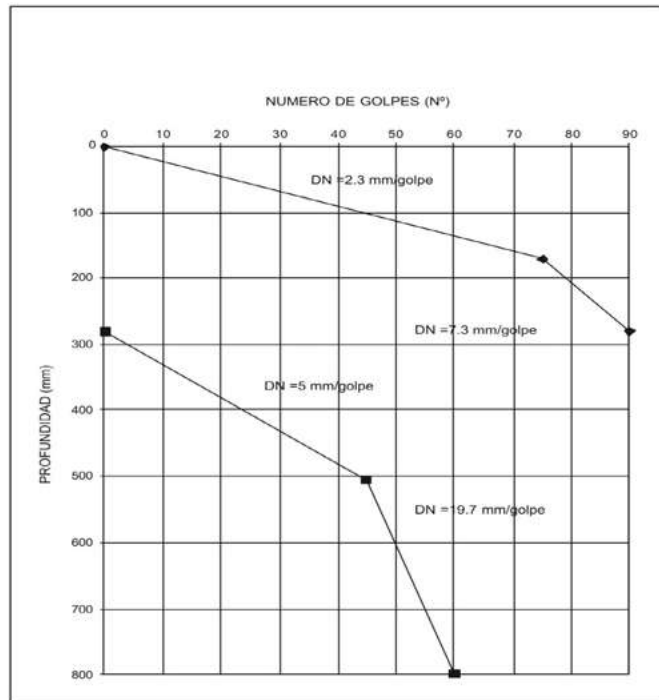


Figura 6.1_180. CURVA CDCP REPRESENTACIÓN DEL NÚMERO DE GOLPES EN LA PROFUNDIDAD

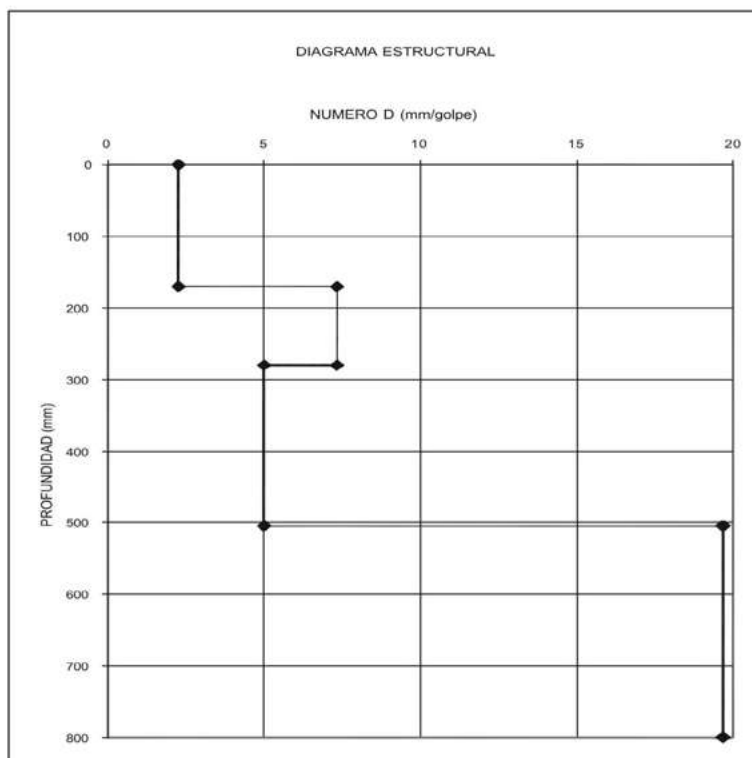


Figura 6.1_181. REPRESENTACIÓN DE LA VARIACIÓN DEL ÍNDICE DE PENETRACIÓN CON LA PROFUNDIDAD

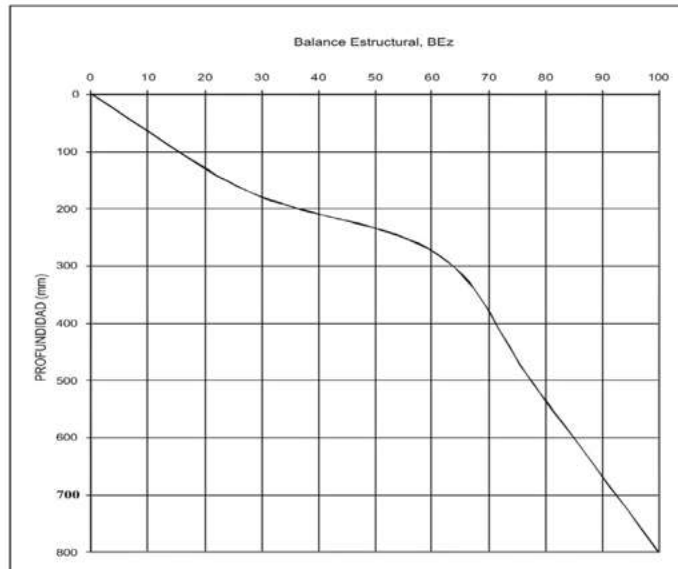


Figura 6.1_182. CURVA DE BALANCE ESTRUCTURAL

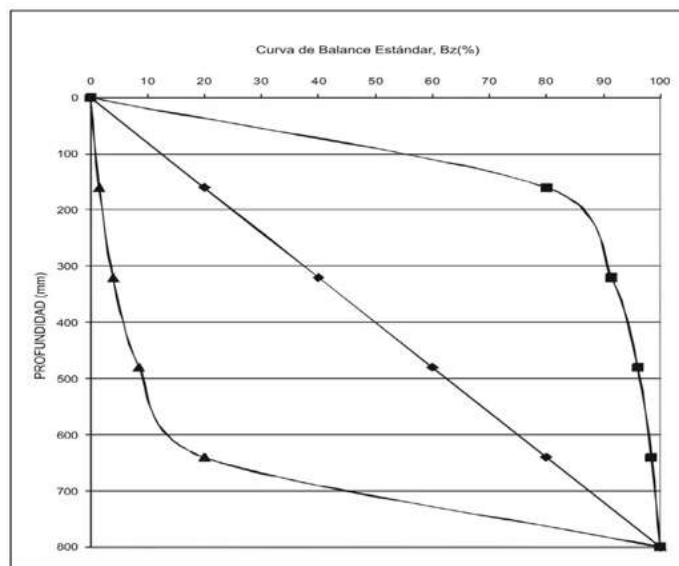


Figura 6.1_183. CURVA DE BALANCE ESTÁNDAR

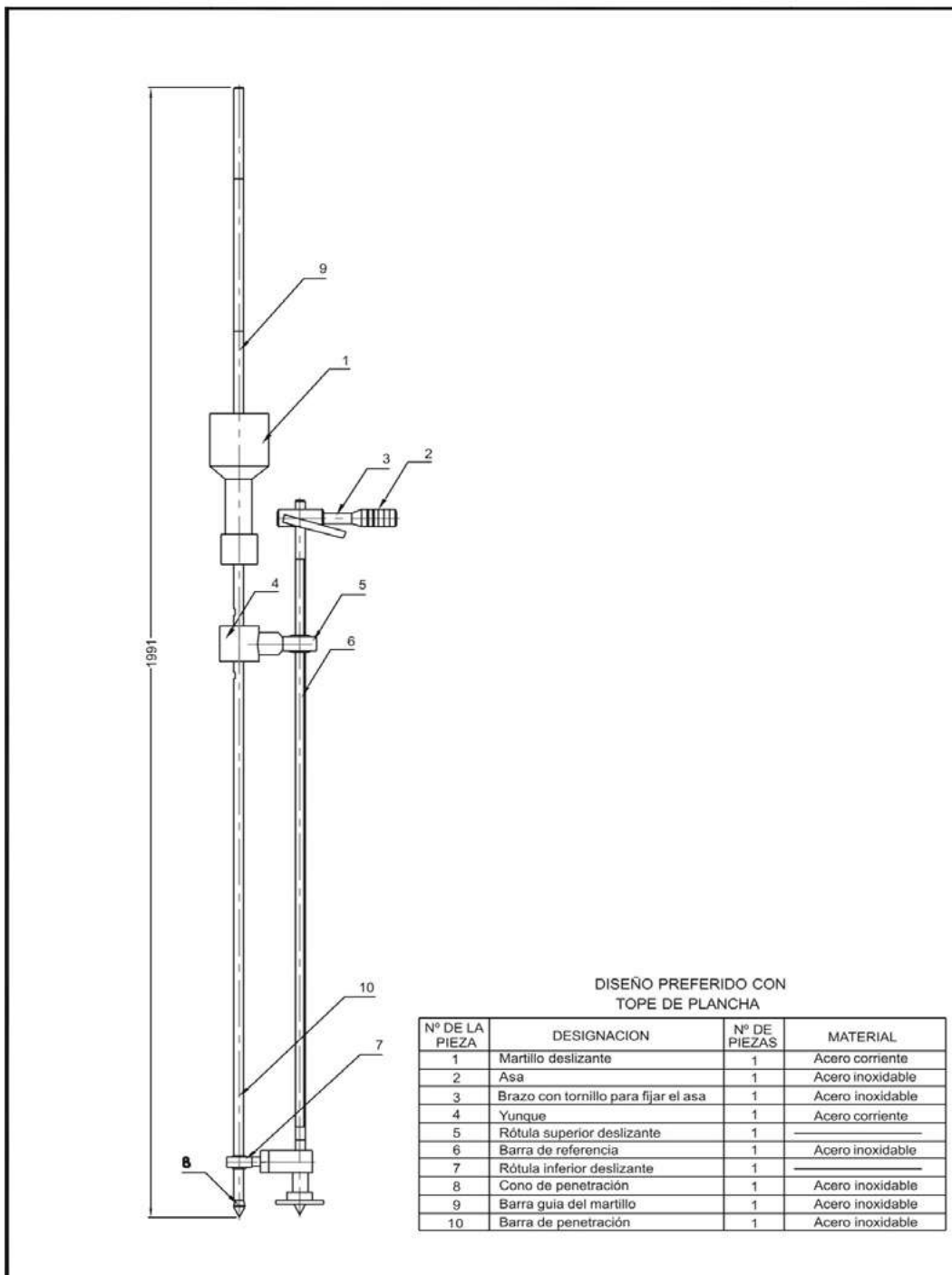


Figura 6.1_184. CONO DE PENETRACIÓN DINÁMICA, ESQUEMA GENERAL

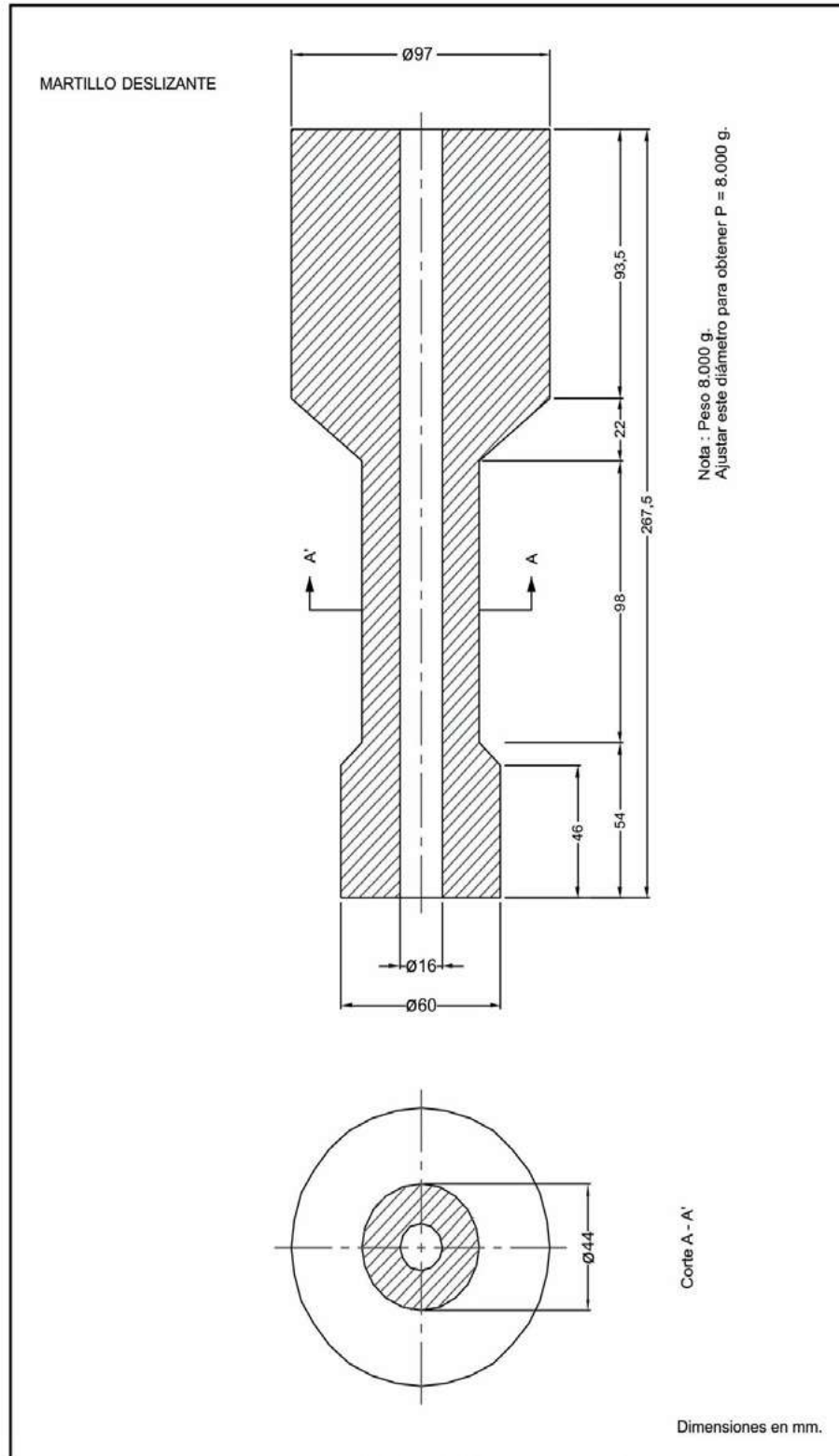


Figura 6.1_185. CONO DE PENETRACIÓN DINÁMICA

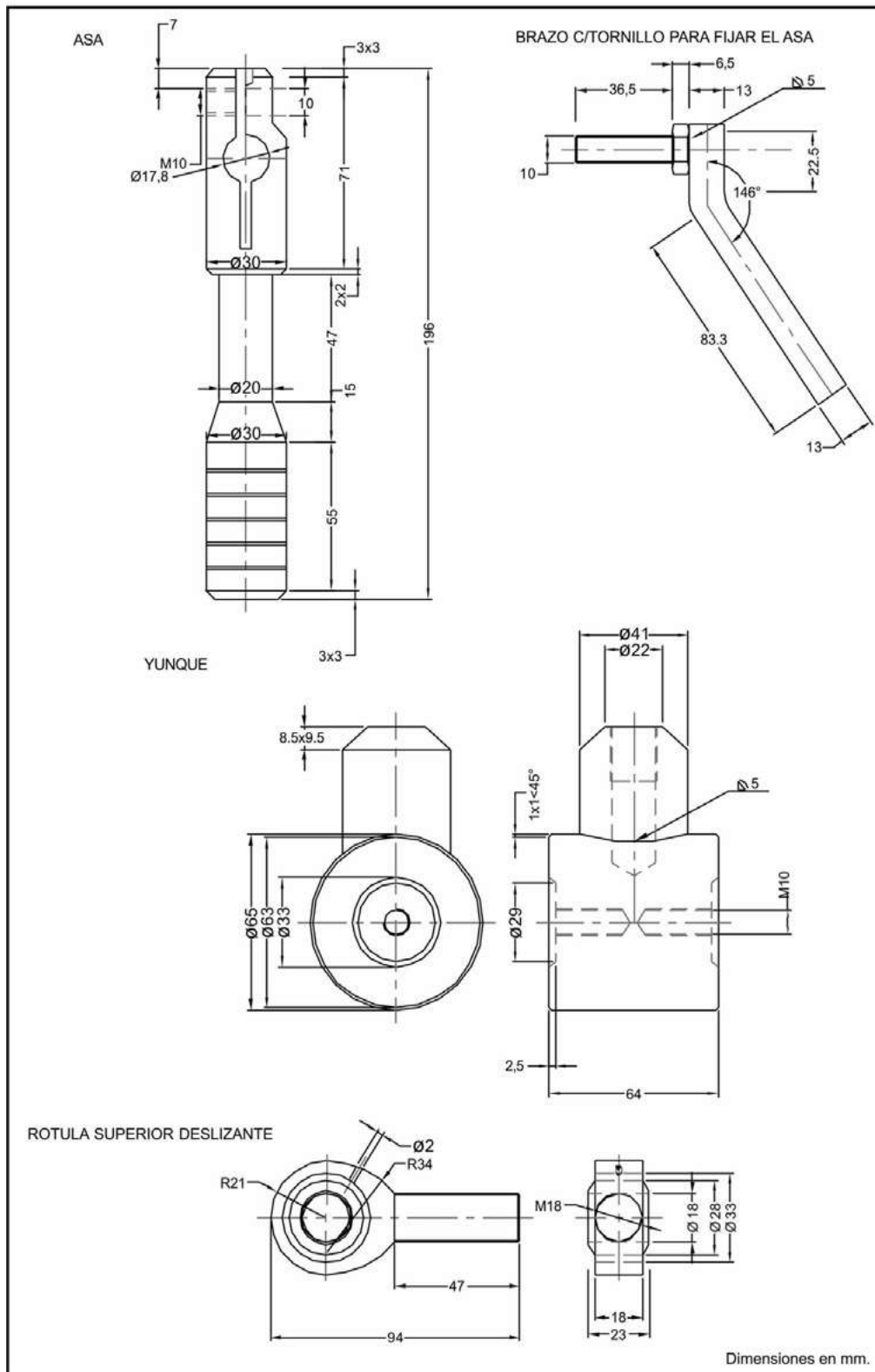


Figura 6.1_186. CONO DE PENETRACIÓN DINÁMICA

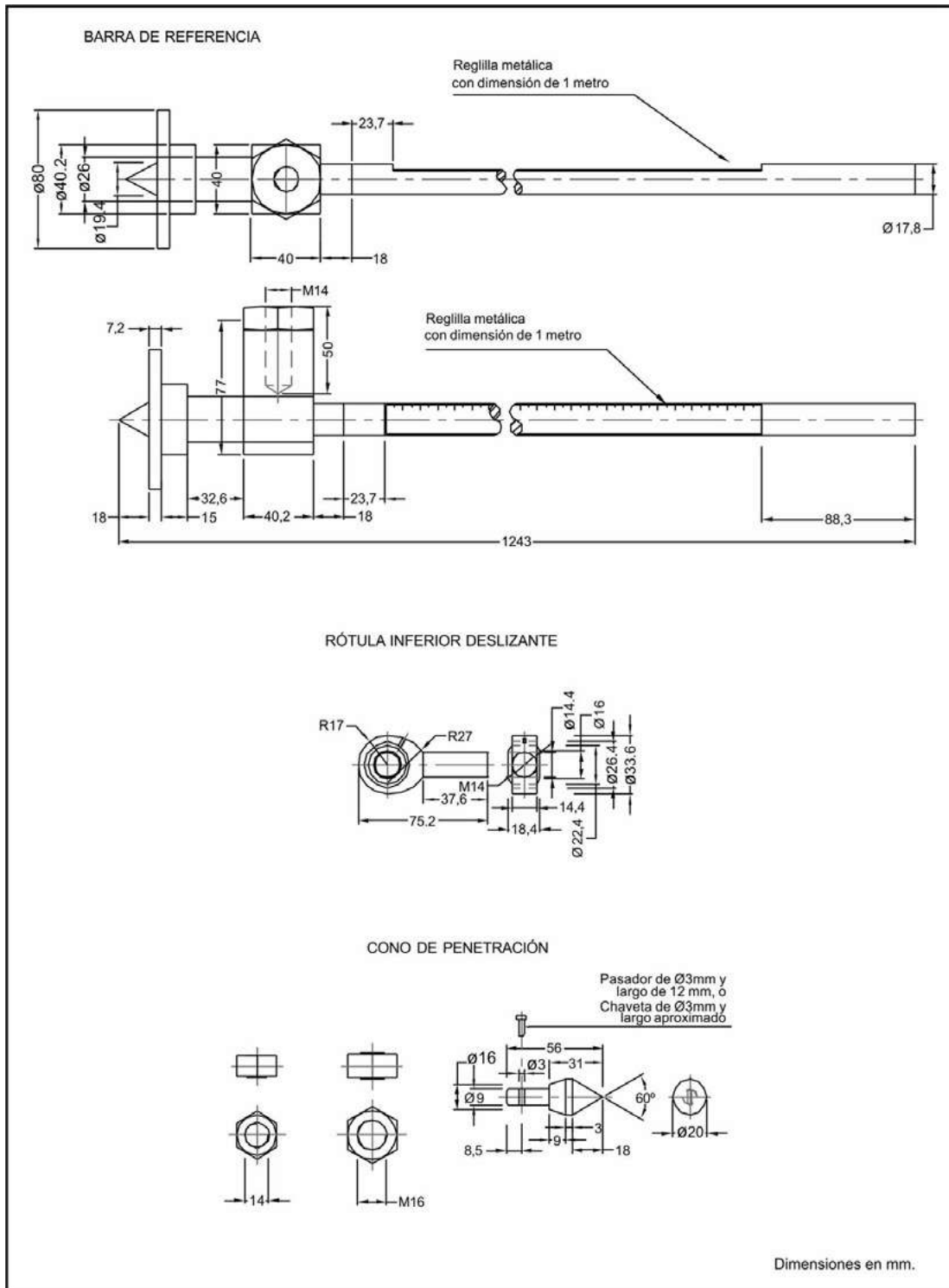


Figura 6.1_187. CONO DE PENETRACIÓN DINÁMICA

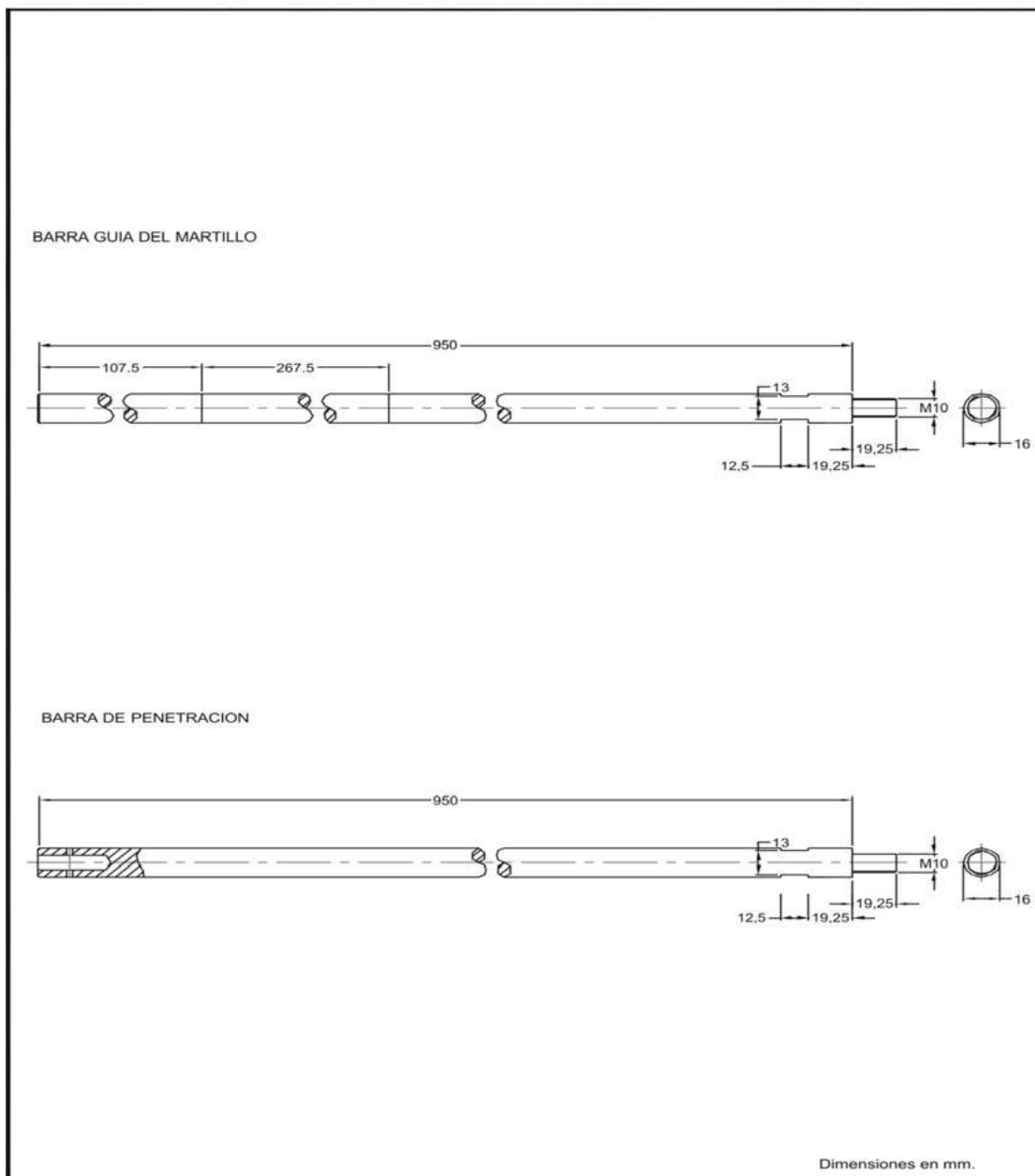


Figura 6.1_188. CONO DE PENETRACIÓN DINÁMICA

SECCION 6.1.5.3.**DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD EN SUELOS MEDIANTE UN PROBADOR CON CARBURO DE CALCIO (SPEEDY) (AASHTO T217)****6.1.5.3.1. OBJETO**

Este método de ensayo se emplea para determinar la humedad de suelos mediante un probador de humedad de gas a presión con carburo de calcio.

Este método no deberá emplearse en materiales granulares que tengan partículas tan grandes que afecten la precisión del ensayo; en general, cualquier cantidad apreciable retenida en el tamiz de 4,75 mm (N°4) es perjudicial. El probador súper 200 D es adecuado para ser usado en el ensayo de los áridos.

6.1.5.3.2. EQUIPOS Y MATERIALES

- Probador o cápsula de carburo de calcio de gas a presión.
- Balanza, con capacidad de 2 Kg. y precisión de 0.1 g.
- Dos esferas de acero de 31,75 mm (1¼"), de diámetro.
- Cepillo y trapo para limpieza.
- Cuchara para medir el reactivo de carburo de calcio.
- Reactivo de Carburo de Calcio.
- El carburo de calcio deberá estar finamente pulverizado y deberá ser de un grado tal que pueda producir gas acetileno de por lo menos 0.14 m³/Kg. (2.25 pie³/lb) de carburo.
- La vida de almacenamiento de este reactivo es limitada, de suerte que deberá emplearse de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

6.1.5.3.3. PROCEDIMIENTO

a. Cuando se emplee el probador de 26 g, colóquense tres cucharadas (aproximadamente 24 g) de carburo de calcio, en el cuerpo del probador de humedad. Cuando se utilice el probador súper 200 D para áridos, colóquense 6 cucharadas (aproximadamente 48 g) de carburo de calcio, en el cuerpo del probador de humedad. Debe tenerse extremo cuidado para evitar que el carburo de calcio se ponga en contacto directo con agua.

b. Pésese una muestra del peso exacto especificado por el fabricante del instrumento en la balanza proporcionada, y colóquese la muestra en la tapa del probador. Cuando se utilice el probador de 26 g, colóquense dos esferas de acero de 31,75 mm (1¼") de diámetro, en el cuerpo del probador con el carburo de calcio.

c. Si la humedad de la muestra excede el límite del manómetro de presión, (12% humedad para el probador de áridos o 20% para el de suelos), deberá emplearse una muestra de la mitad de tamaño y la lectura del dial deberá multiplicarse por 2. Este método proporcional no es aplicable directamente al porcentaje en peso de la balanza, en el probador súper 200 D.

d. Con el vaso de presión en una posición aproximadamente horizontal, insértese la tapa en el vaso de presión y séllese la unidad, apretando la abrazadera, teniendo cuidado de que el carburo no se ponga en contacto con el suelo hasta cuando se haya logrado un sello completo.

e. Levántese el probador hasta una posición vertical de tal manera que el suelo en la tapa caiga dentro del vaso de presión.

f. Agítense vigorosamente el aparato de manera que todos los terrones se rompan hasta permitir que el carburo de calcio reaccione con toda la humedad libre que se halle disponible. Cuando se están empleando las bolas de acero en el probador y cuando se use el probador de tamaño mayor para áridos, deberá agitarse el instrumento con un movimiento de rotación de tal manera que, las bolas de acero o el agregado no dañen el instrumento, ni hagan que las partículas del suelo queden embebidas en el orificio que conduce al diafragma de presión.

g. La agitación deberá continuarse por lo menos durante 1 minuto con suelos granulares, y hasta por 3 minutos con los restantes suelos, de manera que se logre la reacción completa entre el carburo de calcio y la humedad libre. Deberá dejarse tiempo para permitir la disipación del calor generado por la reacción química.

h. Cuando deje de moverse la aguja, léase el dial manteniendo el instrumento en una posición horizontal a la altura del ojo.

i. Analícese el peso de la muestra y la lectura del dial.

j. Con la tapa del instrumento apuntando en dirección opuesta al operador (para evitar la aspiración de vapores), elimínese lentamente la presión del gas. Vacíese el vaso de presión y examínese el material en cuanto a terrones. Si la muestra no está completamente pulverizada, el ensayo deberá repetirse empleando una nueva muestra. Límpiense perfectamente la tapa de carburo y suelo, antes de verificar otro ensayo.

k. La lectura del dial, es el porcentaje de humedad con respecto al peso húmedo y deberá convertirse a peso seco. Con el probador súper 200 D, la lectura del dial es el porcentaje de humedad con respecto al peso seco, y no se requiere ningún cálculo adicional.

6.1.5.3.4. CÁLCULOS

El porcentaje de humedad con respecto al peso seco del suelo debe determinarse a partir de la curva de conversión (**Véase Figura 6.1_189**).

Normalmente es suministrada una curva similar a la de la **Figura 6.1_189**, con el probador de humedad. Sin embargo para cada probador, deberá verificarse la precisión de su manómetro o la de la curva de conversión.

La precisión del manómetro del probador deberá verificarse empleando un juego de calibración provisto de manómetro normal (el cual puede obtenerse del fabricante del aparato).

En caso de discrepancia, el manómetro del probador deberá ajustarse de acuerdo con el manómetro normal. Para comprobar la exactitud de la curva de conversión, deberá efectuarse una calibración de las lecturas del medidor empleando suelos preparados localmente, con contenidos de humedad conocidos. Así mismo, pueden ser necesarios ensayos adicionales para

extender la curva de conversión para porcentajes de humedad superiores al 44%. **(Véase Figura 6.1_189).**

Puede ser más conveniente para el empleo del aparato en el terreno, preparar una tabla de lectura del probador de humedad contra contenidos de humedad al horno para el probador.

Determinése el porcentaje de humedad con aproximación al porcentaje entero más próximo.

PLANILLA S0503_1 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD MÉTODO DEL CARBURO (SPEEDY)

⁽¹⁾ OBRA:					⁽²⁾ PROCEDENCIA:				
⁽³⁾ USO			⁽⁴⁾ N° DE CAMPO		⁽⁵⁾ N° DE SOLICITUD DE SERVICIO			⁽⁶⁾ FECHA:	
⁽⁷⁾ UBICACION	⁽⁸⁾ PROF. (cm)	⁽⁹⁾ MUESTRA N°	⁽¹⁰⁾ % ω SPEEDY	⁽¹¹⁾ % ω CORREGIDO	⁽⁷⁾ UBICACION	⁽⁸⁾ PROF. (cm)	⁽⁹⁾ MUESTRA N°	⁽¹⁰⁾ % ω SPEEDY	⁽¹¹⁾ % ω CORREGIDO
⁽¹²⁾ PROMEDIO					⁽¹²⁾ PROMEDIO				
⁽¹²⁾ PROMEDIO					⁽¹²⁾ PROMEDIO				
⁽¹²⁾ PROMEDIO					⁽¹²⁾ PROMEDIO				
⁽¹²⁾ PROMEDIO					⁽¹²⁾ PROMEDIO				
⁽¹²⁾ PROMEDIO					⁽¹²⁾ PROMEDIO				
⁽¹²⁾ PROMEDIO					⁽¹²⁾ PROMEDIO				

⁽¹³⁾ OBSERVACIONES:

REALIZADO POR:

REVISADO POR:

Tabla 6.1_36. MANUAL DEL USUARIO DEL FORMATO DE DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD MÉTODO DEL CARBURO (SPEEDY)

(1) OBRA: Se debe colocar el nombre del trabajo o proyecto a ejecutar.
(2) PROCEDENCIA: Lugar de donde proviene la muestra.
(3) USO: Se debe indicar cual será o es uso del material a ensayar.
(4) N° DE CAMPO: Es la identificación que se da a cada muestra recolectada
(5) N° DE SOLICITUD DE SERVICIO: Se debe colocar el N° de solicitud de servicio con la cual se contrato el ensayo.
(6) FECHA: Se debe colocar la fecha en que se realiza el ensayo.
(7) UBICACIÓN O PROGRESIVA: Distancia que existe entre una muestra y otra.
(8) PROFUNDIDAD (cm): Es la distancia que existe desde la superficie hasta el punto donde se tomó la muestra.
(9) MUESTRA: Indica el numero de cada muestra recolectada.
(10) SPEEDY: Se debe colocar el resultado del % de humedad obtenido con el speedy.
(11) CORREGIDO: Es la desviacion que existe entre la humedad en el horno contra el speedy.
(12) PROMEDIO: Es el valor medio de los % de humedad en el horno contra el speedy.
(13) OBSERVACIONES: Se debe anotar cualquier comentario relevante que se quiera resaltar.

Nota: Solo se debe utilizar un formato por Speedy.

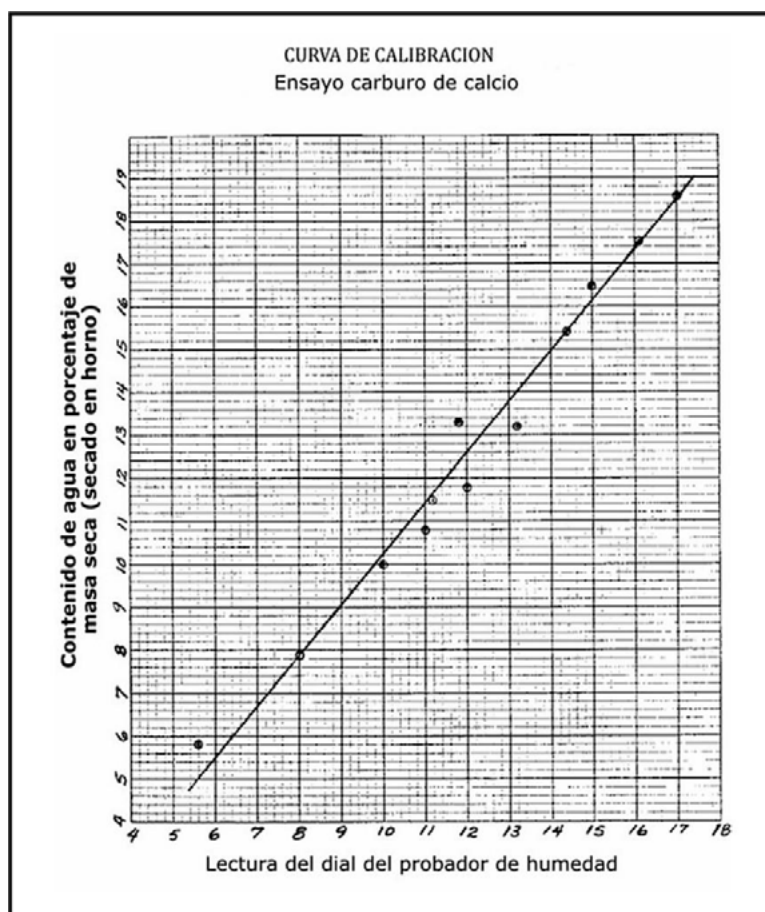


Figura 6.1_189. CURVA DE CALIBRACIÓN (TÍPICA)

SECCION 6.1.5.4.

ENSAYO DE PLACA DE CARGA ESTÁTICA NO REPETIDA, PARA EMPLEAR EN LA EVALUACIÓN Y DISEÑO DE PAVIMENTOS (AASHTO T222)

6.1.5.4.1. OBJETO

Este método trata el procedimiento de ensayos de placa de carga estática no repetida sobre sub-rasantes, capas de pavimento flexibles y suelos, tanto en estado natural como compactados, con objeto de proporcionar información para su uso en evaluación y diseño de pavimentos de tipo rígido o flexible de carreteras y aeropuertos.

6.1.5.4.2. DEFINICIONES

A. DEFLEXIÓN

Descenso vertical de una superficie debido a la aplicación de una carga sobre ella.

B. DEFLEXIÓN RESIDUAL

Diferencia entre el nivel original de una superficie y su posición final a consecuencia de la aplicación y retiro de una o más cargas en la superficie.

C. DEFLEXIÓN ELÁSTICA

Recuperación de la deformación vertical que tiene lugar cuando la carga se retira de la superficie.

6.1.5.4.3. EQUIPOS Y MATERIALES

A. EQUIPOS DE ENSAYO EN TERRENO

El equipo necesario para ensayos en terreno, es el siguiente:

- a) Sistema de reacción, como un camión o remolque o una combinación de ambos; un marco anclado, u otra estructura pesada con suficiente masa para producir la reacción deseada sobre la superficie por ensayar. El peso muerto por emplear será de a lo menos 12 Mg. Los puntos de apoyos (ruedas en caso de los vehículos) deberán estar a lo menos a 2,5 m de la circunferencia de la placa de carga de mayor diámetro usada.
- b) Conjunto hidráulico de carga con dispositivo de apoyo esférico, capaz de aplicar y retirar la carga en incrementos. La gata deberá tener la capacidad suficiente para aplicar la carga máxima necesaria y estar equipada con un medidor calibrado con precisión suficiente para indicar la magnitud de la carga aplicada.
- c) Un juego de placas de ensayo circulares de acero, de no menos de 25 mm de espesor, confeccionadas de modo de poder disponerse en forma piramidal para asegurar su rigidez y de diámetros que varíen entre 150 y 760 mm (6 a 30"). Los diámetros de las placas adyacentes en la disposición piramidal no deberá exceder los 150 mm. Placas de aleación de aluminio de 40 mm de espesor pueden ser usadas en lugar de las placas de acero.

Nota 1: Se recomienda un mínimo de cuatro placas de diferentes tamaños para ensayos con fines de evaluación y diseño de pavimentos. Para evaluar únicamente, se puede usar una placa simple que proporcione un área igual a la de contacto del neumáticos y que corresponde a la combinación más crítica de carga por rueda y presión de inflado que pueda considerarse. Con objeto de obtener información referente a la variación del soporte (por ejemplo, la determinación del soporte relativo de un terreno a través de un período anual) puede emplearse una placa simple, cualquiera de las indicadas.

d) Tres o más diales micrométricos: graduados en unidades de 0,025 mm (0,001") y capaces de registrar una deflexión acumulada de a lo menos 25 mm u otro aparato equivalente para medir deflexiones.

e) Una viga porta dial sobre la que se montan los diales micrométricos. La viga se compone de un tubo o cañería de 60 mm de diámetro o de un ángulo de acero de 75 x 75 x 6 mm o equivalente, de un largo mínimo de 4,75 m. Debe apoyarse en soportes ubicados a más de 2,0 m del borde de la placa de ensayo o rueda más cercana, o soporte. El sistema completo de medición de deflexión debe protegerse adecuadamente de los rayos directos del sol.

f) Equipos varios, incluyendo un nivel de burbuja para preparar la superficie por ensayar, así como las herramientas necesarias para operar el equipo y cortar una probeta de suelo no perturbado en un anillo de ensayo de consolidación. Balanzas, hornos y diversas herramientas para hacer determinaciones del contenido de humedad.

B. EQUIPOS DE ENSAYO EN LABORATORIO

Un consolidómetro.

6.1.5.4.4. PROCEDIMIENTO

A. PREPARACIÓN DEL ÁREA DE ENSAYO

Donde deba realizarse un ensayo de carga no confinado, despeje el área de suelo a ser ensayada hasta la cota deseada de la superficie sub-rasante. El área despejada deberá ser a lo menos el doble del diámetro de la placa para eliminar sobrecargas o efectos de confinamiento.

Si la sub-rasante va a ser construida con material de relleno, construya un terraplén de prueba de por lo menos 0,75 m de altura, usando el mismo material a emplear en el relleno, compactado con el contenido de humedad y a la densidad que se requiera para la construcción. Retire del área a ser ensayada cualquier material suelto y déjela nivelada; tenga mucho cuidado en no perturbar el suelo en el área de ensayo, especialmente en caso de materiales granulares.

Para ensayos confinados, el diámetro del área circular de excavación deberá ser el suficiente para que permita acomodar la placa de ensayo seleccionada.

Centre cuidadosamente la placa del diámetro seleccionado bajo el dispositivo de reacción. Acomode las placas de diámetros menores restantes concéntricas con y sobre la placa principal; ajuste el nivel de la placa de ensayo con una capa delgada de arena y yeso o arena fina, usando la mínima cantidad de material necesario para lograr un apoyo uniforme. Para prevenir pérdidas de humedad del terreno durante la prueba de carga, cubra el terreno expuesto hasta 2 m de la circunferencia de la placa de ensayo con plástico o papel impermeable.

B. DISPOSICIÓN DE ELEMENTOS DE ENSAYO

Apoye la placa soportante de 760 mm de diámetro sobre la arena o yeso; gire y mueva la placa sucesivamente para proporcionar un apoyo uniforme. Centre las placas de 610 mm y 457 mm

de diámetro sobre la placa de 760 mm de diámetro y centre la gata hidráulica sobre la placa de 457mm de diámetro.

Si es necesario suplir, arme un dispositivo (cajón) entre la placa superior y la gata. Si se usa un anillo de acero para medir la carga, colóquelo entre la gata y la rótula, la que a su vez, se apoya contra el dispositivo de reacción de carga. Por razones de seguridad no deben emplearse suples entre la rótula y el dispositivo de reacción. El dispositivo de reacción de carga debe ser lo suficientemente largo de modo que sus soportes queden a lo menos a 2,5 m de la placa soportante. Una viga de acero entre dos camiones cargados proporciona un buen dispositivo de reacción.

Use tres diales micrométricos para medir la deformación del suelo bajo la acción de la carga. Coloque estos micrómetros de modo que sus vástagos queden apoyados sobre la placa de 760mm de diámetro, a no más de 6 mm del borde exterior y dispuestos a 120° unos de los otros. Asegure los micrómetros a una estructura cuyos soportes estén a lo menos 2 m del borde de la placa de ensayo.

C. ASENTAMIENTO DEL EQUIPO

Emplear uno de los siguientes procedimientos iniciales:

a) El procedimiento de asentamiento N° 1; consiste en apoyar el sistema de carga y la placasoportante mediante la aplicación de una carga de 3,2 kN (7 kPa), cuando el espesor de diseño del pavimento sea menor que 380 mm o una carga de 6,4 kN (14 kPa), cuando el espesor de diseño del pavimento sea de 380 mm o más. Deje la carga de apoyo hasta que prácticamente se haya producido la deformación total. Luego tome una lectura en los tres diales micrométricos, los cuales se registran como la lectura "cero"; la carga de apoyo también es considerada como carga "cero". Se puede emplear una carga cíclica, menor a la carga de asentamiento, para asegurar un buen apoyo de los aparatos y de la placa de ensayo.

b) El procedimiento de asentamiento N° 2; consiste en que después que el equipo haya sido instalado adecuadamente, con toda la carga muerta (gata, placas, etc.) actuando, se asienta la placa de ensayo y el conjunto con una rápida aplicación y descarga de una carga suficiente para producir una deflexión de no menos de 0,25 mm y no mayor que 0,50 mm, indicada por los diales. Cuando las agujas de los diales se estabilicen, luego de la descarga, se reasientan las placas con la aplicación de la mitad de la carga registrada que produjo la deflexión entre 0,25 mm y 0,50 mm. Cuando las agujas de los diales se hayan estabilizado nuevamente, ajuste cuidadosamente cada dial a su marca "cero".

D. PROCEDIMIENTO DE CARGA

Sin retirar la carga de asentamiento, prosiga con los procedimientos de aplicación de carga indicados en el punto anterior a) y b).

a) En el procedimiento de aplicación de carga N° 1, aplique las cargas a una velocidad moderada en incrementos uniformes. La magnitud de cada incremento de carga será la que permita registrar un número suficiente de puntos de carga - deflexión (no menos de seis), de modo de poder trazar con precisión una curva carga - deflexión. Después que cada incremento de carga ha sido aplicado, mantenga hasta lograr una razón de deflexión de no más de 0,25 mm por minuto, para 3 minutos consecutivos.

b) Registre la carga y las lecturas finales para cada incremento de carga; continúe este proceso hasta obtener la deflexión total deseada o hasta que alcance la capacidad de carga del equipo, lo que ocurra primero. En este punto mantenga la carga hasta que el aumento de la deflexión no exceda a 0,025 mm por minuto durante tres minutos consecutivos. Registre la deflexión total, después disminuya la carga hasta el valor empleado para ajustar en cero los diales y mantenga esta carga hasta que la razón de recuperación no exceda 0,025 mm para tres minutos consecutivos. Registre la deflexión a la carga de ajuste "cero".

c) Promedie cada conjunto de lectura y registre ese valor como la lectura del asentamiento promedio.

d) En el procedimiento de aplicación de carga N° 2, aplique dos incrementos de carga de 16 kN (35 kPa) en cada incremento, manteniéndola hasta que la razón de deformación sea inferior a 0,025 mm por minuto. Lea los tres diales micrométricos al final del proceso en cada incremento de carga. Continúe hasta completar los 32 kN (70 kPa) de carga; calcule la deflexión promedio, determinando el movimiento total entre "cero" y 70 kPa incrementados para cada dial.

E. MÓDULO DE REACCIÓN NO CORREGIDO

$$k_u = \frac{70 \text{ kPa}}{\text{deflexión promedio}}$$

Si el valor de k_u es menor que 56, el ensayo se considera terminado y la carga puede ser retirada. Si el valor de k_u fuera 56 o más, aplique incrementos de carga adicionales de 16 kN (35 kPa) hasta que se alcance un total de 96 kN (210 kPa), permitiendo que cada incremento de carga permanezca hasta que la razón de deformación sea menor de 0,025 mm por minuto. Lea los tres diales micrométricos al final del proceso en cada incremento de carga.

F. MUESTREO DE SUELO

Obtenga una muestra no perturbada del material de fundación para ensayos de laboratorio que determine la corrección por saturación que se debe aplicar al valor del ensayo del terreno. La muestra no perturbada debe ser lo suficientemente grande como para obtener dos probetas para el consolidómetro por lado (por ejemplo, a la misma elevación). Tome la muestra en un recipiente adecuado para sellar y preservar el contenido de humedad hasta que los ensayos de corrección en laboratorio puedan realizarse. Cuando el ensayo de placa sea realizado directamente sobre una sub-rasante de material cohesivo, obtenga la muestra no perturbada de la fundación a la misma cota a la que se efectúa el ensayo, pero a un costado más bien que debajo de la placa. Cuando el ensayo se ejecuta en un material de base granular que descansa sobre un material cohesivo y cuando el espesor de la capa granular sea menor que 1,90 m, tome la muestra inalterada del material cohesivo en la parte inferior de la capa granular.

G. TEMPERATURA

Con un termómetro suspendido cerca de las placas de ensayo, lea y registre la temperatura ambiente cada media hora.

6.1.5.4.5. INFORME

Además del registro de carga, deflexión y los datos de temperatura, prescritos en 4, el informe deberá incluir todas las condiciones asociadas y observaciones pertinentes al ensayo, incluyendo las siguientes:

- a) Fecha.
- b) Hora de inicio y desarrollo del ensayo.
- c) Lista de personal.
- d) Condiciones ambientales.
- e) Cualquier irregularidad en el procedimiento acostumbrado.
- f) Cualquier condición irregular observada en el sitio de ensayo
- g) Cualquier observación sobre irregularidad durante el ensayo.

6.1.5.4.6. GRÁFICO Y CÁLCULO DE LA RELACIÓN CARGA – DEFORMACIÓN

A. CURVA CARGA – DEFORMACIÓN

Cuando el valor k_u , calculado en 4.5 sea inferior que 56 MPa/m no es necesario trazar la curva carga - deformación. Sin embargo, cuando el valor k_u es igual a 56 MPa/m o superior, es necesario trazar la curva carga - deformación y corregirla, debido a efectos tales como asentamiento deficiente de las placas, comportamiento carga - deformación no lineal o falla por corte. La carga unitaria (kPa) sobre la placa se dibuja en función de la deflexión promedio de cada incremento de carga; la deflexión se obtiene de las lecturas de cada dial entre "cero" y el final de cada incremento de carga.

Cuando se promedian las tres lecturas de diales, los valores deben ser examinados cuidadosamente para asegurarse que resulta un promedio razonable. Si la relación carga - deformación corresponde a una línea recta, que no pasa por el origen, corrija la curva como muestra la **Figura 6.1_190**. Generalmente, la curva carga - deformación se aproximará a una línea recta entre las cargas unitarias de 70 y 210 kPa. La corrección consiste en dibujar una línea recta, paralela a la porción recta de la curva trazada y que pase por el origen; se requiere el buen criterio del especialista cuando se corrige la curva carga - deformación. Si la curva no es lineal en toda su extensión, base la corrección de la línea recta en la pendiente promedio de la curva, por medio de a lo menos tres puntos en la región de la curva que tenga menor curvatura.

B. CÁLCULO DEL MÓDULO DE REACCIÓN k_u .

Se puede calcular el módulo de reacción no corregido del suelo k_u con los datos de terreno

usando la fórmula:

$$k_u = \frac{70 \text{ kPa}}{\text{deflexión promedio (mm)}}$$

Cuando la curva carga - deformación es innecesaria como se indica en 13, la deflexión promedio es el promedio de la deflexión total registrada en cada uno de los tres diales entre el "cero" y el término del incremento de carga. Si se requiere la curva carga - deformación, la deflexión promedio es el valor obtenido de la curva corregida para una carga de 70 kPa.

El valor de k_u calculado con la fórmula anterior debe ser corregido por flexión de las placas soportantes y por saturación del suelo como se indica en los párrafos que siguen:

C. CORRECCIÓN POR FLEXIÓN EN LAS PLACAS

Aún cuando las placas soportantes se empleen agrupadas, se presenta cierta flexión que redundará en una mayor deflexión en el centro de la placa que en el borde donde se miden las deflexiones.

Puesto que el módulo de reacción es realmente una medida del volumen desplazado bajo la carga, la menor deflexión medida en el borde resulta en un valor de k_u mayor que el que realmente existe. La magnitud de la flexión de la placa está relacionada solamente con la resistencia del suelo ensayado, por lo que, para un determinado valor de k_u , la corrección es siempre igual.

Esta corrección ha sido determinada por ensayos y se presenta por la curva en la **Figura 6.1_191**. La corrección se efectúa entrando en la **Figura 6.1_191** con el valor calculado de k_u en las ordenadas y proyectando horizontalmente hasta la intersección con la curva dibujada. El valor corregido del módulo de reacción del suelo (k_u) queda determinado proyectando verticalmente la intersección en la curva y leyendo su valor en las abscisas.

D. CORRECCIÓN POR SATURACIÓN DEL SUELO

El diseño de pavimento se basa generalmente en el módulo de reacción del suelo saturado. Como no es posible saturar el suelo en terreno previo al ensayo y rara vez éste se encontrará saturado en su estado natural, el valor del ensayo de terreno debe corregirse para estimar el valor si el suelo llegara a estar saturado.

La corrección por saturación no se requiere normalmente cuando se evalúan pavimentos de más de tres años. Los suelos no cohesivos son insensibles a la saturación, de manera que el ensayo de terreno en este tipo de suelos no requiere de la corrección por saturación.

El método de corrección por saturación que habitualmente se aplica, es una adaptación del ensayo de consolidación. El ensayo de corrección debe realizarse con muestras no perturbadas del suelo del sitio del ensayo de terreno. En caso que el ensayo de terreno se ejecute sobre la superficie de una capa de material no cohesivo, pero que descansa sobre un material cohesivo, la corrección por saturación debe determinarse por ensayos con el material cohesivo.

El factor de corrección por saturación es la razón de deformación entre una probeta de consolidación con su contenido de humedad natural y la deformación de una probeta saturada, ambas bajo una presión de 70 kPa. Dos probetas de material inalterado se instalan en la celda del consolidómetro; una se ensaya con el contenido de humedad "in situ" y la otra se satura después de aplicar la carga de apoyo. Ambas probetas se someten a la misma carga de asentamiento, 7 ó 14 kPa, que fue usada en el ensayo de terreno (ver 8 a) y b)). Mantenga aplicada la carga de asentamiento sobre la probeta con el contenido de humedad natural hasta que se produzca toda la deformación, en ese momento realice la lectura "cero" del dial de deformación vertical; sin retirar la carga de asentamiento, aplique una carga adicional de 70 kPa sobre la probeta y permita que se desarrolle la deformación completa; tome la lectura final del dial de deformación vertical.

Deje saturando la otra muestra en el consolidómetro bajo la carga de asentamiento de 7 ó 14 kPa. Una vez que la probeta esté saturada, se registra la lectura "cero", luego sin retirar la carga de asentamiento aplique una carga adicional de 70 kPa; mantenga esta carga sobre la probeta hasta que la deformación se haya completado, tras lo cual registre la lectura final del dial.

En ciertos tipos de suelos, se puede producir un hinchamiento bajo la carga de asentamiento al saturarse. Esto puede producir una extrusión del material por encima del anillo del consolidómetro, de modo que al aplicar la carga de 70 kPa, el material puede fluir sobre el anillo más bien que consolidarse, provocando resultados erróneos. Para prevenirlo, cuando se trabaja con suelos que experimentan hinchamientos o sospechosos de serlos, el anillo del consolidómetro no debe quedar completamente lleno con el suelo; se debe dejar una huelga en la cara superior de la probeta, generalmente 1,5 mm, para permitir el hinchamiento.

Cuando la probeta por saturar se rebaja para permitir el hinchamiento, debe también rebajarse la probeta por ensayar con contenido de humedad natural en igual cantidad, de manera que las alturas de las probetas sean similares al comienzo del ensayo.

La corrección por saturación será aplicada en proporción a la deformación de las dos probetas bajo una carga unitaria de 70 kPa, como sigue:

$$k = k_u = \left[\frac{d}{d_s} + \frac{b}{1905} \left(1 - \frac{d}{d_s} \right) \right]$$

Donde:

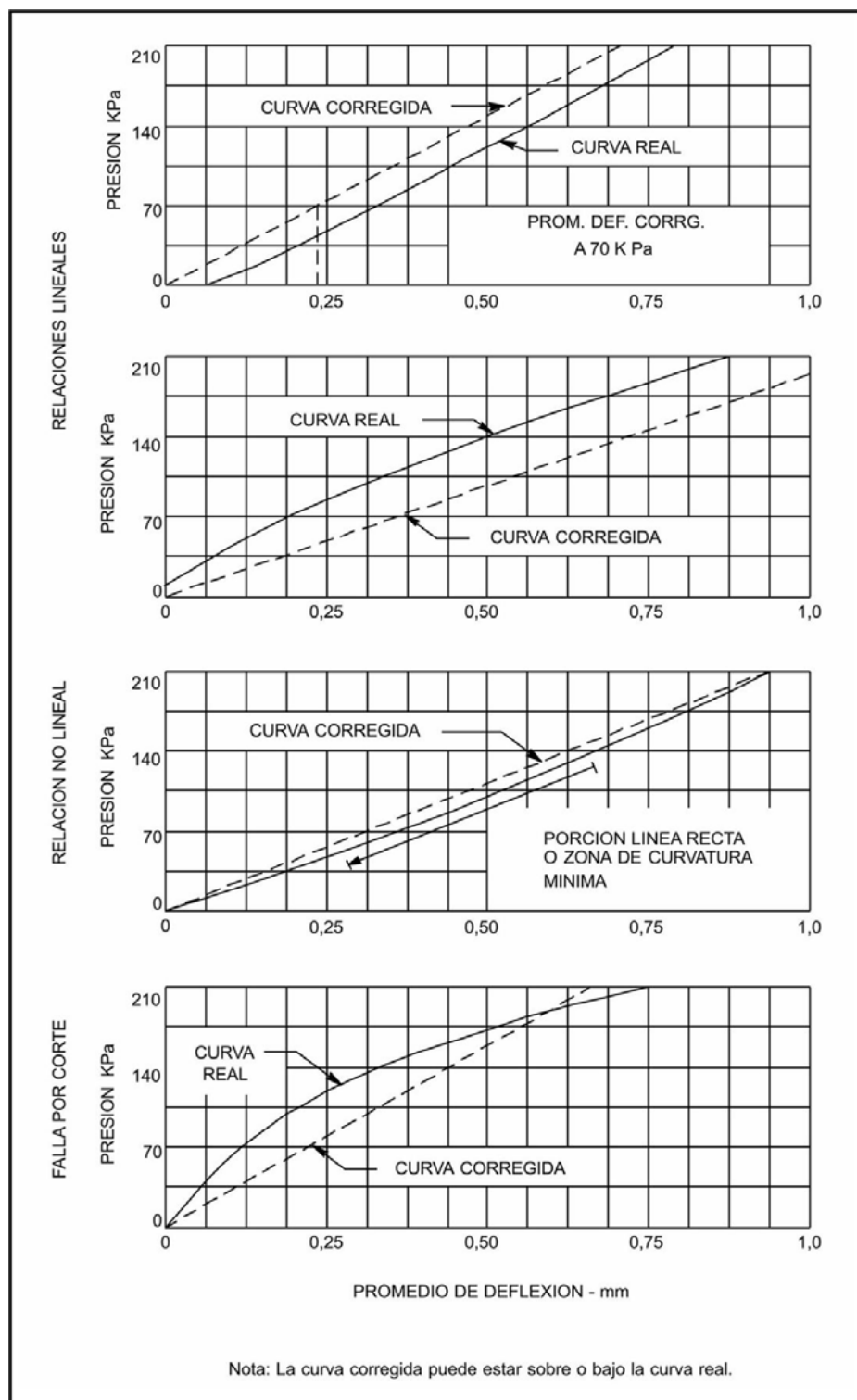
k: Módulo de reacción del suelo corregido (MPa/m).

k_u : Módulo de reacción del suelo no corregido por saturación (MPa/m).

- d: Deformación de una probeta en consolidación con el contenido de humedad de terreno, bajo una carga unitaria de 70 kPa (mm).
- d_s : Deformación de una probeta saturada en consolidación bajo una carga unitaria de 70 kPa (mm).
- b: Espesor del material granular (mm).

E. ESPESOR DEL MATERIAL GRANULAR (MM).

En ningún caso el valor de d/d_s a usar en la fórmula anterior debe ser mayor que 1,0. Esta fórmula es aplicable para el cálculo del valor k corregido, haya o no una capa granular. Sin embargo, si el espesor de dicha capa es igual o mayor a 1,90 m, no es necesario introducir la corrección por saturación del suelo cohesivo subyacente.



Nota. La curva corregida puede estar sobre o bajo la curva real

Figura 6.1_190. CORRECCIÓN CURVA PRESIÓN – DEFORMACIÓN

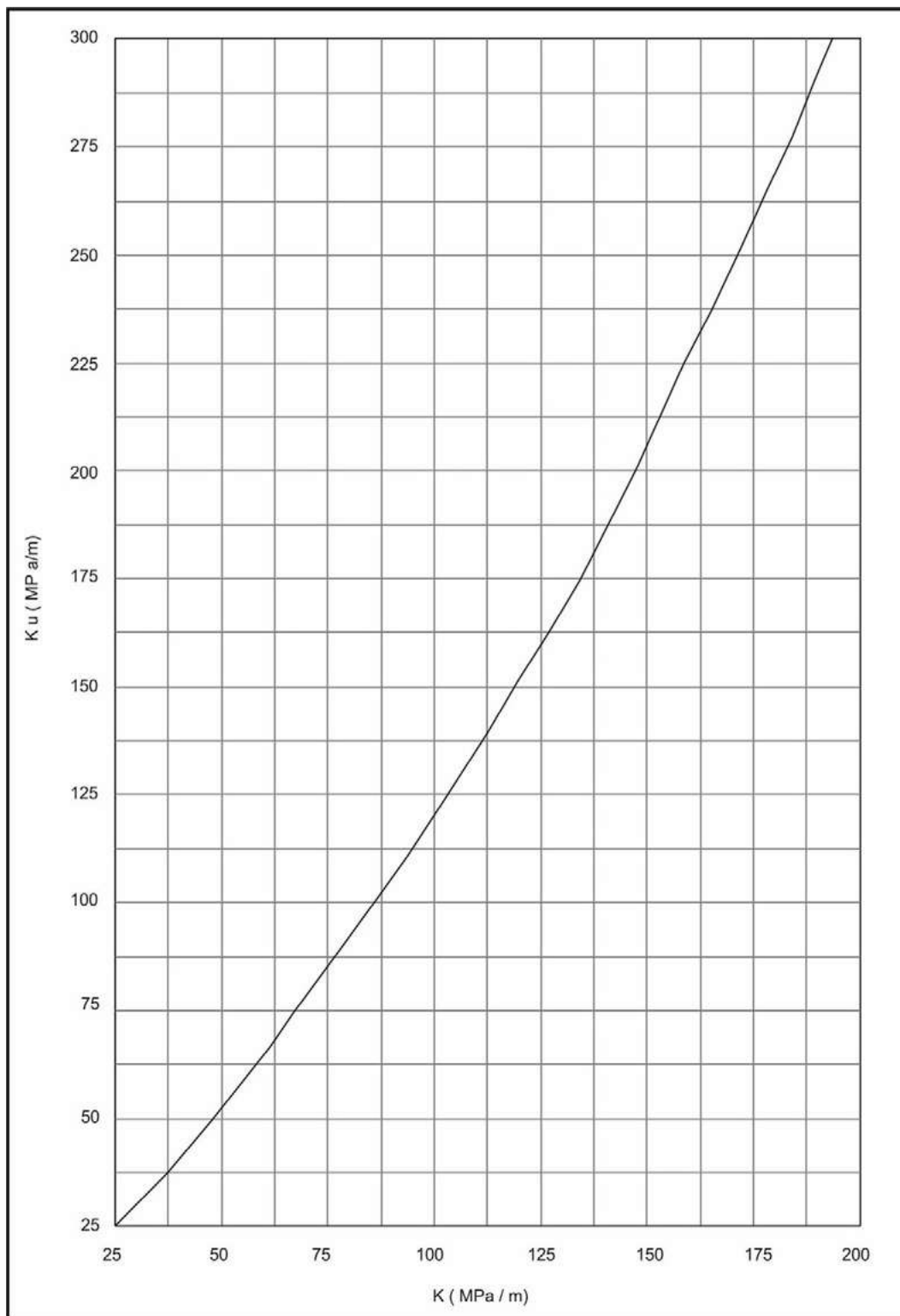


Figura 6.1_191. CORRECCIÓN DE KU POR DEFORMACIÓN DE PLACA

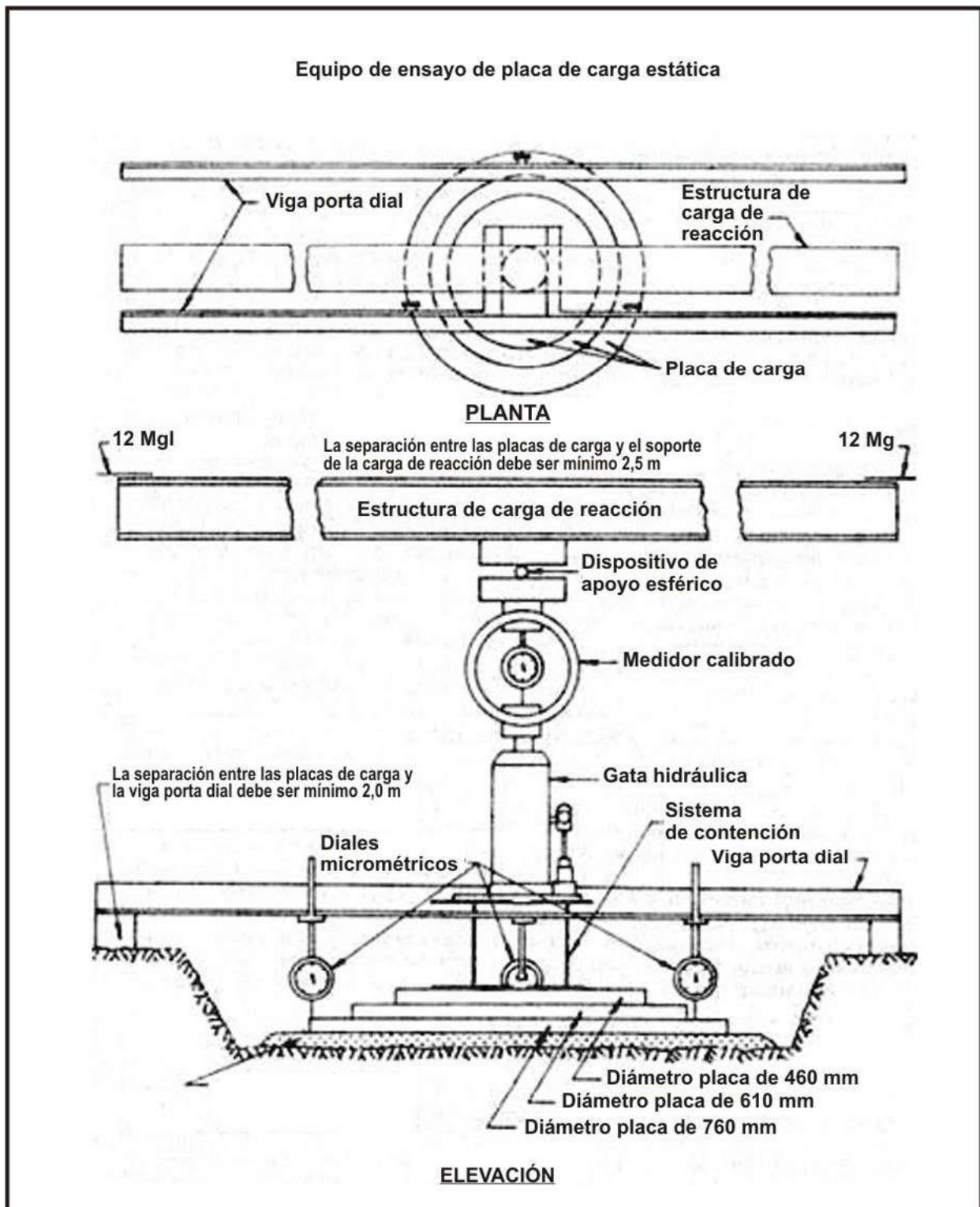


Figura 6.1_192. EQUIPO DE ENSAYO DE PLACA DE CARGA ESTÁTICA

SECCION 6.1.5.5.

ENSAYO DE PLACA DE CARGA REPETIDA, PARA EMPLEAR EN LA EVALUACIÓN Y DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (AASHTO T221)

6.1.5.5.1. OBJETO

En este método se trata el procedimiento de ensayo de placa de carga estática repetida sobre sub-rasantes, capas componentes de pavimento flexible y suelos, tanto en estado natural como compactados, con el objeto de proporcionar información para su uso en evaluación y diseño de pavimentos de tipo rígido o flexible de carreteras y aeropuertos.

6.1.5.5.2. DEFINICIONES

A. DEFLEXIÓN

El descenso vertical de una superficie debido a la aplicación de una carga sobre ella.

B. DEFLEXIÓN RESIDUAL

La diferencia entre el nivel original de una superficie y su posición final a consecuencia de la aplicación y retiro de una o más cargas en la superficie.

C. DEFLEXIÓN ELÁSTICA

La recuperación de la deformación vertical que tiene lugar cuando la carga se retira de la superficie.

6.1.5.5.3. EQUIPOS Y MATERIALES

A. ELEMENTOS DE REACCIÓN

Camión o remolque, una combinación de ambos, o un marco anclado a una estructura pesada con suficiente masa para producir la reacción deseada sobre la superficie bajo ensayo. Los puntos de apoyos (ruedas en caso de vehículos) deberán estar a lo menos a 2,5 m de la circunferencia de la placa de carga de mayor diámetro por emplear.

B. CONJUNTO HIDRÁULICO DE CARGA

Sistema con dispositivos de apoyo esférico, capaz de aplicar y retirar la carga en incrementos. La gata deberá tener la capacidad suficiente para aplicar la carga máxima requerida y estar equipada con un medidor calibrado con precisión suficiente para indicar la magnitud de la carga aplicada.

C. PLACAS DE ENSAYO

Un juego de placas circulares de acero de no menos de 25 mm de espesor, confeccionadas de modo de poder disponerse en forma piramidal para asegurar su rigidez y de diámetros que

varíen entre 150 mm y 760 mm. Los diámetros de las placas adyacentes en la disposición piramidal no deberán exceder los 150 mm.

Nota 1: *Se recomienda un mínimo de 4 placas de diferentes tamaños para ensayos con fines de evaluación y diseño de pavimentos. Para evaluar únicamente, se puede usar una placa simple que proporcione un área igual a la de contacto de los neumáticos, que corresponde a la combinación más crítica de carga por rueda y presión de inflado que pueda considerarse. Con objeto de obtener información referente a la variación del soporte (por ejemplo, la determinación del soporte relativo de un terreno a través de un período anual) puede emplearse una placa simple, cualquiera de las indicadas.*

D. DIALES MICROMÉTRICOS

Dos o más diales graduados en unidades de 0,025 mm (0,001") y capaces de registrar una deflexión acumulada máxima de 25 mm u otro aparato equivalente para medir deflexiones.

E. VIGA PORTA-DIAL

Sobre la que se montan los diales micrométricos. La viga deberá estar formada por un tubo o cañería de 60 mm de diámetro o un ángulo de acero de 75 x 75 x 6 mm o equivalente. Esta deberá tener como mínimo 4,75 m de largo y apoyarse en soportes ubicados a más de 2,0 m de la circunferencia de la placa de ensayo o rueda más cercana o soporte. El sistema completo de medición de deflexión deberá protegerse adecuadamente de los rayos directos del sol.

F. HERRAMIENTAS VARIAS

Debe incluirse un nivel de burbuja, para preparar la superficie a ensayar y las herramientas necesarias para operar el equipo.

6.1.5.5.4. PROCEDIMIENTO

- a. Centre cuidadosamente la placa del diámetro seleccionado bajo el dispositivo de reacción.
- b. Acomode las placas de diámetros menores restantes concéntricas con y sobre la placa principal. Ajuste la nivelación de la placa de ensayo con una delgada capa de arena y yeso o arena fina, usando la mínima cantidad de material necesario para lograr un apoyo uniforme. Para prevenir pérdidas de humedad del terreno durante la prueba de carga, cubra con plástico o papel impermeable el terreno expuesto, hasta 2 m de la circunferencia de la placa de ensayo.
- c. Cuando deba realizar un ensayo de carga no confinado a cierta profundidad de la superficie, remueva el material circundante hasta una vez y media el diámetro de la placa, medido desde el borde de la placa, para eliminar sobrecargas y efectos de confinamiento. Para ensayos confinados, el diámetro del área circular de excavación deberá ser el suficiente para permitir acomodar la placa de ensayo seleccionada.
- d. Fije un número suficiente de diales micrométricos, ubicados en posiciones que indiquen el movimiento vertical promedio de la placa de ensayo. Cuando use diales, ajústelos cerca de cada extremo de un diámetro de la placa de carga, a 25 mm del borde. Cuando utilice 3 diales, dispóngalos a 120° uno del otro y equidistantes desde la circunferencia de la placa de ensayo. Cada conjunto de lecturas individuales debe promediarse y registrar su valor como lectura de asentamiento promedio.

- e. Una vez adecuadamente instalado el equipo, con toda la carga muerta (gata, placas, etc.) actuando, asiente la placa de ensayo y el conjunto con una rápida aplicación y descargue la carga necesaria para producir una deflexión no inferior a 0,25 mm y no mayor que 0,50 mm, indicada por los diales. Cuando las agujas de los diales se estabilicen luego de la descarga, reasiente las placas con la aplicación de la mitad de la carga registrada que produjo la deflexión entre 0,25 mm y 0,50 mm; nuevamente, cuando los diales se hayan estabilizado, ajuste cuidadosamente cada dial a su marca "cero".

Nota 2: *El uso de diales micrométricos adicionales ubicados sobre la superficie del material por ensayar a media, una, una y media veces el diámetro de la placa de ensayo, desde el borde de ésta, es opcional.*

- f. Aplique una carga que produzca una deflexión aproximada a 1 mm. Haga funcionar el cronómetro, y mantenga la carga constante hasta que la razón de deflexión sea 0,025 mm por minuto o menos, durante 3 minutos consecutivos. Entonces, retire completamente la carga y observe la recuperación hasta que la razón de recuperación sea 0,025 mm por minuto o menos, para 3 minutos consecutivos. Aplique y retire la misma carga de esta manera seis veces. Registre las lecturas de los diales apoyados sobre la placa a cada minuto, registre la lectura de los diales ubicados más allá del perímetro de la placa de ensayo, inmediatamente antes de la aplicación e inmediatamente antes de retirar la carga, para cada aplicación. Para asegurar un buen contacto entre el dial y la placa de ensayo u otra superficie sobre el cual ellos se apoyan, dé un breve zumbido al timbre eléctrico instalado en la viga porta dial, 10 seg. antes de efectuar la lectura.
- g. Aumente la carga para alcanzar una deflexión de aproximadamente 5 mm y proceda como se indicó anteriormente.
- h. Aumente la carga para alcanzar una deflexión de aproximadamente 10 mm y proceda como se indicó anteriormente.
- i. En todos los casos la lectura final deberá cumplir la razón de 0,025 mm por minuto, o menos, durante 3 minutos consecutivos.
- j. Lea y registre la temperatura del aire desde un termómetro suspendido cerca de la placa de ensayo, en intervalos de media hora.

6.1.5.5.5. CÁLCULO Y TRAZADO DE LA CURVA CARGA – DEFLEXIÓN

Para cada repetición de carga, determine la deflexión para la que se cumple que la razón de deflexión sea exactamente 0,025 mm por minuto. Este punto de deflexión final puede ser determinado con suficiente precisión a partir de una inspección visual de los datos de deflexión registrados para cada repetición de carga.

Corrija la carga, registrada como lectura del manómetro de la gata hidráulica, utilizando las respectivas curvas de calibración de la gata y manómetro empleados.

Determine gráficamente el punto cero para corrección de la carga aplicada y deflexión. Esto requiere considerar la cantidad de masa de la gata, de los discos de ensayo empleados, etc., y de la carga corregida de la gata, cuyos diales fueron ajustados en cero al comienzo del ensayo.

Dibuje la deflexión corregida, para la cual la razón de deformación es exactamente 0,025 mm por minuto vs. el número de repeticiones de cada carga corregida. Gráficos similares pueden

prepararse con la deflexión residual corregida y deflexión elástica y dibujados en función del número de repeticiones de carga corregida.

6.1.5.5.6. INFORME

23. Además del registro de carga, deflexión y los datos de temperatura, prescritos en el Procedimiento, el informe deberá contener todas las condiciones asociadas y observaciones pertinentes al ensayo, incluyendo las siguientes:

- a) Fecha.
- b) Hora de inicio y desarrollo del ensayo.
- c) Lista del personal.
- d) Condiciones ambientales.
- e) Cualquier irregularidad en el procedimiento acostumbrado.
- f) Cualquier condición irregular observada en el sitio de ensayo.
- g) Cualquier observación sobre irregularidad durante el ensayo.

SECCION 6.1.5.6.**PESO UNITARIO DEL SUELO EN EL TERRENO. MÉTODO DEL BALÓN DE CAUCHO (ASTM D2167 AASHTO T205)****6.1.5.6.1. OBJETO**

Este método se refiere a la determinación del peso unitario en el terreno, de un suelo compactado o firmemente unido, mediante un aparato con una membrana de caucho. Sin embargo, el aparato descrito en el apartado de Equipos y materiales, no es aconsejable para un suelo muy blando, que se deforme bajo una presión leve, ó en el cual no pueda mantenerse con un valor constante el volumen del hueco.

6.1.5.6.2. EQUIPOS Y MATERIALES**A. APARATO DEL BALÓN DE CAUCHO**

Es un aparato con un cilindro calibrado diseñado para contener un líquido dentro de una membrana relativamente delgada, flexible y elástica (balón de caucho), para medir el volumen del hueco del ensayo bajo las condiciones de este método (*Véase Figura 6.1_193*).

El aparato deberá estar equipado de manera que pueda aplicarse exteriormente una presión o un vacío parcial al líquido contenido, y deberá ser de un peso y de un tamaño tal que no cause distorsión del hueco excavado ni del área adyacente durante la ejecución del ensayo. Deberá disponerse lo adecuado para colocar pesas (sobrecarga) sobre el aparato y de un indicador de volumen para determinar con precisión de 0,006 litros (0.00025 pies³) cualquier cambio en el hueco de ensayo.

La membrana flexible deberá ser de tamaño y forma tales, que llene completamente el hueco sin pliegues ni dobleces cuando se infla dentro de él, y tener suficiente resistencia para aguantar la presión que sea necesaria para asegurar el completo llenado del agujero de ensayo.

Se considera satisfactorio cualquier aparato que emplee una membrana flexible (caucho) y un líquido, y que pueda utilizarse para medir el volumen del agujero bajo las condiciones de este ensayo con precisión del 1,0 %.

B. BALANZAS

Una de 10 Kg. y con precisión de 1,0 g y otra de 2,0 Kg. y precisión de 0,1 g.

C. ESTUFA

También se puede usar un horno u otro aparato adecuado y satisfactorio para secar suelos y muestras para humedad.

D. EQUIPO MISCELÁNEO

Picas pequeñas, cinces y cuchara para extracción, bolsas de plástico, cubos con tapas, u otros recipientes metálicos adecuados que puedan cerrarse para contener el suelo extraído de los huecos; termómetro y brocha pequeña.

6.1.5.6.3. COMPROBACIÓN DE LA CALIBRACIÓN DEL INDICADOR DEL VOLUMEN

Compruébese el procedimiento que va a emplearse y la precisión del indicador de volumen utilizando el aparato para medir moldes de un volumen que pueda determinarse y que dimensionalmente simulen los huecos de ensayo que van a emplearse en el terreno. El aparato y el procedimiento deberán ser tales que estos volúmenes se midan dentro de 1.0 %. Deberán usarse moldes de volúmenes diferentes, de tal manera que la calibración del indicador de volumen cubra la amplitud de los tamaños anticipados para los huecos de ensayo.

a) Pueden emplearse los moldes de 4" y 6" descritos en los ensayos de Proctor normal y Modificado **S0402 y S0403** u otros moldes prefabricados para simular tamaños reales de huecos.

Cuando vayan a emplearse varios juegos de aparatos para el ensayo, es deseable disponer los que corresponden a los tamaños de huecos reales. Estos juegos deberán representar la amplitud de irregularidades y tamaños que se encontrarán en las paredes de los huecos. Pueden emplearse agujeros preelaborados como patrones para verificar la calibración del indicador de volumen. Esto puede lograrse rellenando con yeso los agujeros, retirando el bloque de yeso seco y embebiendo este bloque en concreto, para que cuando se seque el concreto, se retire el yeso y quede un molde que duplica el agujero preelaborado. Después de removido el yeso de los moldes, la superficie interior de los agujeros duplicados deberá sellarse a prueba de agua y se determinará su volumen.

b) Volumen de los moldes

Determinése el peso requerido de agua para llenar uno de los moldes, en gramos. Deslícese cuidadosamente una placa de vidrio sobre la parte superior de la superficie del molde para asegurarse que el recipiente esté completamente lleno de agua. Determinése la temperatura del agua dentro del depósito. Una capa delgada de grasa sobre la superficie del molde formará una junta impermeable entre la placa de vidrio y la parte superior de aquel. Calcúlese el volumen de éste, en pies³, multiplicándose el peso del agua (en gramos) empleado para llenar el recipiente por el volumen unitario del agua (en mililitros por gramo) a la temperatura observada, tomada de la **Tabla 6.1_37** y dividiendo el resultado por 28.317 ml/pie³. Repítase este procedimiento hasta que se tengan tres valores para el volumen del recipiente con una amplitud máxima de variación de 0,00283 dm³ (0.0001 pies³). Repítase el procedimiento para cada uno de los moldes que van a emplearse en la calibración de comprobación.

Tabla 6.1_37. VOLUMEN DEL AGUA POR GRAMO CON BASE EN LA TEMPERATURA.

Temperatura		Volumen de agua ml x g
°C	°F	
12	53,6	1,00048
14	57,2	1,00073
16	60,8	1,00103
18	64,4	1,00138
20	68,0	1,00177
22	71,6	1,00221
24	75,2	1,00268
26	78,8	1,00320
28	82,4	1,00375
30	86,0	1,00435
32	89,6	1,00497

c) Ensayos para verificar la calibración

Colóquese el aparato con el balón sobre una superficie horizontal relativamente lisa y hágase una lectura inicial en el indicador de volumen. Transfírase el aparato a uno de los moldes y hágase la lectura sobre el indicador de volumen cuando la membrana de caucho llene completamente el molde.

Aplíquese presión al líquido en el aparato hasta que no haya cambio alguno en el indicador de volumen. Anótese la presión.

Según el tipo de aparato, esta presión puede llegar a ser tan alta como de 49 kPa (5 lb/pulg²). Generalmente será necesario colocarle una sobrecarga al aparato para evitar que se levante. Anótese el peso total agregado.

La diferencia entre la lectura inicial y final del indicador de volumen será el volumen del molde. Podrá quitarse del molde la membrana aplicando un vacío parcial al líquido en el aparato. Repítase el procedimiento para otros recipientes.

Nota 1: *Si el molde o el recipiente de calibración son herméticos, puede ser necesario proporcionarle un escape al aire para evitar resultados erróneos, ya que la membrana de caucho puede atrapar aire dentro del recipiente y causar errores en la medida del volumen.*

Después de hallado el volumen del molde con agua, y antes de insertar la membrana de caucho, deberán proveerse pequeños agujeros para el escape del aire colocando cuerdas de diámetro pequeño sobre el borde del recipiente y hacia la parte inferior de la cara interior, ligeramente más allá del centro del molde. Esto permitirá que el aire atrapado escape durante el llenado del depósito con la membrana. Si dicho procedimiento es requerido en el laboratorio, puede ser necesario usar un procedimiento similar en suelos densos.

Nota 2: *En ensayos en el campo los pesos adicionales (sobrecargas) aumentarán el esfuerzo en el suelo no soportado y circundante al hueco y tenderán a causar deformaciones. El esfuerzo puede reducirse empleando una placa para la base.*

Nota 3: *Antes de ejecutar cualquier medida puede ser necesario distensionar la membrana y remover las burbujas de aire que se adhieren al interior de ésta.*

6.1.5.6.4. PROCEDIMIENTO

1. Prepárese la superficie del orificio para el ensayo, de manera que quede razonablemente plana.

Instálese el aparato en el sitio de ensayo y hágase una lectura inicial del indicador de volumen del vaso calibrado, empleando la misma presión sobre el líquido en el depósito y el mismo peso de sobrecarga usado en la calibración de comprobación.

Luego de efectuada esta lectura inicial sobre el indicador de volumen, márquese el contorno del aparato sobre el sitio del orificio de ensayo. Anótese la presión empleada, la magnitud de la sobrecarga, y la lectura inicial del volumen. Si el aparato fue calibrado con una placa de base, ésta deberá mantenerse en el sitio durante el ensayo.

2. Remuévase el aparato del sitio y excávase un orificio centrado dentro de la marca delineada para el aparato. Téngase cuidado al excavar el hueco, de manera que el suelo alrededor del borde superior del mismo no se altere. Colóquese todo el suelo removido del agujero en un recipiente hermético para las determinaciones de peso y de humedad. El hueco del ensayo deberá tener el volumen mínimo indicado en la **Tabla 6.1_38**.

Huecos de tamaños mayores proporcionarán mayor precisión y deberán usarse cuando sea posible. Las dimensiones del hueco de ensayo están relacionadas con el diseño del aparato y con la presión empleada; en general, estas dimensiones deberán aproximarse a las empleadas en el procedimiento de comprobación de la calibración .

Tabla 6.1_38. VOLUMEN MÍNIMO DEL ORIFICIO DE ENSAYO Y TAMAÑO MÍNIMO DE MUESTRA PARA HUMERDAD EN BASE EN EL TAMAÑO MÁXIMO DE LA PÁRTICULA

Tamaño máximo de partículas		Volumen mínimo de orificio de ensayo		Tamaño mínimo de la muestra para humedad
mm	(Alternativo)	cm ³	(pies ³)	g
4,75	(Nº4)	700	(0,025)	100
12,5	(1/2")	1400	(0,050)	250
25	(1")	2100	(0,075)	500
50	(2")	2800	(0,100)	1000
63	(2 ½")	3800	(0,135)	1500

- Después de excavar el orificio, colóquese sobre éste el aparato, en la misma posición empleada para la lectura inicial, e ínflase la membrana flexible dentro del hueco. Aplíquese la sobrecarga y la presión del líquido en el depósito que se usaron durante el procedimiento de verificación de la calibración. Anótese la lectura del indicador de volumen. La diferencia entre esta lectura y la inicial obtenida en el numeral 1, es el volumen del hueco de ensayo.
- Determínese el peso del suelo húmedo extraído del orificio con precisión de 5 g, (0.01 lb). Mézclase completamente el suelo, elíjase una muestra para contenido de humedad, de acuerdo con la **Tabla 6.1_38**, y determínese su peso con precisión de 0.1 g. Séquese la muestra para humedad hasta peso constante a 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F) y determínese su peso seco con precisión de 0,1 g.

6.1.5.6.5. CÁLCULOS

Calcúlese la humedad del suelo, w con aproximación al 1 % en la siguiente forma:

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco}} \times 100$$

Calcúlese el peso unitario húmedo, o W1 del suelo extraído del hueco del ensayo, en g/ml ó en lb/pie³, en la siguiente forma:

$$W_1 = \frac{\text{Peso del suelo húmedo en g (lb)}}{\text{Volumen del hueco en ml (pies}^3\text{)}}$$

- Para pasar de g/ml a lb/pie³ o viceversa, puede usarse el factor de conversión 62.4.

Calcúlese el peso unitario seco, w_s , del suelo extraído del hueco de ensayo en g/ml (lb/pie³).

$$w_s = \frac{W_1}{W + 100} \times 100$$

Conviértase el peso unitario de g/ml a kg/m³.

Puede ser deseable expresar el peso unitario suelto en el sitio como porcentaje con respecto a otro peso unitario; por ejemplo, el peso unitario máximo obtenido mediante el Proctor Normal o el Modificado.

6.1.5.6.6. INFORME

El informe deberá incluir:

- a) Sitio del ensayo.
- b) Cota del sitio.
- c) Volumen del orificio, m^3 .
- d) Peso unitario húmedo en el sitio, Kg/m^3 (lb/pe^3).
- e) Peso unitario seco, en el sitio Kg/m^3 (lb/pe^3).

Nota 4: En suelos blandos o débiles y cuando la presión aplicada al líquido en el depósito pueda deformar el hueco de ensayo hasta el punto de dar un volumen errado, deberá modificarse el dispositivo y emplear menor sobrecarga y menor presión sobre el líquido en el depósito, o puede ser necesario recurrir a otro método para determinar el peso unitario, como el del Cono de Arena, **Método 6.1.5.1.**

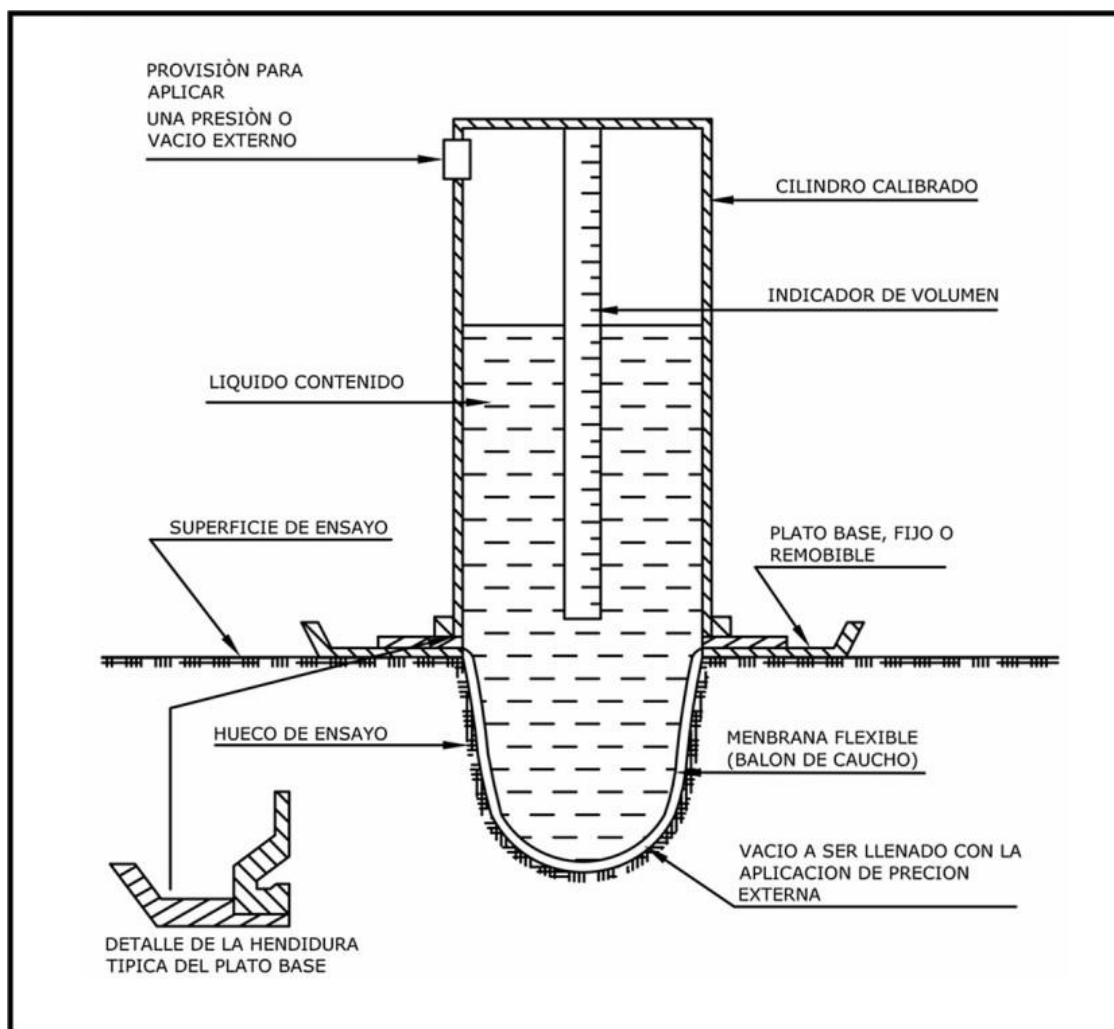


Figura 6.1_193. ESQUEMA DEL APARATO DE BALÓN DE CAUCHO

SECCION 6.1.5.7.**PESO UNITARIO DEL SUELO Y DEL SUELO-AGREGADO EN EL TERRENO MEDIANTE MÉTODOS NUCLEARES (ASTM 2922 AASHTO T238)****6.1.5.7.1. OBJETO**

Este método se refiere a la determinación en el terreno del peso unitario húmedo total de un suelo o de un suelo suelo-agregado con fines de investigación, control o diseño, colocando una fuente emisora y un detector de rayos gamma, sobre o dentro del material, o adyacente al mismo. Los métodos nucleares pueden aplicarse hasta profundidades entre 50 y 300 mm (2" y 12").

Empleando algunos modelos recientes de equipos nucleares pueden obtenerse simultáneamente el peso unitario seco, y el grado de compactación con respecto a un peso unitario de referencia.

La intensidad de la radiación detectada depende en parte del peso unitario del material bajo ensayo, y la lectura de la misma se transforma en peso unitario húmedo mediante una curva de calibración. Los resultados pueden afectarse por la composición química, la heterogeneidad de la muestra o por su textura superficial y también por distorsión espacial, por cuanto el aparato puede estar más sensible a ciertas zonas del muestreo.

Para la calibración y operación del equipo, así como para el procedimiento de ensayo, deberán tenerse en cuenta las recomendaciones del fabricante del equipo.

La ventaja principal de este ensayo, con respecto a procedimientos tradicionales (cono de arena, balón, etc.), radica en que no es destructivo y en la relativa facilidad para hacerlo, por lo cual pueden efectuarse muchos más ensayos y detectarse mediciones aparentemente erróneas. Sin embargo, se le objeta que con él no se puede examinar el suelo a profundidades mayores de las indicadas anteriormente.

El equipo empleado en este método es del tipo superficial, en oposición al de huecos profundos, y básicamente consta de tres elementos: (1) fuente nuclear emisora de rayos gama; (2) un detector sensible a estos rayos que son modificados al pasar a través del material que se está ensayando; (3) medidor para el cronometraje automático y preciso, que es necesario para determinar la tasa a la cual los rayos gama modificados llegan al detector.

Puede emplearse cualquier fuente de rayos gama que tenga emisión abundante y energía apropiada. La estabilidad de las fuentes con el tiempo, en términos de vida media, es una consideración importante de diseño y las más empleadas son Cesio-137 y Radio-Berilio. Los dos detectores más comúnmente empleados, son los tubos llenos de gas del tipo Geiger-Muller y los cristales centelleantes, generalmente de yoduro de sodio. Los detectores del último tipo ofrecen la posibilidad de variar electrónicamente, el nivel de energía de los rayos gama que se cuentan. Con detectores de tipo Geiger - Muller este nivel esta fijado en el diseño.

La tasa a la cual los rayos gamma llegan al detector se denomina en este método, con el nombre de cuantía.

El volumen del suelo o del suelo-agregado representado en las mediciones es indeterminado y variará con la geometría del sistema fuente-detector del equipo empleado y con sus características físicas. En general, manteniendo constantes las condiciones restantes, cuanto más denso sea el material, menor será el volumen involucrado en la medida. El peso unitario determinado entonces, no es necesariamente promedio dentro del volumen incluido en la medida hecha bajo condiciones usuales; la cuantía está determinada en gran parte, por los 75 a 100 mm (3" a 4") superiores del material. Cuando los materiales son de peso unitario uniforme, esta característica no tiene efecto.

El número de rayos gama emitidos por una fuente durante un período dado, es estadísticamente aleatorio y sigue una distribución Gaussiana. Por esto, el número real de rayos modificados detectados y contados al medir un peso unitario, deberá ser suficientemente grande para disminuir la probabilidad de que la cuantía observada muestre variaciones inaceptables, que se reflejan en la desviación estándar de la cuenta total.

La precisión del sistema completo para determinar pesos unitarios, es también de naturaleza estadística y puede variar con el equipo, con las condiciones de ensayo en el laboratorio frente a las del terreno, así como con los materiales y con los operadores, por lo cual no es posible dar números precisos para su exactitud.

Una de las fuentes más comúnmente empleadas, el Cesio 137, es producida por el hombre y su empleo está regulado por la Comisión de Energía Atómica en EE.UU., así como por algunos otros gobiernos. Como el radio es un elemento natural, su empleo está regulado igualmente por los respectivos gobiernos en la mayoría de los países. Además de los objetivos de establecer regulaciones e instrucciones precisas, están los de emplear el material radioactivo de manera segura para el operador y las demás personas.

6.1.5.7.2. EQUIPOS Y MATERIALES

- La fuente emisora gamma, deberá ser una fuente de radioisótopos, encapsulada y sellada.
- Detector de rayos gamma, de cualquier tipo adecuado.
- Dispositivo de lectura, o contador automático, de escala apropiada, que registre la cuantía de los rayos que llegan al detector. Generalmente, el dispositivo de lectura deberá contener fuentes de alto y bajo voltaje, para operar el detector y los dispositivos accesorios de lectura.
- Cajas. La fuente, el detector, el dispositivo de lectura, y el suministro de corriente deberán hallarse en cajas de construcción fuerte, a prueba de humedad y polvo.
- Patrón de Referencia, de peso unitario uniforme e invariable. Deberá proporcionarse para cada medidor, con el objeto de comprobar la operación del equipo y la calibración y para establecer condiciones de que la cuantía sea reproducible.

D.1. Dispositivos para la preparación del sitio

Una placa de acero, una regla, así como otras herramientas de nivelación, adecuadas para aplanar el sitio de ensayo, hasta darle la tersura requerida.

D.2. Sonda

(Aplicable al método de transmisión directa). Cualquier fuente gamma o el detector deberán alojar una sonda para ser insertada en un hueco preelaborado en el material que va a ser ensayado. La sonda deberá tener marcas con incrementos de 50 mm (2") para ensayos con profundidades de la sonda de 50 a 300 mm (2 a 12"). La sonda deberá ser operada mecánicamente,

de manera que, cuando se mueva manualmente hasta la profundidad marcada deseada, se mantenga en su posición, a dicha profundidad.

- Guía. (Aplicable al método de transmisión directa). Para formar un agujero perpendicular a la superficie preparada.
- Herramientas para hacer el hueco, en el material que se va a ensayar, como un barreno o una punta con un diámetro nominal, igual o ligeramente mayor que el de la sonda, pero que no exceda el de ésta, en más de 3 mm (1/8"). (Aplicable al método de transmisión directa).
- Soportes espaciadores. (Aplicables al método del colchón de aire). Sirven para sostener el medidor con vacío óptimo de aire por encima del material que se está ensayando. Los soportes espaciadores deberán diseñarse para que soporten el medidor a una altura óptima sin interferir la base del mismo.

6.1.5.7.3. MÉTODOS DE ENSAYO

Existen tres métodos generales para la ejecución del ensayo:

Método A - Retrodispersión.

Método B - Transmisión Directa.

Método C - Colchón de aire.

Las medidas se efectúan empleando rayos gamma, que en gran parte se reflejan con energía reducida, por dispersión o por transmisión directa, a través del material bajo ensayo.

Las hipótesis fundamentales inherentes a los métodos anteriores son:

- a) La dispersión Compton constituye la interacción predominante.
- b) El material bajo ensayo es homogéneo.

La determinación del peso unitario mediante métodos nucleares es indirecta, y no se ha desarrollado un procedimiento teórico que prediga la cuantía para un equipo, una disposición geométrica, un material y un peso unitario dados.

Como consecuencia, la relación entre el peso unitario y la cuantía, es determinada mediante ensayos de correlación con materiales de pesos unitarios promedios conocidos. Los fabricantes de equipos individuales suministran una curva con cada equipo, pero estas curvas no se mantienen necesariamente para todos los suelos y suelos-áridos debido a diferencias en la composición química de los mismos. Las variaciones aparentes en las curvas de calibración también pueden ser inducidas por diferencias en el asentamiento, en la cuantía de referencia y en otras variaciones del ensayo.

Pueden emplearse diferentes procedimientos para comprobar las curvas de calibración. Se dan en este método los más utilizados, debiendo aplicarse estos procedimientos con equipos nuevos o a los equipos en servicio, cuando se substituyan sus partes principales.

6.1.5.7.4. CONDICIONES GENERALES

A. MEDIDAS DE SEGURIDAD

Procedimientos detallados de seguridad se hallan por fuera del objeto de este método, pero es necesario que quienes empleen estos equipos se familiaricen con los riesgos de los mismos, que se establezcan ensayos rutinarios de escape o fugas de radioactividad, que se empleen registros y escarapelas para su medida, y que aquellos se evalúen debidamente.

B. CALIBRACIÓN

Además de lo especificado en este método, se deberán atender las recomendaciones del fabricante acerca de la calibración del equipo empleado.

Se han establecido curvas de calibración determinando la cuantía para diferentes materiales de pesos unitarios diferentes y conocidos, dibujando la cuantía contra cada peso unitario conocido, y haciendo pasar una curva a través de los puntos resultantes. La cuantía podrá determinarse, promediando un mínimo de cuatro mediciones, de por lo menos un minuto de duración cada una, para cada material.

El método empleado para establecer la curva debe ser el mismo que se usaría para determinar el peso unitario en un ensayo, pero los materiales empleados para establecerla deben variar dentro de un intervalo que incluya el peso unitario de los materiales que se van a ensayar, y deberán tener un peso unitario uniforme.

Pueden establecerse curvas de calibración en las siguientes formas:

- a) Empleando bloques con peso unitario conocido, de materiales que se consideran satisfactorios para este fin como el granito, el aluminio, el magnesio-aluminio laminado, la caliza y el magnesio.
- b) Empleando muestras preparadas de suelo-agregado en recipientes compactados a pesos unitarios conocidos.

Nota 1: *Las curvas de calibración no son aplicables a materiales no representados al establecerlas. Los bloques metálicos son satisfactorios únicamente para determinar la forma adecuada y la inclinación de la curva, pero la localización correcta de ésta, debe determinarse mediante ensayos sobre bloques de materiales de composición similar a los que se hallarán en el terreno. El empleo de bloques es ventajoso porque son durables y proporcionan referencias estables para el peso unitario. Los bloques y muestras preparadas en recipientes deben ser suficientemente grandes para que no cambie la cuantía observada, si se hacen mayores en cualquier dimensión. Las muestras preparadas en recipientes deben ser suficientemente grandes para permitir la rotación del medidor en 90°. Para la calibración de retrodispersores, es necesaria una profundidad mayor de 150 mm (6").*

Verificación de las curvas de calibración de aparatos nuevos. Deberán verificarse al ser adquiridos los aparatos y también cuando por cualquier razón se considere que los resultados de ensayos rutinarios son imprecisos. Para el método de retrodispersión, las curvas de calibración deberán verificarse en caso de ensayos de materiales que sean claramente diferentes de los tipos de materiales ensayados previamente, y que puedan tener composiciones químicas diferentes.

Las curvas de calibración pueden verificarse ya sea sobre bloques o sobre muestras preparadas en recipientes.

Ajuste de la curva de calibración. Cuando los bloques o recipientes preparados con materiales de peso unitario conocido están siendo empleados para ajustar la calibración, dibújese la cuantía contra cada peso unitario conocido, utilizado en 22. Si los puntos no se ajustan a la curva de

calibración previamente establecida, reemplácese dicha curva por otra dibujada paralelamente a la anterior y a través de los puntos de cuantía.

a) Cuando se está empleando el método del cono, del balón de caucho o del peso específico para ajustar la calibración, compárese el promedio de 10 sitios por lo menos, efectuando en cada sitio un ensayo nuclear y uno de arena, balón de caucho o peso específico, y procédase como se indica enseguida, para ajustar las curvas de calibración.

b) Si el peso unitario de cada uno de los ensayos de comparación, varía en menos de 80 g/m³ (5 lb/pie³) del peso unitario determinado mediante el método nuclear, y si el promedio de los ensayos de peso unitario con sistemas convencionales está cerca de 32 kg/m³ (2 lb/pie³), el promedio de todos los ensayos nucleares correspondientes, no es necesario ningún ajuste de la curva de calibración.

c) Si el promedio de esas determinaciones, está en más de 32 kg/m³ (2 lb/pie³) por encima o por debajo del promedio de todos los ensayos nucleares correspondientes, los ensayos subsiguientes deberán ajustarse mediante la diferencia en los promedios, la cual deberá agregarse si el promedio de los ensayos nucleares es menor, y sustraerse si es mayor.

d) La diferencia promedia obtenida según el literal b) puede emplearse para dibujar una curva de calibración corregida, la cual será paralela a la de calibración original y deberá compararse en magnitud y dirección como se determina en el literal b) antes citado.

Nota 2: *El ajuste de calibración es una tarea compleja y deberá efectuarse únicamente por quienes sean aptos por su conocimiento en este campo.*

Nota 3: *Las curvas de calibración y colchón de aire óptimo pueden adquirirse del fabricante para cada medidor y deben ser fácilmente comprobadas.*

6.1.5.7.5. PRECISIÓN

Cualquier equipo que sea utilizado en este método, deberá satisfacer los requerimientos aquí especificados.

La precisión del sistema se determina a partir de la pendiente de la curva de calibración y de la desviación estándar de las cuantías observadas en un mismo sitio, para el tiempo de medición recomendado, el cual deberá ser por lo menos de 1 minuto:

$$P = \frac{\sigma}{s}$$

Donde:

P = Precisión.

σ = Desviación estándar, de las cuantías observadas en un mismo sitio, para el tiempo de medición recomendado.

s = Pendiente, variación de la cuantía al variar el peso unitario, en cuantía/(kg/m³) (cuantía/(lb/pie³)).

Determínese la pendiente a partir de la curva de calibración en el punto de peso unitario igual a 1,762 kg/m³ (110 lb/pie³). Determínese la desviación estándar a partir de diez (10) mediciones repetidas, (cada una con el tiempo de medición recomendado, y sin mover el aparato después

de la primera medición), tomados sobre un material que tenga un peso unitario de $1,762 \pm 80$ kg/m³ (110 ± 5 lb/pe³). El valor de P puede ser menor de 20 kg/m³ (1.25 lb/pe³).

Error químico. El error debido a cambios en la composición química de materiales, que tengan coeficientes de atenuación gamma menores que los del granito, o mayores que los de la caliza, no deberá ser mayor de $\pm 2,5\%$, en los métodos de retrodispersión, ni de $\pm 1,2\%$, para los de transmisión directa con la fuente a una profundidad de 150 mm (6").

Para la determinación del error químico podrá utilizarse lo especificado en el ensayo **ASTM D2922**.

Error debido a la rugosidad de la superficie. El error ocasionado por el colchón de aire de 1.3 mm (0.05") entre la base del medidor y la superficie del material que se está midiendo, no deberá ser mayor del 4%, en el método de retrodispersión, ni mayor del 1%, en el de transmisión directa, en la fuente colocada a 150 mm (6") de profundidad. Pueden disminuirse los efectos de la rugosidad superficial mediante preparación cuidadosa del sitio.

El efecto de la rugosidad de la superficie puede medirse así: colóquese el aparato sobre una superficie plana pulida, después de limpiar la superficie y la base del detector, y mídase el peso unitario. Levántese luego el medidor, colocando espaciadores de 1,3 mm (0.05") entre la base del detector y la superficie del material, de manera que no interfiera con la zona de medida del detector. Vuélvase a medir el peso unitario aparente; la diferencia representa el error.

A. NORMALIZACIÓN DEL EQUIPO

Es necesaria la normalización del equipo sobre un patrón de referencia, al inicio de cada día de uso y deberá mantenerse un registro permanente de tales datos.

Póngase a funcionar el equipo y déjese estabilizar de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

Si la comprobación de calibración muestra que no hay cambio significativo de la curva de calibración, deberá establecerse una nueva cuantía normal de referencia, N° . Si las comprobaciones de calibración muestran, una diferencia significativa en la curva de calibración, es necesario reparar y recalibrar el aparato.

$$N_s = N_0 \pm 2,0\sqrt{N_0}$$

Donde

N_s = Cuantía medida al comprobar la operación del instrumento sobre el patrón de referencia.

N_0 = Cuantía normal de referencia previamente establecida sobre el patrón referencia

(promedio de 10 lecturas repetidas).

6.1.5.7.6. MÉTODO A - RETRODISPERSOR

A. PROCEDIMIENTO

Escójase un sitio para la prueba, donde el medidor en posición de ensayo se halle al menos a 150 mm (6") por fuera de cualquier proyección vertical.

Prepárese el sitio de ensayo de la manera siguiente:

a) Remuévase todo el material suelto y alterado y el material adicional, en cuanto sea necesario, para exponer la parte superior del material que va a ser ensayado.

Nota 4: Las dispersiones espaciales deberán considerarse para determinar la profundidad a la cual se va a colocar el medidor.

b) Prepárese un área horizontal suficiente en tamaño para acomodar el medidor, aplanando el área hasta una condición lisa, de tal manera, que se obtenga el contacto máximo entre el medidor y el material que está siendo ensayado.

c) El vacío máximo por debajo del medidor no deberá exceder de 3 mm (1/8"). Usense materiales del sitio o arena fina para llenar los vacíos y alíse la superficie, con una placa rígida o mediante otra herramienta adecuada.

Nota 5: La colocación del medidor sobre la superficie del material que va a ser ensayado, es crítica para la determinación correcta del peso unitario. La condición óptima, es la de contacto total entre la superficie del fondo del medidor y la del material que se está ensayando. Pero como no es posible lograrlo, para corregir las irregularidades de la superficie se podrá emplear arena o material similar como llenante. La profundidad del relleno no deberá exceder de 3 mm (1/8") y el área total rellena no deberá exceder del 10% del área del fondo del medidor.

Pueden requerirse varios asentamientos de prueba para lograr estas condiciones.

Procédase para el ensayo de la manera siguiente:

- a) Asiéntese el medidor firmemente.
- b) Manténgase por fuera del alcance de éste, cualquier otra fuente radioactiva, para evitar que se afecten las medidas.
- c) Caliéntese el equipo según la recomendación del fabricante.
- d) Obténganse y regístrense una o más lecturas de un minuto.
- e) Determínese el peso unitario húmedo en el sitio, mediante el empleo de la curva de calibración establecida previamente.

6.1.5.7.7. MÉTODO B – TRANSMISIÓN DIRECTA

A. PROCEDIMIENTO

Escójase un sitio donde el medidor quede en posición de ensayo al menos 150 mm (6") por fuera de cualquier proyección vertical.

Prepárese el sitio de ensayo siguiendo los mismos pasos del Método A-Retrodispersor

Adicionalmente, excávase un orificio de al menos 50 mm (2") de profundidad mayor que la profundidad a la cual se coloca la sonda y que sea perpendicular a la superficie preparada, empleando la guía y el dispositivo para formar el hueco con un alineamiento tal, que la inserción de la sonda, no haga inclinar el medidor con respecto al plano del área preparada.

Procédase para el ensayo de la manera siguiente:

- a) Colóquese el medidor sobre la superficie, alineada cuidadosamente con marcas y extiéndase la sonda en la posición requerida, para la profundidad deseada de ensayo.
- b) Insértese la sonda en el orificio.

- c) Asiéntese firmemente el medidor, rotándolo alrededor de la sonda, con un movimiento hacia atrás y hacia adelante.
- d) Empújese suavemente el medidor en la dirección que colocaría el lado de la sonda, contra el lado del orificio más próximo a la localización del detector o la fuente en la caja del medidor.
- e) Manténganse cualquier otra fuente radioactiva fuera del medidor, para evitar que afecte la medida.
- f) Caliéntese el equipo según la recomendación del fabricante.
- g) Obténganse y regístrense una o más lecturas de un minuto.
- h) Determínese el peso unitario húmedo en el sitio, mediante el uso de la curva de calibración establecida previamente.

6.1.5.7.8. MÉTODO C – COLCHÓN DE AIRE

A. DETERMINACIÓN DEL COLCHÓN DE AIRE ÓPTIMO

Para determinar el óptimo colchón de aire a que se refiere este método se procede de la siguiente manera.

- a) Escójanse tres o más áreas diferentes sobre las cuales se harán las determinaciones. Dichas áreas pueden ser bloques o recipientes preparados, empleados para calibración (22) o áreas en el terreno, del suelo o suelo-agregado compactado (24). El peso unitario de los materiales en las áreas escogidas deberá variar a través de un intervalo que incluya los pesos unitarios de los materiales que van a ser ensayados.
- b) Colóquese el medidor de peso unitario sobre el área de ensayo, montándolo sobre el soporte colocado en los bordes extremos del mismo, de tal manera, que no obstruya el espacio entre el fondo del medidor y la superficie del área de ensayo.
- c) Tómanse y anótense dos lecturas de cuantía por minuto y determínese el promedio de las mismas.
- d) Mediante bloques o espaciadores adicionales, aumentese el colchón de aire en incrementos de 6,4 mm ($\frac{1}{4}$ "). Tómanse, regístrense y promédiense dos lecturas adicionales de 1 minuto cada una.
- e) Continúese aumentando el colchón de aire mediante incrementos de 6,4 mm ($\frac{1}{4}$ "), asegurando lecturas promedias para cada colchón, hasta cuando haya una reducción en las lecturas de cuantía por minuto para un incremento en el colchón de aire.
- f) Sobre un gráfico a escala, dibújense estas cuantías por minuto como ordenadas contra cada colchón de aire (en mm o pulgadas), y dibújese una curva suave a través de los puntos resultantes. Regístrese el colchón de aire máximo, determinado en el pico de la curva (colchón de aire pico).
- g) Repítanse los procedimientos de éste numeral sobre dos o más áreas adicionales de materiales de peso unitario diferente y regístrese el colchón de aire pico, para cada una.
- h) Hállese el promedio de los colchones de aire pico, de todas las áreas, el cual será el colchón de aire óptimo, y empléese éste para establecer la curva de calibración mediante este método y para todas las determinaciones de peso unitario de acuerdo con el mismo.

B.PROCEDIMIENTO

Escójase un sitio donde el medidor en la posición de ensayo quede al menos a 150 mm (6") de cualquier proyección vertical del mismo. Nivélase una área suficiente para colocar la armazón y el medidor.

Prepárese el sitio de ensayo siguiendo los mismos pasos del Método A-Retrodispersor.

Procédase para el ensayo de la manera siguiente:

- a) Colóquese firmemente el medidor.
- b) Manténganse cualquier otra fuente radioactiva por fuera del medidor, para evitar que afecte la medida y las lecturas.
- c) Caliéntese el equipo según las recomendaciones del fabricante.
- d) Regístrense una o más lecturas de un minuto en la posición de retrodispersión.
- e) Colóquese la armazón, establézcase un colchón de aire óptimo en el sitio del ensayo, y colóquese el medidor sobre la armazón de manera que éste quede directamente sobre el mismo sitio empleado para las lecturas de retrodispersión. Cuando se use un medidor del tipo de transmisión directa, para esta lectura, colóquese la sonda en posición retraída, o en la del retrodispersor.
- f) Tómese el mismo número de lecturas del tiempo normal de un minuto, tanto en la posición del colchón de aire, como en la del retrodispersor.
- g) Determínese la relación del colchón de aire dividiendo las cuantías por minuto obtenidos en la posición del colchón de aire, por las obtenidas en la posición del retrodispersor.
- h) Determínese el peso unitario en el sitio, mediante el uso de la curva de calibración aplicable, previamente establecida.

Nota 6: La relación del colchón de aire puede determinarse dividiendo las cuantías por minuto obtenidas en la posición de retrodispersión, por las cuantías por minuto obtenidas en la posición de colchón de aire o viceversa. Para cualquier relación que se emplee, deberá utilizarse también la misma curva de calibración.

6.1.5.7.9. CÁLCULOS

Para obtener el peso unitario seco empléese uno de los métodos siguientes:

Si la humedad se determinó por métodos nucleares réstese el peso del agua en kg/m³ lb/pie³) del peso unitario total o húmedo y obténgase el peso unitario seco en kg/m³ (lb/pie³).

Si la humedad se halló por métodos diferentes, (secamiento en el horno o carburo de calcio) y está dada como porcentaje, procédase así:

$$f_d = \left[\frac{f_{hum}}{w + 100} \right] \times 100$$

Donde:

- f_d : Peso unitario seco, kg/m³ (lib/pie³)
 f_{hum} : Peso unitario húmedo, kg/m³ (lib/pie³)
 w : Porcentaje de humedad en la muestra.

6.1.5.7.10. INFORME

El informe deberá incluir:

- a) Sitio del ensayo.
- b) Descripción visual del material.
- c) Identificación del equipo de ensayo (marca, modelo, N° de serie).
- d) N_s , cuantía medida al comprobar la operación del instrumento (32) sobre el patrón de referencia (11), método y fecha de la misma.
- e) N_o , cuantía normal de referencia previamente establecida (32), sobre el patrón de referencia (11) (promedio de 10 lecturas repetidas).
- f) Cuantía para cada lectura.
- g) Cuantía total
- h) Peso unitario húmedo.

SECCION 6.1.5.8.

DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD EQUIVALENTE DE SUELOS EN EL TERRENO (AASHTO T93)

6.1.5.8.1. OBJETO

Este método cubre el procedimiento para la determinación de humedades equivalentes de suelos en el terreno.

6.1.5.8.2. DEFINICIONES

A. HUMEDAD EQUIVALENTE

La humedad equivalente de un suelo en el terreno, es el mínimo contenido de humedad al cual una gota de agua, colocada sobre una superficie alisada del suelo, no será completamente absorbida en 30 segundos por el mismo, si no que se esparcirá sobre la superficie dejando una película fina de humedad.

6.1.5.8.3. EQUIPOS Y MATERIALES

- Disco de evaporación de porcelana, o un disco similar para mezclar, de alrededor de 115 mm (4½") de diámetro.
- Espátula o navaja, que tenga una hoja de aproximadamente 76 mm (3") de longitud y 19 mm (3/4") de ancho.
- Pipeta, bureta ó dispositivo similar, para agregar agua en forma de gotas.
- Recipientes adecuados, tales como vidrios similares a los de reloj, que eviten la pérdida de humedad durante el pesaje.
- Balanza, de capacidad 1.200 g y precisión 0,01 g.
- Horno, termostáticamente controlado, que pueda mantener una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 41^{\circ}\text{F}$).



Figura 6.1_194. Equipos Requeridos

6.1.5.8.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Deberá tomarse una muestra que pese alrededor de 50 g, de la porción completamente mezclada del material que pase por el tamiz de 425 μm (N°40) y que haya sido obtenida de acuerdo con el Método Normal de preparación en seco de muestras alteradas de suelo para ensayos (**Método 6.1.2.4.**), o con el Método Normal de preparación de muestras húmedas, alteradas, de suelos para ensayos (**Método 6.1.2.5.**).

6.1.5.8.5. PROCEDIMIENTO

- La muestra secada al aire deberá colocarse en el disco para mezclarla agitándola; se tajará con la espátula, agregando unas pocas gotas de agua al mismo tiempo con la pipeta o un dispositivo similar. Deberá continuarse este proceso hasta que el suelo humedecido se pueda conformar en pequeñas bolas, al manipularlo. Las bolas de suelo deberán amontonarse cerca del borde inclinado del disco para mezclado.
- Deberá formarse entonces una superficie lisa sobre la muestra del suelo mediante cinco (5) golpes ligeros de la espátula, debiendo cumplirse esta acción en forma tal, que deje una depresión ligera en la superficie lisa. Se coloca una gota agua en dicha depresión, y si ésta desaparece completamente en 30 segundos o menos, deberán agregarse al suelo dos o tres gotas de agua y los procesos de mezclado, alisamiento y ensayo, deberán repetirse hasta que la gota de agua no desaparezca sino que se extienda sobre la superficie alisada dejando una mancha brillante sin presencia de agua libre.
- El agua libre deberá detectarse mediante la inclinación brusca del disco y observando si la mancha brillante se extiende rápidamente.
- Si se excede el punto final, deberá tomarse una nueva muestra y repetirse el procedimiento de ensayo agregando pequeños incrementos de agua.
- Una porción del suelo incluyendo toda el área alisada, deberá colocarse en un recipiente adecuado, pesarse con precisión de 0.01 g y registrar dicho peso. Se coloca luego la muestra junto con el recipiente de un horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$) hasta obtener peso constante y se pesa con aproximación a 0,01 g. Deberá anotarse este peso, así como la pérdida en peso debida al secamiento, la cual se anotará como peso del agua.



Figura 6.1_195. Pesada de la Muestra



Figura 6.1_196. Secado de la Muestra Húmeda

6.1.5.8.6. CÁLCULOS

La humedad equivalente en el terreno se calculará así:

$$\text{Humedad equivalente} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del suelo secado al horno}} \times 100$$

Exprésese la humedad al horno equivalente en el terreno con aproximación al 0,1%.

SECCION 6.1.5.9.

TASA DE INFILTRACIÓN DE AGUA EN EL TERRENO EMPLEANDO INFILTRÓMETROS DE ANILLO DOBLE (ASTM D3385)

6.1.5.9.1. OBJETO

Este método describe un procedimiento para la determinación en el terreno de la tasa de infiltración del agua dentro de los suelos, empleando infiltrómetros de anillo doble.

La tasa de infiltración es una característica del suelo que determina la tasa máxima a la cual puede penetrar el agua dentro del suelo bajo condiciones especificadas, incluyendo la presencia de un exceso de agua.

Las tasas de infiltración tienen aplicación en problemas relacionados con tasas de erosión, lixiviación (disolución en agua de una sustancia alcalina) y eficiencias de drenaje, irrigación, esparcimiento de agua, desagüe, lluvias y evaluación de campos de disposición de posibles tanques sépticos.

Evidentemente las tasas de infiltración obtenidas inundando áreas grandes, ofrecen resultados más confiables, pero debido a su alto costo, se prefiere usar el método de las infiltraciones, por ser mucho más económico.

Los ensayos efectuados en un mismo sitio pueden no dar resultados idénticos; la tasa medida por el procedimiento descrito en este ensayo es primordialmente para uso comparativo.

6.1.5.9.2. EQUIPOS Y MATERIALES

1. Anillos del Infiltrómetro

Cilindros de aproximadamente 500 mm (20") de altura y con diámetros diferentes de aproximadamente 300 y 600 mm (12" y 24"). Los cilindros pueden ser elaborados de lámina de aluminio de 3 mm (1/8"), de aleación dura, o de otro material suficientemente resistente para que soporte la hincada fuerte, con el borde del fondo biselado, desde el borde exterior hasta el interior (**Figura 6.1_197**). Los bordes biselados deben mantenerse afilados. Anillos más grandes pueden calibrarse y emplearse si fueren viables económicamente.

2. Tapas para la penetración

Discos, de 13 mm (1/2") de aleación de aluminio con pasadores (pines) alrededor del borde. Los diámetros de los discos deberán ser ligeramente mayores que los de los anillos del infiltrómetro.

3. Equipo de penetración.

Una maceta de 5.5 Kg. (12 lb) y un bloque de madera de 600 a 900 mm (2' o 3') de longitud y aproximadamente 50 x 100 mm (2" x 4") o de 100 x 100 mm (4" x 4") de sección.

4. Medidor de profundidad

Un medidor de gancho, una cinta metálica o regla, o un pedazo de alambre resistente y puntiagudo en un extremo para emplearlo en la medida y control de la profundidad del agua (cabeza) en el anillo del infiltrómetro.

5. Guardas de salpicaduras

Algunas hojas cuadradas de caucho de 150 mm (6") de lado.

6. Regla, o cinta

Una cinta metálica de 2 m (6') o una regla de acero de 300 mm (1').

7. Pisón metálico

Tubo de 350 mm (14") de largo con agarradera de acero de 6 mm (¼") de espesor, de 150 mm (6") de largo y de 250 mm (1") de ancho, soldada en el extremo.

8. Palas

Una pala de mango largo y una pica para excavar zanjas.

9. Hoyador manual

Hoyador de horticultura con cuchara de 225 mm (9") de largo y 75 mm (3") de diámetro y un martillo de caucho para golpear y extraer la muestra de la cuchara.

10. Recipientes para agua

Un tanque de 190 l (50 galones) para el suministro principal de agua; un cilindro graduado de 1000 ml. o un tubo Mariotte para la medida de agua, durante el ensayo; un balde de 12 cuartos de galón (12.7 l) para llenar inicialmente el infiltrómetro y un tramo de manguera de caucho para usarla como sifón y sacar agua del tanque (*Véase Figura 6.1_ 198*).

11. Suministro de Agua

Preferiblemente agua de la misma calidad y temperatura que la usada en el problema que se está examinando.

12. Cronómetro

13. Nivel de carpintero o de ojo de buey (redondo)

14. Libretas para registro de datos.

6.1.5.9.3. PREPARACIÓN DEL SITIO DE ENSAYO

15. El ensayo requiere una área de aproximadamente 3m x 3 m (10' x 10'), a la cual pueda llegar un camión.
16. El sitio de ensayo deberá hallarse tan nivelado como sea posible, o prepararse de conformidad.
17. El ensayo puede efectuarse en un pozo si se desean las tasas de infiltración a profundidad, más bien que en la superficie. Evítense sitios con posibles interferencias para el equipo del ensayo, como por ejemplo ganado, escuelas, etc.

6.1.5.9.4. PROCEDIMIENTO

A. HINCA O PENETRACIÓN DE LOS ANILLOS DE INFILTRACIÓN CON MACETA

Nota 1: *El método preferido es el de penetración (numeral 16).*

- a) Colóquese la tapa guía sobre el anillo exterior y céntrese. Instálese el bloque de madera (numeral 3) sobre la tapa guía.

b) Empújese el anillo exterior hasta 150 mm (6") dentro del suelo con golpes de maceta sobre el bloque de madera. Empléense golpes de fuerza mediana para evitar la facturación de la superficie del suelo. Muévase el bloque de madera alrededor de la tapa guía cada uno o dos golpes, de manera que el anillo penetre uniformemente en el suelo.

c) Céntrese el anillo menor dentro del mayor y empújese hasta una profundidad de 50 mm (2") empleando la misma técnica descrita anteriormente.

d) Contrólense con nivel los anillos, corrigiendo su posición para que sean tan verticales, como se requiera.

B. HINCA DE LOS ANILLOS DE INFILTRACIÓN CON GATOS:

a) Empléese un gato y un camión pesado para hincar los anillos como una alternativa al empleo de la maceta (*Véase numeral 15*).

b) Céntrese el bloque de madera con respecto a la cabeza de hincada del anillo. Céntrese un gato sobre el bloque de madera. Colóquese el extremo superior del gato justo debajo del sitio previamente escogido del chasis del camión y aplíquese presión al anillo por medio del gato y de la reacción del camión.

c) En suelos de textura densa agréguese, si fuere necesario, peso al camión para desarrollar la fuerza suficiente para hincar el anillo.

d) Ajústense los anillos con un nivel, corrigiendo la posición de los mismos para que lleguen a ser tan verticales, como sea necesario.

C. APISONAMIENTO DEL SUELO ALTERADO:

a) Si el suelo está visiblemente alterado en más de 3 mm (1/8") a partir de la pared interior del anillo, vuélvase a penetrar éste con menor alteración de la muestra.

b) Si el suelo está visiblemente alterado en menos de 3 mm (1/8"), apisonélo en el área adyacente a la pared interior del anillo con un pisón metálico hasta que el suelo quede tan firme como antes de su alteración.

D. MANTENIMIENTO DEL NIVEL DE AGUA:

a) Instálese un manómetro de profundidad o un tubo Mariotte en cada anillo de infiltrómetro para ayudar visualmente al operario, con el fin de que pueda mantener una cabeza constante. Para un manómetro de profundidad, úsese una cinta o regla de acero, si los suelos tienen permeabilidad alta. Pero si tienen baja permeabilidad, úsese un manómetro de gancho, de un solo punto, o un tubo Mariotte.

b) Instálense los manómetros que se van a emplear, cerca al centro del anillo central y también en el espacio anular intermedio entre los dos anillos.

c) Cúbrase la superficie del suelo dentro del anillo central y dentro de los anillos, con protectores para evitar salpicaduras (piezas cuadradas de cáñamo u hojas de caucho de 150 mm (6") de lado) y para evitar la erosión del suelo cuando el suministro de agua inicial se vierta dentro de los anillos.

d) Úsese un balde para llenar con agua ambos anillos a la misma profundidad deseada en cada uno. No es necesario anotar este volumen inicial de agua. Remuévanse los productos para salpicaduras.

e) Escójase una cabeza no menor de 25 mm (1") y no mayor de 150 mm (6") y manténganse el nivel de agua tan cerca de la cabeza escogida como sea posible, durante el ensayo.

La cabeza se escoge con base en la permeabilidad del suelo; las cabezas más altas se necesitan para suelos de permeabilidad más baja.

E. MEDIDAS:

- a) Regístrense todos los volúmenes de agua que se agregan para mantener una cabeza constante durante un intervalo cronometrado.
- b) Para suelos promedio, regístrese el volumen de agua empleado a intervalos de 15 minutos para la primera hora, de 30 minutos para la segunda, y de 60 minutos durante el resto de un período de no menos de 6 horas o hasta que se alcance una tasa máxima.
- c) En materiales de permeabilidad alta, tómanse las primeras lecturas mas frecuentemente. El programa exacto de lecturas puede determinarse únicamente mediante experiencia.
- d) Para materiales de baja permeabilidad, empléese un intervalo mayor de tiempo, posiblemente 24 horas o más. De nuevo, el plan exacto se determina por medio de experiencia.
- e) Coloque la tapa de hincada o alguna otra cubierta sobre los anillos durante los intervalos entre las mediciones de agua, para minimizar la evaporación.
- f) A la conclusión del ensayo, remuévanse los anillos del suelo valiéndose de ligeros golpes en los lados con un martillo de caucho.

6.1.5.9.5. CÁLCULOS

Conviértase el volumen de agua empleado durante cada intervalo de tiempo medido, en profundidad de agua por unidad de tiempo, en cm. (pulg.) por hora. La velocidad de infiltración se obtiene dividiendo la profundidad del agua por el intervalo de tiempo en horas.

Efectúense estos cálculos para el anillo interior, el espacio anular y para ambos anillos combinados.

6.1.5.9.6. INFORME

Anótese la velocidad de infiltración en una libreta o en un formato, regístrese la profundidad del nivel freático, si se conoce, así como una descripción de los suelos hallados entre los anillos y el nivel freático, o por lo menos hasta una profundidad de 6 m (20'). Dibújense los datos en el Gráfico milimetrado del Informe.

Regístrese la temperatura y el pH del agua utilizada en el ensayo. Si estuviere disponible, regístrese también un análisis completo del agua.

Si difieren las tasas para ambos anillos y para el espacio anular, la tasa para el anillo interior deberá ser el valor utilizado. La diferencia en las tasas se debe al flujo divergente.

Aún cuando no se considera como una parte necesaria del ensayo, la determinación de la trayectoria de la humedad en el suelo húmedo por debajo de los anillos de infiltración, proporciona comúnmente información útil para interpretar el movimiento del agua a través de cualquier perfil particular de suelos.

El movimiento horizontal del agua puede ser causado, por ejemplo, por capas de baja permeabilidad y se traducirá en una extensión lateral del área mojada.

Por tanto, la exploración de los suelos por debajo de un área de infiltración en una área poco conocida, permite determinar las condiciones subsuperficiales que pueden afectar el ensayo y las posteriores aplicaciones de los datos.

Si se decide efectuar esta clase de estudio, excávase una zanja en tal forma que una de sus paredes pase a lo largo del eje de la primera posición de los anillos. Si el día fuera soleado, orientase la zanja de tal manera que la otra pared quede iluminada por el sol en cuanto fuera factible y excávase de suficiente longitud para que incluya toda el área recientemente humedecida. Tómanse muestras de la pared sombreada de la zanja para determinación de la humedad. Si se prefiere, puede emplearse un hoyador, del tipo empleado en horticultura, para delimitar aproximadamente el área húmeda por debajo de los anillos y para tomar muestras para humedad.

Dibújese el contorno del área visiblemente humedecida en papel milimetrado o en la zona correspondiente del formato de informe. Si se recogieron muestras y se determinaron humedades, el contorno del contenido de humedad debe dibujarse igualmente en el gráfico.

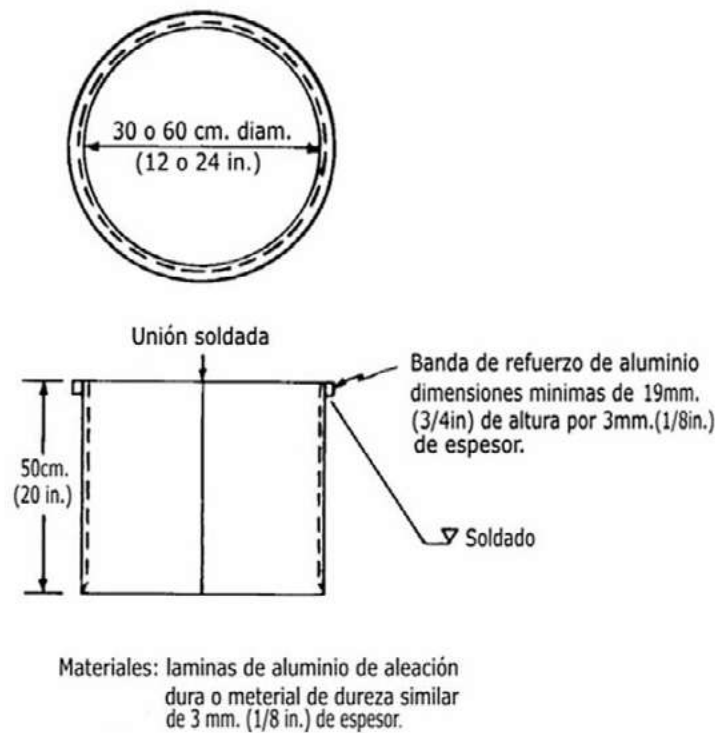


Figura 6.1_197. CONSTRUCCIÓN DEL INFILTRÓMETRO

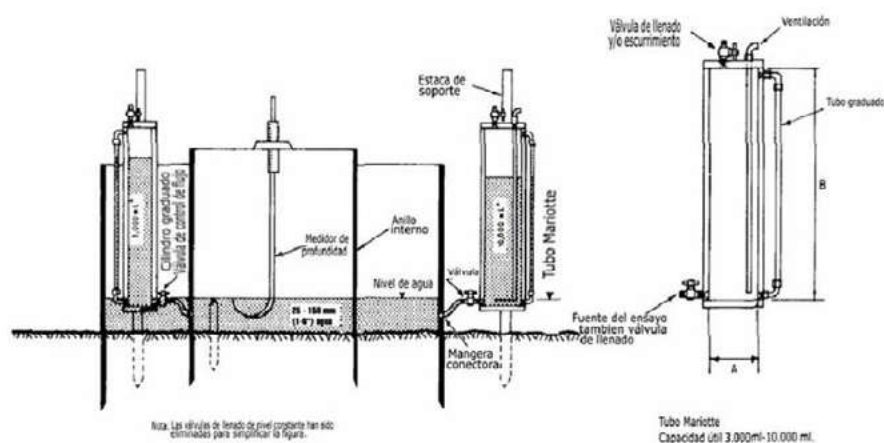


Figura 6.1_198. DETALLE DE INSTALACIÓN DE ANILLOS Y TUBO MARIOTTE

SECCION 6.1.5.10.**RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO EN EL TERRENO(CBR "IN SITU") (ASTM D4429)****6.1.5.10.1. OBJETO**

Este método establece el procedimiento que se debe seguir para determinar la relación de soporte (comúnmente llamada CBR = California Bearing Ratio), de un suelo ensayado "in situ", mediante la comparación entre la carga de penetración del suelo y la de un material estándar de referencia.

Este método de ensayo cubre la evaluación de la calidad relativa de los suelos de la sub-rasante, pero también es aplicable a materiales de subbase y base.

Para hallar la relación de soporte sobre especímenes de laboratorio, refiérase al **Método 6.1.4.4.**

1. Los ensayos de CBR "in situ" son usados para evaluación y diseño en cualquiera de las condiciones siguientes:
 - a) Cuando el grado de saturación (porcentaje de "vacíos" llenos con agua) es 80% o mayor.
 - b) Cuando el material es de grano grueso y no cohesivo, así que no es afectado de manera significativa por cambios en la humedad.
 - c) Cuando el suelo no ha sido modificado por actividades de construcción durante los dos últimos años anteriores al ensayo.

En el último caso, la humedad realmente no se vuelve constante sino que generalmente fluctúa dentro de un rango más bien estrecho. Por lo tanto, los datos del ensayo de campo pueden usarse para encontrar de manera satisfactoria la capacidad promedio de soporte de carga.

2. Cualquier actividad de construcción, tal como nivelación o compactación, efectuada después del ensayo de relación de soporte, probablemente invalidará los resultados del ensayo.

Nota 1: *Los ensayos de campo se utilizan para determinar la resistencia relativa de los suelos de subbase y algunos materiales de base en la condición en que se encuentran en el momento del ensayo. Tales resultados tienen aplicación directa en tramos de prueba, y en alguna operación de construcción específica u otra similar. Además, como se indicó en el numeral 1, los ensayos de campo pueden ser utilizados para diseñar bajo condiciones determinadas de humedad, densidad y características generales del material ensayado.*

Sin embargo, cualquier alteración significativa por compactación, maniobra o cambio de humedad puede afectar la resistencia del suelo y dejar sin validez los resultados del ensayo efectuado previamente, conduciendo a la necesidad de un nuevo ensayo y nuevos análisis.

6.1.5.10.2. EQUIPOS Y MATERIALES

- Gato mecánico de tornillo, operado manualmente, equipado con un dispositivo giratorio especial de manivela para aplicar la carga al pistón de penetración y diseñado con las siguientes especificaciones:

- a) Capacidad máxima de 2700 Kg. (5950 lb).
 - b) Mínima altura de elevación: 50 mm (2").
 - c) Manubrio desmontable 150 mm (6") de radio.
 - d) Relación de velocidad alta, aproximadamente 2.4 revoluciones para 1 mm (0.04") de penetración.
 - e) Relación de velocidad media, aproximadamente 5 revoluciones para 1 mm (0.04") de penetración.
 - f) Relación de velocidad baja, aproximadamente 14 revoluciones para 1 mm (0.04") de penetración.
 - g) Pueden usarse otras relaciones de velocidad, cuando ésto sea más conveniente.
 - h) También se pueden usar otros gatos mecánicos, con la misma carga máxima y altura de elevación, siempre y cuando se obtenga con ellos una tasa uniforme de penetración-carga de 1,3 mm (0.05") por minuto.
- Anillos de carga, dos en total, debidamente calibrados, uno de ellos con amplitud de carga de 0 a 8,8 kN (1984 lbf) y el otro de 0 a 22,6 kN (5070 lbf) aproximadamente.
 - Pistón de penetración, de $50,8 \pm 0,1$ mm (2 ± 0.004 ") de diámetro ($3 \text{ pulg}^2 = 19,35 \text{ cm}^2$ de área) y aproximadamente 101 mm (4") de longitud. Debe constar además, de un adaptador de pistón y de extensiones de tubo de rosca interna con conectores.
 - Diales, deben existir dos diales: uno para medir deformaciones del anillo de carga con lecturas de 0,0025 mm (0.0001") y recorrido de aproximadamente 6,4 mm (0.25") y otro para medir penetraciones del pistón con lecturas de 0,025 mm (0.001") y recorrido de aproximadamente 25 mm (1"), equipado con un soporte o abrazadera de extensión para ajustar la posición del dial.
 - Soporte para el dial de penetración, o puente de aluminio, hierro o madera de 76 mm (3") de altura y longitud aproximada de 1,5 m (5 pies).
 - Platina de sobrecarga, circular, de acero, de $254 \pm 0,5$ mm (10 ± 0.02 ") de diámetro, con un agujero central circular de $51 \pm 0,5$ mm (2 ± 0.02 "). La platina debe pesar $4,54 \pm 0,01$ kg (10 ± 0.02 lb).
 - Pesas de sobrecarga. Dos pesas anulares de sobrecarga de $4,54 \pm 0,01$ kg (10 ± 0.02 lb), de 216 ± 1 mm (8.5 ± 0.04 ") de diámetro total, y dos pesas similares de las mismas dimensiones, pero de $9,08 \pm 0,01$ Kg. (20 ± 0.02 lb) cada una.
 - Vehículo de carga (Reacción). Un vehículo (o pieza de equipo pesado) de carga suficiente para proveer una reacción de aproximadamente 31 kN (6970 lb).
 - El vehículo debe estar equipado con una viga metálica debidamente acondicionada en la parte posterior del chasis que ofrezca una reacción adecuada para forzar la penetración del pistón en el suelo.
 - El vehículo se debe suspender suficientemente para eliminar la influencia de los resortes traseros y permitir que el ensayo de penetración se efectúe sin movimiento ascendente del chasis del vehículo. Para efectuar el ensayo se requiere disponer de un espacio vertical libre de aproximadamente 0,6 m (2 pies).

- Gatos. Dos gatos tipo camión, de 14 Mg (15 toneladas) de capacidad, de doble acción combinada y descenso automático.
- Equipo misceláneo. Envases de muestras para determinación de humedad y peso unitario, espátula, regla de enrase, cucharones para excavar, etc.



Figura 6.1_199. Equipos y Materiales requeridos

Nota 2: La Figura 6.1_205 muestra una instalación típica del ensayo en el terreno. La Figura 6.1_206 muestra el conjunto de elementos que componen el aparato.

6.1.5.10.3. PROCEDIMIENTO

- a. Alístese el área de la superficie que va a ser ensayada, retirando el material suelto y superficial que no sea representativo del suelo que se va a ensayar.
- b. Prepárese un área de ensayo tan uniforme y horizontal como sea posible. Cuando se trate de materiales de base no plásticos, se debe tener especial cuidado para no alterar la superficie de ensayo. El espaciamiento de los ensayos de penetración debe ser tal, que la operación en un punto no altere el suelo del siguiente punto que va a ser penetrado.
- c. Esta separación debe ser como mínimo 175 mm (7") en suelos plásticos y de 380 mm (15") en suelos granulares gruesos.



Figura 6.1_200. Preparación de la superficie de ensayo



Figura 6.1_201. Instalación del anillo de carga

- d. Localícese el vehículo en tal forma que el dispositivo de reacción quede directamente sobre la superficie por ensayar. Instállese el gato mecánico debajo de la viga o dispositivo de reacción, con la manivela hacia afuera. Colóquense los gatos de camión a cada lado del vehículo y levántese para que no exista peso alguno sobre los resortes posteriores; cerciórese de que el vehículo está nivelado en la parte trasera.

- e. Ubíquese el gato mecánico en la posición correcta y conéctese el anillo de carga al extremo del gato.
- f. Conéctese el adaptador del pistón al extremo inferior del anillo, adiciónese el número necesario de extensiones hasta alcanzar una altura menor de 125 mm (4.9") sobre la superficie de ensayo y conéctese el pistón de penetración. Sujétese el gato en su sitio. Compruébese el nivel del montaje del gato para asegurarse su verticalidad y háganse los ajustes que sean necesarios.
- g. Colóquese la platina de sobrecarga de 4,5 kg (10 lb) debajo del pistón de penetración, de tal forma que cuando baje el pistón, éste pase a través del agujero central.
- h. Asíéntese el pistón bajo una carga inicial de aproximadamente 21 kPa (3 lb/pulg²). Para una rápida colocación, úsese la relación de alta velocidad del gato. Para materiales de base con una superficie irregular, colóquese el pistón sobre una delgadísima capa de polvo de trituración de piedra caliza (tamices de 0,85 mm (N°.20) – 0,425 mm (N°.40)) o de yeso.
- i. Si es necesario para lograr una superficie uniforme, levántese la platina de carga mientras todavía está actuando la carga inicial sobre el pistón y espolvoréese uniformemente arena fina, en un espesor de 3 a 6 mm (0.12 a 0.24"), sobre la superficie cubierta con la platina. Esto sirve para distribuir uniformemente el peso de la sobrecarga.
- j. Adiciónense a la platina un número de pesos de sobrecarga tal, que transmita una presión equivalente a la intensidad de carga, producida por las capas de pavimento, que se colocarán sobre la sub-rasante, o la base o ambos, excepto que la mínima pesa aplicada será la de 4.5 kg (10 lb) más una pesa de sobrecarga de 9 Kg. (20 lb).
- k. Fíjese el soporte del dial de penetración al pistón y sujétese el dial a dicho soporte.
- l. Colóquense en cero las lecturas de ambos diales.
- m. Aplíquese la carga al pistón de penetración de tal manera que la velocidad aproximada de penetración sea de 1,3 mm (0.05") por minuto. Utilizando la relación de baja velocidad del gatodurante el ensayo se puede mantener una tasa uniforme de penetración por parte del operador.



Figura 6.1_202. Instalación de los Diales de Carga

- n. Regístrense las lecturas del anillo de carga para cada 0,64 mm (0.025") de incremento de penetración hasta una profundidad final de 12,70 mm (0.500"). En suelos homogéneos las profundidades de penetración mayores de 7,62 mm (0.300") frecuentemente se pueden omitir.
- o. Calcúlese la relación de soporte en porcentaje. **(Véase el apartado de Cálculos).**



Figura 6.1_203. Personal integrado en el ensayo



Figura 6.1_204. Determinación de la humedad y peso unitario

Nota 3: Se requiere de personal para manejar la manivela de la prensa y otra persona para tomar las lecturas del anillo de carga.

- p. Al finalizar el ensayo, obténgase una muestra en el punto de penetración y determínese su humedad.
- q. También debe determinarse el peso unitario –DENSIDAD - en un sitio localizado de 100 a 150 mm (4" a 6") desde el punto de penetración. El peso unitario debe determinarse de acuerdo con los métodos de ensayo **S0501** (Método del Cono de Arena), **S0506** (Método del Balón de Caucho), **S0502** (Método del Cilindro Penetrante) o **S0507** (Métodos Nucleares).

6.1.5.10.4. CÁLCULOS

A. CURVA DE ESFUERZO-PENETRACIÓN

Calcúlese el esfuerzo de penetración para cada incremento de penetración, dividiendo la fuerza aplicada por el área del pistón. Dibújese la curva de Esfuerzo vs. Penetración para cada incremento de penetración, como se muestra en la **Figura 6.1_207**.

En ocasiones, la curva de Esfuerzo vs. Penetración puede en su parte inicial resultar cóncava hacia arriba, debido a irregularidades de la superficie u otras causas y, en tales casos, el punto cero se debe ajustar como se indica en la **Figura 6.1_207**.

B. RELACIÓN DE SOPORTE

De la curva corregida tómanse los valores de esfuerzo para penetraciones de 2,54 mm (0.100") y 5,08 mm (0.200") y calcúlese las relaciones de soporte para cada uno dividiendo los esfuerzos corregidos por los esfuerzos de referencia de 6,9 MPa (1000 lb/pulg²) y 10,3 MPa (1500 lb/pulg²) respectivamente y multiplíquese por 100. Calcúlese adicionalmente las relaciones de soporte para el máximo esfuerzo si la penetración es menor de 5,08 mm (0.200"), interpolando el esfuerzo de referencia. La relación de soporte reportada para el suelo es normalmente la de 2,54 mm (0.100") de penetración. Cuando la relación a 5,08 mm (0.200") de penetración resulta ser mayor, repítase el ensayo. Si el ensayo de comprobación da un resultado similar, úsese la relación de soporte para 5,08 mm (0.200") de penetración.

Si los valores de relación de soporte para penetraciones de 7,62, 10,16 y 12,7 mm (0.300", 0.400" y 0.500") son requeridos, los valores de esfuerzo corregidos para estas penetraciones deben dividirse por los esfuerzos de referencia para 13,1, 15,9 y 17,9 MPa (1900, 2300 y 2600 lb/pulg²) respectivamente y multiplicarse por 100.

6.1.5.10.5. INFORME

El informe debe incluir la siguiente información para cada ensayo:

- a) Localización del ensayo.
- b) Material.
- c) Profundidad del ensayo.
- d) Curva de Esfuerzo - Penetración.
- e) Relación de Soporte corregida para 2,54 mm (0.1") de penetración.
- f) Relación de Soporte corregida para 5,08 mm (0.2") de penetración.
- g) Humedad.
- h) Densidad.



Figura 6.1_205. INSTALACIÓN TÍPICA DEL ENSAYO EN EL TERRENO



Figura 6.1_206. CONJUNTO DE ELEMENTOS QUE COMPONEN EL APARATO

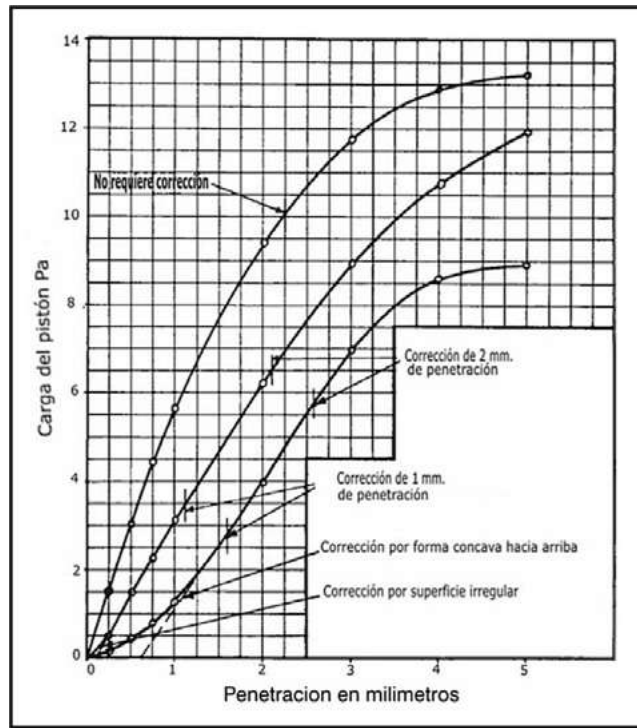


Figura 6.1_207. CORRECCIÓN DE LA CURVA ESFUERZO VS. PENETRACIÓN

SECCION 6.1.5.11.

ENSAYO DE CORTE SOBRE SUELOS COHESIVOS EN EL TERRENO, USANDO LA VELETA (AASHTO T223)

6.1.5.11.1. OBJETO

Este método se refiere al ensayo de veleta en el terreno, en suelos cohesivos blandos y saturados. Es necesario conocer la naturaleza del suelo en el cual se ha de efectuar cada ensayo, para asegurarse de su aplicabilidad e interpretación.

6.1.5.11.2. EQUIPOS Y MATERIALES

1. En la **Figura 6.1_208** se muestran los diferentes tipos de veletas. Cada una tendrá cuatro hojas perpendiculares entre sí, y en algunos casos su altura será el doble del diámetro. Las dimensiones de la veleta deberán ser las especificadas en la **Tabla 6.1_39**. Podrán emplearse dimensiones diferentes a las especificadas, únicamente con autorización previa. Los bordes de las hojas de la veleta que penetran deberán afilarse, cuidando que no se altere el ángulo de 90° comprendido entre ellas.

Tabla 6.1_39. DIMENSIONES DE LA VELETA

Tipo de veleta	Diámetro de la hoja	Diámetro del eje	Espesor de la hoja
Miniatura	12,7	3,5	0,5

2. La veleta deberá operarse desde la superficie conectándola con varillas de torsión, de acero. Estas varillas deberán ser de un diámetro tal, que no sea excedido su límite elástico cuando la veleta sea sometida a su capacidad plena (véase el numeral 4) y deberán acoplarse muy bien, para evitar cualquier posibilidad de que el ajuste del acople, ocurra cuando se aplique la rotación, al ejecutar el ensayo. Si se emplea revestimiento para la veleta, las varillas de torsión deberán equiparse con cojinetes bien lubricados en los sitios donde ellas pasen a través del mismo.
 3. Estos cojinetes deberán estar provistos de sellos que eviten la entrada de suelo en ellos. Las varillas de giro deberán guiarse de tal manera, que se evite el desarrollo de fricción entre ellas y las paredes del revestimiento o de la perforación.
 4. La fuerza de giro deberá aplicarse a las varillas quienes la transmiten a la veleta. La precisión de la lectura del giro deberá ser tal, que no produzca una variación mayor de $\pm 1,2$ kPa (25 lb/pie²) en la resistencia al corte.
 5. Es preferible aplicar la torsión a la veleta mediante un engranaje de transmisión. En ausencia de éste, puede aplicarse directamente el giro mediante una llave de torsión o algo equivalente. La duración del ensayo deberá controlarse de acuerdo con las exigencias indicadas en el numeral 7
- Si es necesario determinar curvas de momento vs rotación, es esencial calibrar las varillas de rotación antes de emplearlas. La magnitud del giro de la varilla (si lo hubiera) deberá establecerse en grados/pie/unidad de momento. Esta corrección se hace progresivamente más

importante a medida que aumenta la profundidad; la calibración deberá efectuarse por lo menos hasta la profundidad máxima esperada, para el ensayo.

6.1.5.11.3. PROCEDIMIENTO

6. Penétrese la veleta desde el fondo del agujero o de su revestimiento, mediante un simple empuje, hasta la profundidad a la cual se va a efectuar el ensayo, cuidando que no se aplique torsión durante dicho empuje.
7. Cuando se emplee revestimiento para la veleta, aváncese éste hasta una profundidad no menor de cinco diámetros del revestimiento por encima de la profundidad deseada para la punta de la veleta. Cuando no se utilice revestimiento, suspéndase el hueco a una profundidad tal que el extremo de la veleta pueda penetrar dentro del suelo inalterado, una profundidad de por lo menos cinco veces el diámetro de la perforación.
8. Con la veleta en posición, aplíquese el giro a una tasa que no exceda de $0,1^\circ/\text{seg}$. Generalmente se requieren para la falla, entre 2 y 5 minutos, excepto en arcillas muy blandas en las cuales el tiempo de falla puede elevarse a 10 ó 15 minutos. En materiales más duros, que alcanzan la falla con una deformación pequeña, se puede reducir la tasa del desplazamiento angular de tal manera que pueda obtenerse un valor razonable de las propiedades esfuerzo-deformación. Durante la rotación de la veleta, manténgase ésta a una altura fija. Anótese el momento máximo. Con aparatos de transmisión, se deben anotar valores intermedios del momento, a intervalos de 15 seg. o menores, si las condiciones lo exigen.
9. Después de determinar el máximo momento, rótese rápidamente la veleta un mínimo de 10 revoluciones; inmediatamente después se determinará la resistencia remoldeada, en todos los casos dentro del minuto siguiente al remoldeo.
10. En los casos en los cuales el suelo esté en contacto con la varilla de giro, determínese la fricción entre la varilla y el suelo por medio de ensayos de giro efectuados con varillas similares a profundidades equivalentes, sin la veleta colocada. Efectúese el ensayo de fricción de la varilla por lo menos una vez en cada sitio.
11. En aparatos en los cuales la varilla de giro esté completamente aislada del suelo, verifíquese un ensayo de fricción con una varilla lisa al menos una vez en cada sitio, para determinar la magnitud de la fricción de los cojinetes o guías. En dispositivos de veleta que funcionen adecuadamente, esta fricción deberá ser despreciable.
12. Efectúense ensayos con veleta únicamente en suelos cohesivos, inalterados y remoldeados. No deben realizarse en ningún suelo que permita el drenaje o que se dilate durante el período de ensayo, como en arenas o limos, o en suelos en los cuales la veleta encuentre piedras o conchas que puedan influir en los resultados.

En algunos casos no es necesario remover la veleta para el ensayo de fricción. En tanto que la veleta no se halle en contacto con el suelo, esto es, cuando se encuentre dentro de un revestimiento, no resulta afectada por las medidas de fricción.

6.1.5.11.4. CÁLCULOS

Calcúlese la resistencia al corte del suelo mediante el empleo de la siguiente expresión:

$$s(\text{resistencia al corte}) = \frac{12T}{\pi D^2 \left(\frac{D}{\cos i_T} + \frac{D}{\cos i_B} + 6H \right)}$$

Donde:

T = Momento de giro en N-m (lb-pie).

s = Resistencia al corte de la arcilla en kPa (lb/pie²).

D= Diámetro de la veleta.

H = Altura de la veleta.

i_T = Ángulo deafilamiento superior de la veleta.

i_B = Ángulo deafilamiento inferior de la veleta.

Periódicamente deberán comprobarse las dimensiones de la veleta para asegurarse de que no esté desgastada ni distorsionada.

6.1.5.11.5. INFORME

Para cada ensayo de veleta regístrense las observaciones siguientes:

- a) Fecha del Ensayo.
- b) Número del apique o perforación.
- c) Tamaño y forma de la veleta (ahusada o rectangular).
- d) Profundidad del extremo de la veleta.
- e) Profundidad del extremo de la veleta por debajo del revestimiento o fondo del hueco.
- f) Lectura máxima del momento y, si se requieren, lecturas intermedias para el ensayo inalterado.
- g) Tiempo del ensayo hasta la falla.
- h) Velocidad del remoldeo.
- i) Lectura máxima del momento para el ensayo remoldeado.
- j) Notas sobre cualquier clase de desviaciones con respecto al procedimiento normal de ensayo.

Adicionalmente, anótense las observaciones sobre la perforación:

- a) Número del sondeo.
- b) Sitio.
- c) Condiciones del suelo en el sitio.
- d) Cota de referencia.
- e) Método de ejecución de la perforación.
- f) Descripción de la veleta, esto es, si tiene camisa o no.
- g) Descripción del método para aplicar y medir el momento.

- h) Observaciones sobre la resistencia o la penetración.
- i) Nombres del inspector de la perforación y del ingeniero Supervisor.

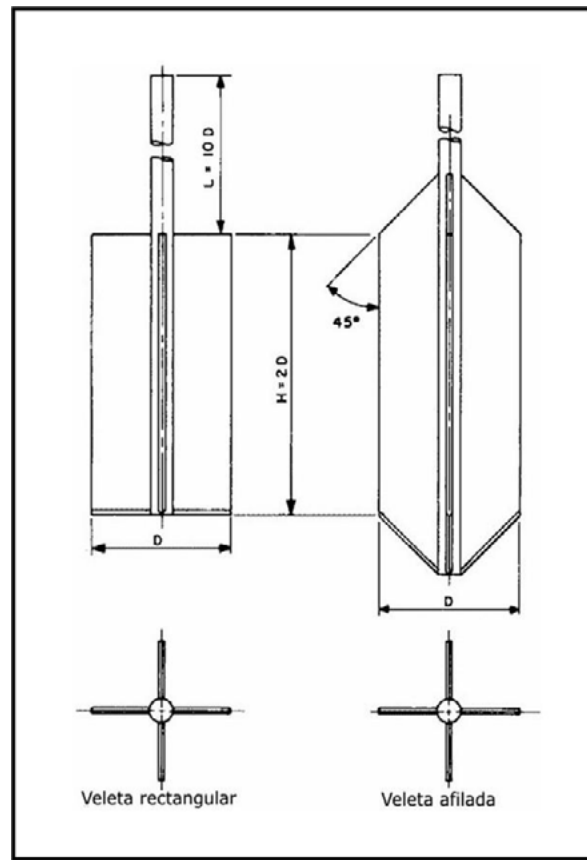


Figura 6.1_208. GEOMETRÍA DE LAS VELETAS

SECCION 6.1.5.12.

INSTALACIÓN, MONITOREO Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE INCLINÓMETRO DE RECORRIDO PARA TALUDES (AASHTO T254)

6.1.5.12.1. OBJETO

Este método proporciona instrucciones para la instalación, monitoreo y recolección de datos de inclinómetros del tipo de recorrido para taludes, los cuales se emplean con un revestimiento guía.

Un inclinómetro de taludes es un instrumento de precisión, que mide el desplazamiento lateral de un revestimiento guía, resultante del movimiento de un volumen de tierra, cuerpo de concreto u otras masas donde esté instalado. Este tipo de instrumento puede emplearse para detectar y servir de monitor de movimientos en presas de tierra y de enrocado, en terraplenes y fundaciones de carreteras, en excavaciones para taludes, tablestacados, muros de contención de concreto, y otras estructuras. Como el instrumento es a prueba de agua, puede emplearse en proyectos en los cuales no serían posibles mediciones normales, tales como el desplazamiento de la parte inferior de un tubo pilote.

Los datos obtenidos, que son bastante adecuados para el procesamiento por computador, pueden emplearse para interpretar superficies de falla, en zonas de deslizamiento; y como una base para predecir fallas independientes de corte; o fallas estructurales basadas en la magnitud y tasa de la deformación lateral que se presenta.

El método esta dividido en las partes siguientes:

- Parte I, método de instalación del revestimiento guía para el inclinómetro de taludes.
- Parte II, método de monitoreo para el revestimiento guía de inclinómetro de taludes.
- Parte III, método para el análisis y cálculo de los datos.

6.1.5.12.2. PARTE I. MÉTODO DE INSTALACIÓN DEL REVESTIMIENTO GUÍA PARA EL INCLINÓMETRO DE TALUDES

A. EQUIPOS Y MATERIALES

A.1. Equipo de perforación

Dispositivo para sondeos, con capacidad para perforar un hueco de un diámetro suficientemente grande como para acomodar el tamaño particular del revestimiento para el inclinómetro de taludes, y que permita el relleno adecuado. La profundidad requerida para la perforación varía con cada instalación particular, con el sitio y/o con el criterio del Ingeniero. Normalmente, podrá emplearse un dispositivo de perforación que pueda perforar un hueco de 200 mm (8") de diámetro y de aproximadamente 60 m (200') de profundidad. Para instalaciones poco profundas, podrá emplearse un dispositivo de perforación más pequeño.

A.2. Revestimiento guía

El revestimiento guía, generalmente es de sección circular, de plástico estrujado ó de aluminio, con cuatro ranuras longitudinales, igualmente espaciadas sobre el interior del revestimiento, compatibles con la unidad sensible usada. Sin embargo, algunos revestimientos pueden no ser ranurados, en razón de que la unidad sensible mantiene la orientación adecuada mediante el empleo de varillas de orientación con cierre metálico. Algunos inclinómetros pueden emplearse con revestimiento cuadrado de perfiles de acero, con las ruedas guía de la unidad sensible encarriladas en las esquinas opuestas del revestimiento.

El revestimiento se consigue en diámetros variados y puede tener cualquier longitud conveniente, como en secciones de 1,5 m ó 3,0 m (5" o 10").

A.3. Uniones

Las uniones pueden ser de aluminio estrujado, con cuatro ranuras igualmente espaciadas, o cilíndricas de plástico, y generalmente tienen una longitud de 150 mm (6"). En casos en los cuales se esperen asentamientos, pueden emplearse uniones más largas para los tramos de revestimiento.

En esos casos, la separación resultante entre tramos adyacentes permite el movimiento teleoscópico del revestimiento a medida que ocurre la compresión de los materiales circundantes.

A.4. Herramientas para la instalación

Las herramientas especificadas por el fabricante para la instalación del revestimiento guía del inclinómetro, consisten normalmente de una pistola para remachar, remaches pop, abrazaderas para revestimiento, sierra para metales, taladro eléctrico o manual, brocas para taladro, cinta para medir, y algún dispositivo para marcar ranuras del revestimiento como un marcador con punta de fieltro o una lima. Para revestimiento plástico, se puede utilizar un instrumento de rueda especial, con ranura para alineamiento, tubo o cinta para rotular, y solvente para cemento.

Deberá emplearse un vibrador para la compactación del relleno, si fuere necesario.

A.5. Tapones

Tapones ajustables al revestimiento guía en uso, empleados para proteger la tapa y el fondo del revestimiento, del efecto de lodos y desechos. Se puede usar un tapón cónico para facilitar la inserción del revestimiento dentro de un agujero de paredes rugosas.

A.6. Dispositivos de protección (opcionales)

Tapa para el hueco u otro dispositivo de protección, para minimizar daños, y que sea suficientemente grande, para permitir que el conjunto de la abrazadera con la polea guía del cable, sea instalado en la parte superior del revestimiento. Puede emplearse un tubo metálico, bien sea con tapa roscada o con bisagras, aldaba, candado u otro tipo de cerradura.

A.7. Perforación y preparación del hueco

El tamaño del hueco de perforación deberá ser suficientemente grande como para acomodar el tamaño del revestimiento empleado; y dependerá de cada instalación en particular, de su localización, materiales encontrados, profundidad y materiales de relleno disponibles, o lo que indique la Interventoría. Los huecos más grandes facilitan el relleno. Los de diámetro mínimo pueden ser apenas suficientes para acomodar el revestimiento. Esto es aplicable en los casos donde el material puede cerrarse más o menos rápidamente. Normalmente, el hueco puede ser aproximadamente 2 veces el diámetro exterior del revestimiento o como mínimo entre 120 y 150 mm mayor. El agujero deberá ser tan vertical como sea posible y penetrar entre 1 y 1,5 m dentro del material estable y de todas maneras por debajo de la zona estimada de falla.

El agujero perforado generalmente deberá limpiarse mediante un chorro de agua o soplarlo con aire comprimido antes de intentar la instalación del revestimiento del inclinómetro. Dependiendo de la instalación, algunas veces será necesario dejar lodo de perforación (si éste fue usado) en el agujero, para controlar la formación de cavernas y permitir con ello un relleno adecuado.

Cualquier medio para ejecutar una perforación es satisfactorio, en tanto sea adecuado para las condiciones del sitio de la obra. Si el terreno es firme y si el agujero ha de permanecer abierto sin revestimiento, entonces un hueco, bien sea en seco (perforado con barrena de tramo continuo), o un agujero lleno con agua (perforado con barrena cortante o rotatoria y empleando agua para limpiar los cortes), es igualmente satisfactorio.

a) Las barrenas de vástago hueco pueden usarse con éxito, por cuanto pueden sacarse después de la instalación del revestimiento del inclinómetro. Si se espera que el suelo se comprima por causa de suelos blandos, o que se formen derrumbes a causa de arena, deberá emplearse lodo de perforación y dejarse hasta la conclusión del hueco.

b) Si se emplea lodo de perforación, puede presentarse alguna dificultad al hacer que el revestimiento baje completamente en el hueco, pero puede obviarse esto, al llenar el revestimiento con agua o con otro medio líquido.

Puede emplearse acero o cualquier otro tipo de encamisado, si se justifica, para evitar el derrumbe de la perforación. Generalmente se emplean protecciones metálicas de aleaciones de acero enriquecido.

Este encamisado de acero deberá tener un diámetro suficientemente grande que permita colocar el material de relleno en el espacio anular entre dicha protección y el diámetro exterior del revestimiento del inclinómetro de taludes. El material de relleno podrá colocarse a paladas o vaciarse en pequeñas cantidades, mientras que al mismo tiempo se hala el encamisado en incrementos pequeños. Debe tenerse cuidado de que el material de relleno no trabe el encamisado de acero contra el revestimiento del inclinómetro de taludes. En casos extremadamente difíciles, debe dejarse la protección de acero en el sitio después de concluida la perforación. Sin embargo, este encamisado de acero tiende a engrosar cualquier zona en movimiento. Deberá tenerse cuidado de mantener la orientación apropiada del inclinómetro, mientras se efectúa el relleno.

B. INSTALACIÓN DEL REVESTIMIENTO PARA EL INCLINÓMETRO

Puede emplearse cualquier tipo de revestimiento para el inclinómetro, en tanto cumpla con las exigencias del fabricante y sea compatible con la unidad sensible utilizada. Generalmente, se emplea revestimiento de aluminio o de plástico en la mayoría de las instalaciones; sin embargo, pueden emplearse revestimientos de acero o de otra clase, bajo determinadas condiciones.

La siguiente es una breve explicación de las técnicas de instalación para revestimientos típicos de aluminio y plástico, pero deberá hacerse referencia al manual de instalación del fabricante, para una explicación más detallada.

C. REVESTIMIENTO DE ALUMINIO

Se fija un tapón a la sección más profunda del revestimiento, taladrando normalmente y empleando remaches pop. Deberán emplearse suficientes remaches, generalmente de 2 a 4, para asegurar el tapón al revestimiento.

Se fija una unión de aluminio sobre el borde exterior del revestimiento, con remaches pop. Cuando se emplean 4 remaches, deberán colocarse a una separación aproximada a 90°. Deberá tenerse extremo cuidado de no colocar ningún remache en las ranuras de localización del instrumento o en las sendas para las ruedas.

Bájese la primera sección del revestimiento dentro del hueco, con el tapón en el extremo inferior y la unión colocada sobre la parte superior. Deberá fijarse una abrazadera al revestimiento, entre 300 y 600 mm del tope del mismo.

Deben instalarse ciertos tipos de dispositivos de "agarre" para asegurar que la abrazadera se apoye en forma segura en la parte superior del agujero y evite que el revestimiento caiga dentro del mismo.

Debe mantenerse en forma adecuada la orientación de las ranuras guías durante la instalación. Generalmente pueden orientarse en forma perpendicular o paralela a la dirección prevista del movimiento, o como lo ordene la Interventoría. Sin embargo, la orientación de las ranuras de los revestimientos en huecos diferentes deberá ser consistente, para evitar confusión. Puede hacerse expedita la instalación, si el revestimiento se ensambla previamente y se acopla en unidades de 3 a 6 m cada una. Se inserta el siguiente tramo del revestimiento dentro de la unión superior, se alinean las ranuras y se asegura el tramo inferior del revestimiento, con remaches pop. Los extremos del revestimiento son empalmados juntamente antes de perforar y colocar los remaches pop.

Deberá agregarse una abrazadera al extremo superior de la tapa del revestimiento. Deberá removerse la abrazadera inferior y bajarse el revestimiento dentro del hueco. Se agregarán mas secciones de revestimiento como se describió atrás, hasta que el revestimiento descansa sobre el fondo del agujero. Lávese el revestimiento con agua si fuere necesario. La porción del revestimiento que sobresalga, si la hubiere, deberá cortarse a una altura adecuada con una sierra para metales. Los procedimientos de instalación son los mismos para acoples telescópicos, excepto que se emplean remaches pop especiales o tornillos y se deja una separación entre los extremos de los acoples para permitir la medida de los asentamientos.

D. REVESTIMIENTO PLÁSTICO

Puede instalarse el revestimiento plástico de la misma manera que el de aluminio. Usualmente, pueden emplearse uniones de plástico o de aluminio.

Cada extremo del plástico deberá tener una marca grabada o pintada con un marcador de punta de fieltro, para evitar que se coloquen los remaches en las ranuras guías del instrumento. Para unir el revestimiento y los acoples, pueden emplearse pegantes compatibles con el revestimiento plástico y/o remaches pop. Pueden emplearse ambos para instalaciones extremadamente profundas.

Con el revestimiento plástico se emplea una herramienta especial para guía del alineamiento en la ranura. La herramienta es generalmente insertada en la mitad de la parte superior del primer tramo en el hueco. El extremo suelto de una cuerda que haya sido insertada a través del revestimiento siguiente, se fija a la herramienta de alineamiento para halarla a través del revestimiento y alinearla con el siguiente tramo colocado. Se hace esto hasta que todos los revestimientos estén colocados.

Los dos tramos se fijan cuidadosamente, alineando las ranuras guías. Los extremos del revestimiento deben empalmarse juntos. Los dos tramos pueden fijarse con remaches pop y/o pegante. Las abrazaderas del revestimiento deberán emplearse, para evitar que éste caiga dentro del hueco. Se baja y se agrega otro tramo de revestimiento, sobre la mitad de la herramienta de alineamiento que haya sido extraída.

Continúese el procedimiento hasta que descansa el revestimiento sobre el fondo del hueco. Se corta cualquier exceso de revestimiento que sobre, con una sierra para metales. La orientación predeterminada de las ranuras guías del instrumento, deberá mantenerse adecuadamente. Los procedimientos de instalación son los mismos para uniones telescópicas, excepto que general-

mente se emplean pasadores para alinear automáticamente las ranuras. Si se emplean uniones telescópicas, no deberá permitirse que el revestimiento descansa sobre el fondo de la perforación, donde su peso haría que una sección se introdujera en la otra.

Las uniones del revestimiento pueden ser o no herméticas. Si se llena el hueco con lodo de perforación, éste puede entrar al revestimiento a medida que sea instalado. Igualmente, la inyección de lechada para llenar el espacio anular alrededor del revestimiento, puede penetrar en el revestimiento.

En tales casos, el revestimiento de aluminio o de plástico deberá lavarse con agua limpia, antes de que se haya endurecido la lechada. Se puede también, durante el lavado, bajar a través del revestimiento un cepillo duro para limpiar las ranuras longitudinales. Puede aminorarse el ingreso de lodo o de lechada parafinando, encolando o tapando todas las juntas.

Si se emplea arena o grava como material de relleno y si se desean medidas del agua subterránea a partir de la instalación, pueden perforarse pequeños agujeros o ranuras en el tramo del fondo del revestimiento del inclinómetro.

E. RELLENO DEL REVESTIMIENTO DEL INCLINÓMETRO

La calidad y extensión del relleno del inclinómetro de taludes depende de la instalación en particular, de las condiciones del nivel freático y del tipo de materiales de relleno. Generalmente se obtienen mejores resultados si al rellenar, se tiene cuidado de evitar cualquier vacío, formación de arco o asentamientos en el material de relleno. Para mitigar la formación de arco, **puede emplearse un impulsor de aire u otro tipo de vibrador.**

Puede colocarse una tapa sobre la parte superior del revestimiento, antes de rellenar, para evitar que caiga material de relleno dentro del mismo.

F. ARENA SECA

Puede usarse arena seca para el relleno, cuando la perforación está seca, es relativamente poco profunda y de un diámetro relativamente pequeño (120 a 200 mm). La arena deberá estar limpia, seca y tener tamaño uniforme, si es posible. Lo ideal es la arena normalizada; la arena lavada para concreto es igualmente aceptable.

La arena puede densificarse mediante vibración, colocándola a paladas o vertiéndola lentamente, a través de una malla de alambre para evitar la formación de arco. Algunas veces, puede asentarse más tarde la arena y producir deformaciones, tanto verticales como horizontales, en el revestimiento, que no son debidas a movimientos del terreno.

G. RELLENO CON 9,5 MM (3/8")

Podrá emplearse cualquier gravilla que resulte satisfactoria, como por ejemplo con tamaño máximo de 9,5 mm (3/8") o picadura de caliza. La gravilla deberá palearse lentamente en incrementos pequeños para evitar cualquier formación de arco que pueda ocurrir. La gravilla puede emplearse en huecos de perforación más profundos donde sea necesario efectuar mediciones de agua subterránea.

H. RELLENO DE LECHADA DE CEMENTO

Un material de relleno bastante aceptable es la lechada de cemento. Puede consistir de una lechada magra de cemento, una lechada de arcilla-cemento o un lodo de perforación tixotrópico. Una mezcla de 75 Kg. de cal hidratada con 50 Kg. de cemento Pórtland o una mezcla de cemento Pórtland con 15% de bentonita en volumen, podrán considerarse buenas mezclas de lechada. Otra mezcla económica simple consiste en mortero con suficiente agua, que le permita regarse dentro del agujero.

Nota 1; Lodo tixotrópico: *El que tiene la característica de licuarse cuando es agitado mecánicamente por vibración de ondas sonoras, que recupera su consistencia al dejarlo en reposo.*

La lechada debe vaciarse alrededor del revestimiento desde la superficie del terreno o deberá inyectarse, a través de un tubo de diámetro pequeño que esté conectado al fondo de la sección del revestimiento, en el espacio anular entre el revestimiento y la perforación. La lechada puede inyectarse también dentro del agujero, mediante un tubo plástico de diámetro pequeño que se inserta dentro del revestimiento, y está fijado a un dispositivo de válvula de control en el fondo del mismo. Si se instaló revestimiento exterior de acero en el hueco, éste deberá sacarse antes de que fragüe la lechada. Cuando se requieran mediciones del nivel freático, no es aconsejable el relleno con lechada de cemento.

Si fuera necesario, instálese la tapa para el hueco u otro dispositivo de protección sobre el tope del revestimiento, antes de la conclusión del relleno. Rellénese entonces alrededor y dentro de la tapa del hueco, dejando suficiente revestimiento expuesto que brinde espacio para el dispositivo de la abrazadera-guía.

La información de identificación pertinente debe incluir la localización y profundidad del agujero las cuales, deben estar marcadas permanentemente en el interior de la tapa que cubre el hueco.

Dependiendo de la situación, las lecturas iniciales deberán diferirse por lo menos 24 horas, para permitir que se asiente el relleno y que se estabilice el revestimiento. Después de que el revestimiento y la tapa del hueco han sido instaladas y rellenas, es deseable referenciar las ranuras guías con el norte magnético, de tal manera que las lecturas subsiguientes se hagan con relación a las mismas ranuras.

6.1.5.12.3. PARTE II . MÉTODO DE CONTROLAR EL REVESTIMIENTO GUÍA DE INCLINÓMETRO PARA TALUDES

A. EQUIPOS Y MATERIALES

- Inclinómetro para taludes.
- Unidad de lectura, unidad sensible, cable de interconexión y/o varillas metálicas de orientación.
- Conjunto de abrazadera de la rueda guía.
- Revestimiento opcional de extensión con acoples anexos.
- A veces se presentan problemas ocasionados por el giro del revestimiento después de la instalación.
- Este giro es debido a irregularidades en los procesos de fabricación del revestimiento ó a rotación de las juntas durante la colocación.

B. INSTRUMENTOS

Hay varios tipos de instrumentos disponibles comercialmente. El inclinómetro con unidad sensible tiene generalmente dos conjuntos de ruedas que consisten en una rueda rígida para guía y en una rueda con resorte para orientación. Estos dos conjuntos de ruedas están localizados cerca de cada extremo del inclinómetro. Se emplean diferentes dispositivos para determinar el ángulo de inclinación o deflexión con la unidad sensible; por ejemplo: elementos de resistencia

de precisión y un péndulo, medidores de deformación sobre un péndulo, péndulo y alambre vibrante, péndulo con transformador diferencial, servo-acelerómetros, etc.

Cada configuración produce una salida de voltaje que es medida en la superficie, con una unidad de lectura. Algunas unidades tienen capacidad para producir cintas compatibles con los computadores, acelerando con ello el procesamiento de los datos.

C. CONTROL CON EL SENSOR DE TIPO DE PÉNDULO

C.1. Descripción

Muchos sensores de tipo de péndulo, tienen forma alargada y cilíndrica, típica de muchos de estos tipos de instrumentos. Los conjuntos de ruedas (fija y con resorte cargado) están separados una cierta distancia (o longitud calibrada), y guían al instrumento dentro de los revestimientos ranurados. Dentro de la carcasa están un péndulo y un elemento de precisión de resistencia de alambre torcido, el cual forma a través del circuito, la mitad de un puente convencional de Wheatstone. La otra mitad del circuito, se halla en la unidad de control en la superficie del terreno. La oscilación del péndulo cambia la resistencia en el circuito y se obtiene una lectura, balanceando el puente de Wheatstone. Una descripción detallada del dispositivo, se puede consultar en el catálogo del fabricante.

C.2. Operación

La siguiente es una breve explicación de la técnica de operación; para una explicación más detallada será necesario referirse al manual de instrucciones del equipo. Para verificar si el sistema está trabajando adecuadamente, deberá efectuarse una calibración en el laboratorio antes de su empleo en el terreno. La media de la suma de lecturas opuestas (cada lectura en dirección opuesta, es decir, rotadas 180°), calculadas para cada una de tres o cuatro posiciones de ángulos de inclinación, es suficiente para determinar su condición de trabajo.

Después de ensamblado, el inclinómetro se baja hasta el fondo del hueco, desde donde las lecturas son registradas (hacia arriba), para incrementos especificados. Este procedimiento se repite empleando cada una de las cuatro ranuras y las ruedas fijas de los conjuntos para orientar la prueba. Se hace una comparación en el sitio, entre el valor de la suma de cada grupo de lecturas (ranuras opuestas), y el promedio de todos los grupos de lecturas para la longitud del agujero.

Si hubiera una variación de más de 10 unidades del dial con respecto a la media, se vuelve a localizar el inclinómetro a la profundidad en cuestión y se toma una lectura adicional. Para asegurar la repetitividad, cada vez las mediciones deberán efectuarse exactamente a la misma profundidad.

Deberá establecerse, también, un sistema que asegure que cada operador pueda identificar y registrar la posición del instrumento, en relación a las ranuras en las cuales está enrutado.

Esto puede cumplirse perforando un número diferente de pequeños agujeros en cada ranura, cerca de la parte superior del revestimiento, esto es, 1, 2, 3, ó 4, o cualquier otro sistema de marcas.

C.3. Mantenimiento

Se pueden presentar problemas, si ciertas precauciones y procedimientos de mantenimiento no se siguen, durante la operación en el terreno. En el sitio de trabajo, debe efectuarse una verificación visual de la condición de un anillo en O, en la conexión del cable; debe removerse cualquier restricción que obstaculice al péndulo; y los correctores deben limpiarse de polvo y secarse.

El instrumento está diseñado para operar bajo condiciones severas en el campo, pero las sacudidas pueden dañar los soportes del péndulo y traducirse por ello en datos erróneos. Esto puede suceder si se permite que la sonda golpee el fondo del hueco, o si no está asegurado el péndulo. Debe tenerse cuidado al remover la conexión del cable de la sonda, después de la operación en un revestimiento lleno de agua para evitar humedad.

La unidad de control y el carrete del cable deberán protegerse durante su almacenamiento, transporte y uso. La energía generalmente es suministrada por baterías internas, que pueden requerir reemplazo periódicamente.

D. CONTROL CON EL SENSOR DE TIPO ACELERÓMETRO

El inclinómetro sensible de tipo acelerómetro, difiere un poco del instrumento típico, en que generalmente tiene un diámetro exterior más pequeño, entre los dos conjuntos de ruedas.

Separadas por una distancia, usualmente de 600 mm (24"). Cada conjunto puede consistir de 2 ruedas fijas, separadas a 90° y una rueda con resorte cargado en el lado opuesto de la sonda (135° de cualquiera de las ruedas fijas). Algunas veces, sólo una rueda fija y una rueda con resorte cargado, montadas a 180° de separación, se emplean en cada conjunto. El dispositivo de la rueda inferior está libre para rotar aproximadamente 5°, para acomodarse a las irregularidades en el revestimiento.

El ángulo de inclinación se determina a partir de una unidad de lecturas, la cual puede relacionar una función geométrica del ángulo de inclinación, a una corriente obtenida de uno o dos servo-acelerómetros en la sonda.

Se dispone de opciones para proporcionar los datos sobre cinta de papel de doble imagen, o cinta magnética adecuada para emplear con computador. Para mayores detalles, debe consultarse la literatura del fabricante.

Operación

La técnica de operación se inicia con una verificación visual del hermetismo a prueba de agua del cable conector, después de que son ensamblados los componentes. Una calibración rápida para asegurarse de que la unidad es funcional, se completa colocando la sonda dentro del agujero en una ranura especificada; se toma la otra lectura, y se coloca luego la sonda en la ranura opuesta y se toma la lectura.

Desechando el signo, las dos lecturas deberán hallarse dentro de ± 20 unidades, del dial, una de la otra. Después de esta comprobación, se baja la sonda al fondo del agujero para comenzar las lecturas por incrementos. Mediante un interruptor en la unidad de lectura, pueden tomarse lecturas tanto en el plano que pasa a través de la rueda con resorte cargado, como en el perpendicular a ésta, reduciendo así el número de veces que el inclinómetro debe colocarse a través del revestimiento. Para reducir irregularidades, se toma una segunda serie de lecturas con la sonda rotada a 90° de la primera posición.

E.MANTENIMIENTO

Para mantener operable la unidad, es necesario efectuar cierto mantenimiento. La conexión entre el inclinómetro y el cable eléctrico, deberá mantenerse libre de agua y polvo (al igual que todos los contactos eléctricos). Deberá verificarse regularmente la condición del anillo O en el conector, pues los revestimientos llenos con agua forman grandes cabezas de presión que actúan contra él.

Generalmente, se emplean tres fuentes de energía: batería interior, exterior, y corriente alterna. La batería interior es usualmente del tipo recargable que debe reemplazarse periódicamente.

6.1.5.12.4. PARTE III. MÉTODO DE ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS

A.PROCEDIMIENTO

Para la primera serie de lecturas se considera que usualmente el revestimiento está vertical. Todas las lecturas subsiguientes son comparadas con este conjunto inicial de lecturas.

Todas las lecturas tomadas en el instrumento del tipo de péndulo se suponen positivas, puesto que los signos de polaridad, no están indicados en la unidad de lectura. Los signos de polaridad en el instrumento de tipo acelerómetro, son registrados y las lecturas se restan algebraicamente. Para el registro y reducción de datos es necesario referirse al manual de operación del fabricante.

El procedimiento del procesamiento de datos recomendado por muchos fabricantes, incluye una suma de lecturas en dirección opuesta, que se multiplica luego por un factor de calibración, para obtener la deflexión del revestimiento a partir de la vertical. Las lecturas subsiguientes, son comparadas con las lecturas iniciales, para obtener el cambio de inclinación a cualquier profundidad.

B.EJEMPLO DE HOJA DE DATOS

El ejemplo típico de una hoja de datos generalmente contiene columnas para las lecturas individuales, por la diferencia inicial, el cambio en la diferencia de lecturas subsiguientes y el cambio acumulado. Debe consultarse del manual de operación del fabricante.

C.REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS DATOS

El movimiento en el inclinómetro de taludes, es generalmente representado por un gráfico de tiempo de deflexión acumulada contra profundidad. El programa de computador, puede emplearse eficientemente para representar gráficamente la tasa, magnitud, profundidad, y dirección del movimiento, aún cuando los datos pueden fácilmente graficarse a mano. Consultar las instrucciones del manual de operación del fabricante.

CAPITULO 6.1.6.

TRATAMIENTO DE SUELOS DISPERSIVOS

SECCION 6.1.6.1. | TRATAMIENTO DE SUELOS DISPERSIVOS

6.1.6.1.1. DESCRIPCION

Los suelos dispersivos son suelos arcillosos que se caracterizan por tener un alto contenido de sales totales disueltas en el agua de poros y una gran preponderancia de los cationes de sodio dentro de ellas. Se entiende por sales totales a la suma de los cationes de Calcio (Ca), Sodio (Na), Magnesio (Mn) y Potasio (K) presentes en el agua de poros del suelo. Esta naturaleza química hace que estos suelos sean muy sensibles en presencia del agua con gran tendencia de las partículas de arcilla a separarse una de otra y por lo tanto a dispersarse, a diferencia de los suelos arcillosos comunes, donde existen predominancia de los cationes de calcio y magnesio, con buena resistencia a la erosión, los cuales constituyen la mayoría de los suelos en la región oriental del Paraguay.

En el Chaco Paraguayo, y en las llanuras de la margen derecha del río Paraguay, numerosas obras viales y diques de defensas contra inundaciones, presentan severos daños prematuros por tubificación y erosión de los taludes del terraplenado debido a escorrentías superficiales de aguas de lluvia, impactando enormemente en la calzada y consecuentemente en la vida útil de los mismos, generando sobrecostos no previstos en reparaciones y mantenimiento: Los suelos disponibles en estos sitios y utilizados en esos terraplenes en muchos casos son de naturaleza dispersiva

6.1.6.1.2. DAÑOS EN LOS TERRAPLENES

El proceso se inicia en la fase constructiva, inicialmente con tubificaciones en los taludes de los terraplenes casi imperceptibles a simple vista y que luego se desarrolla rápidamente en erosiones profundas, impactando en la obra con los consecuentes inconvenientes y sobrecostos que significan reconstruir y reparar los daños.

Las erosiones son producidas por escorrentías superficiales de aguas de lluvia que escurren sobre los terraplenes (coronamiento y taludes) generando pequeñas tubificaciones y luego surcos profundos de erosión hasta el pie del terraplén, para luego retroceder progresivamente hacia su interior (erosión regresiva – piping), agrandándose hasta convertirse en grandes cárcavas, dañando así a los taludes y luego a la calzada y consecuentemente a toda la estructura con fuerte impacto por la aparición en la superficie de esas grandes cárcavas.

El daño es muy característico y es el típico reportado por la literatura internacional cuando los suelos de los terraplenes son de naturaleza dispersiva.

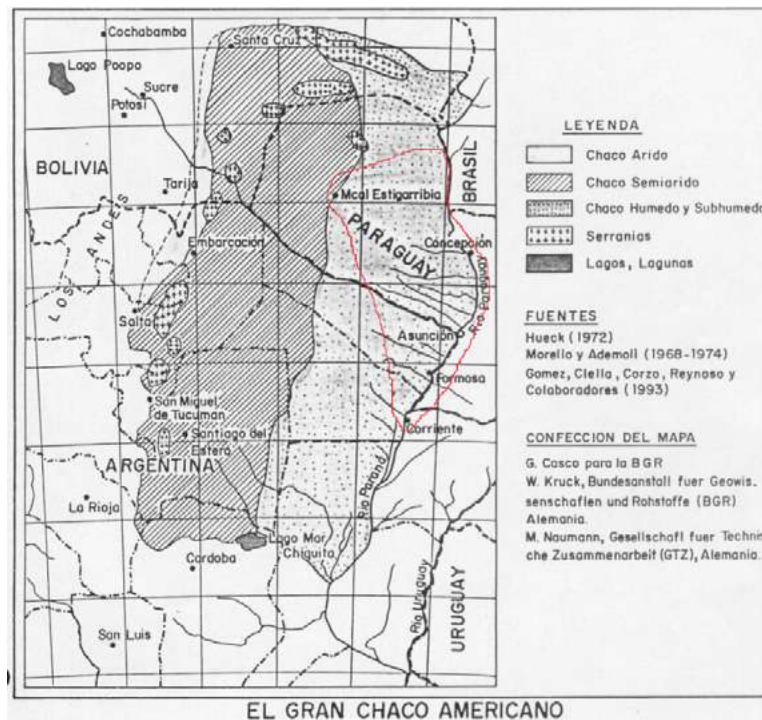


Figura 6.1_209. Área de verificación de daños en terraplenes de suelos dispersivos (en rojo)

6.1.6.1.3. NATURALEZA DE LOS SUELOS DISPERSIVOS

Según Sherard (1976), ciertos suelos de grano fino existentes en la naturaleza son altamente sensibles a la erosión. Tienen alto contenido de sodio. Erosionan por un proceso en el cual las partículas coloidales individuales de arcilla están prácticamente en suspensión en aguas quietas, mientras que el proceso de erosión en las arcillas comunes es bastante diferente requiriéndose considerable velocidad del agua para que el mismo se produzca.

La diferencia entre suelos dispersivos y no dispersivos se halla en la naturaleza de los cationes presentes en el agua de poros. En los primeros existe una preponderancia de los cationes de sodio (Na) mientras que en los no dispersivos existe preponderancia de los cationes de calcio (Ca) y magnesio (Mg). El factor principal que determina (Sherard, 1976) si una arcilla es dispersiva o no es la cantidad de sodio presente en las sales disueltas en el agua de poros.

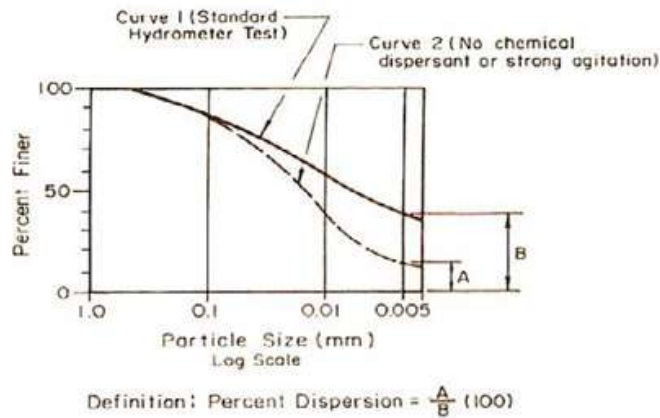
6.1.6.1.4. IDENTIFICACION DE LOS SUELOS DISPERSIVOS

La Comisión Internacional de Grandes Presas ICOLD (International Comisión on Large Dams) con sede en Paris, debido a la magnitud del problema, promulga en el año 1990 el Boletín N° 77 con el nombre de “Dispersive Soils in Embankment Dams” donde esta institución internacional fija los criterios generales para identificación, selección del material para uso económico, procedimiento para el diseño y construcción de presas y terraplenes en presencia de suelos dispersivos. Este documento, es de uso general en todo el mundo como guía para diseño y construcción de terraplenes con suelos de naturaleza dispersiva.

El mismo sugiere como ensayo rápido de aproximación el denominado “Crumb Test” que consiste en colocar una muestra de arcilla en un recipiente transparente con agua destilada. La tendencia de las partículas de arcilla a la suspensión coloidal es observada durante 5 a 10 minutos de inmersión. Si el suelo es dispersivo se genera una nube coloidal con partículas que precipitan rápidamente en el fondo del recipiente, generalmente en una capa relativamente fina. La descripción y procedimiento de ejecución de este ensayo está establecido en la norma USBR 5400 de la US Bureau of Reclamation de los EEUU.

Otro ensayo consiste en ejecutar dos pruebas de hidrometría: una de ellas usando dispersante químico, con agitación mecánica, y la otra sin defloculante y sin agitación mecánica. La relación entre el diámetro de la partícula para el tamaño de 0,005 mm en los dos ensayos es un indicador del potencial dispersivo. Figura 6.1_210.

Figura 6.1_210. Ensayo de dispersión



El mismo documento reconoce, sin embargo, que tanto el Crumb Test como el de doble hidrométrica son tomados como una guía primaria de identificación del potencial dispersivo del suelo.

El ensayo físico adoptado por la práctica internacional (ICOLD; 1990) para el reconocimiento e identificación de los suelos dispersivos es el ensayo de Pinhole (Sherard, 1976) porque este, efectivamente, reproduce en el laboratorio, el mecanismo de erosión esperado por la acción del flujo de agua en el terraplén y el “piping” o tubificación.

En el ensayo de Pinhole se definen seis categorías de clasificación:

D1 y D2: Dispersivo

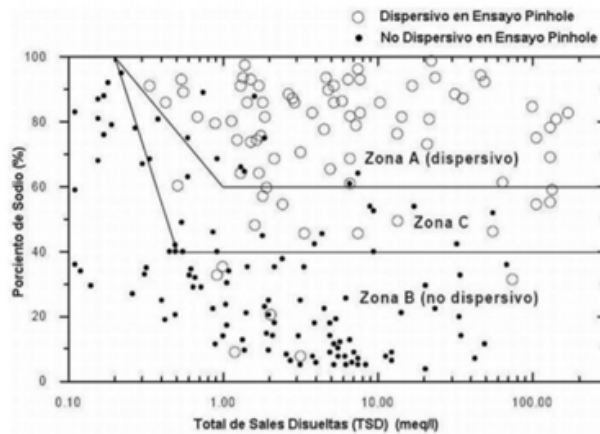
ND3 y ND4: Leve o moderadamente dispersivo

ND1y ND2: No dispersivo

Los ensayos químicos son indicadores importantes. Se determinan las sales totales disueltas en el agua de poros TDS y los cationes presentes en las sales: Ca calcio, Mg magnesio, Na sodio y K potasio, presentes. El porcentaje de sodio y la cantidad de sales determinan el potencial dispersivo.

De acuerdo con la experiencia americana, Sherard et al (1976), cuando las sales totales TDS es mayor que 1 un miliequivalente por litro (MEQ/L) y el porcentaje de Na es mayor a 60% en relación con el TDS, el suelo es siempre dispersivo. Figura 6.1_211.

Figura 6.1_211. Relación de Porcentaje de NA y TDS medidos en laboratorio con la prueba Pinhole.



El documento de la Comisión Internacional de Grandes Presas ICOLD (Paris, 1990) hace referencia a los investigadores australianos, quienes postulan que los dos factores químicos que gobiernan la dispersión del suelo son:

1) el porcentaje de sodio intercambiable del suelo, relacionado con la Razón de Adsorción de Sodio (SAR):

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{0.5(Ca + Mg)}}$$

2) las sales totales disueltas en el agua de poros (TDS).

La experiencia australiana indica que cuando la SAR es mayor a 1 y a 2 el suelo es dispersivo en el ensayo de Pinhole. En las experiencias acumuladas en Paraguay, Ramirez (2014), el procedimiento australiano de reconocimiento químico se cumple ampliamente: cuando la SAR es mayor a 2 en el ensayo de Pinhole el suelo es dispersivo y el terraplén se tubifica a las escorrentías. Igualmente ocurre cuando la SAR se ubica entre 1 y 2, el suelo es moderadamente dispersivo en el Pinhole y también se han observado que suelos con estas características se tubifican a las escorrentías superficiales de aguas de lluvia. Figura 6.1_212.

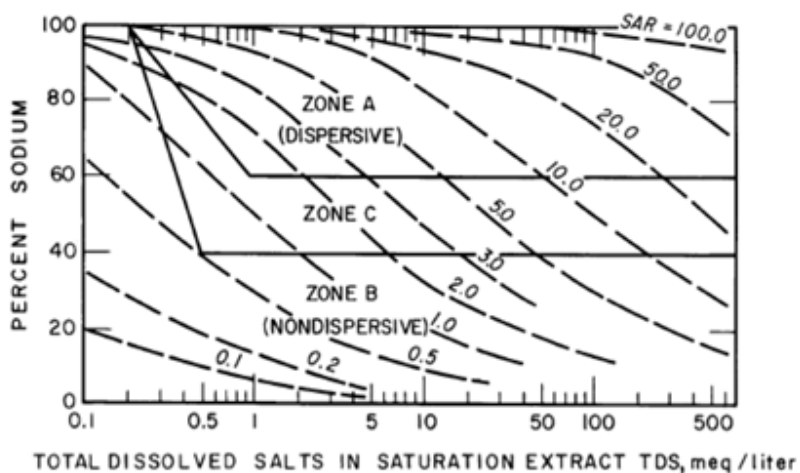


Figura 6.1_212. Relación entre la dispersividad (susceptibilidad a la erosión coloidal) en relación con los ensayos de Pinhole.

6.1.6.1.5. CARACTERÍSTICAS Y MECANISMO DE DAÑOS EN TERRAPLENES DE OBRAS VIALES Y DE TIERRA.

- En la Región Oriental del Paraguay puede observarse que terraplenes de obras viales, contruidos principalmente con suelos lateríticos y otros suelos comunes, no erosionan de la manera como sucede con aquellos contruidos con los suelos dispersivos.
- En todos los terraplenes contruidos con suelos dispersivos (Ramírez, 2014), donde el escurrimiento de lluvia causó tubificación y cárcavas de erosión, el material arcilloso tenía un alto contenido de sodio y ensayado en el Pinhole se clasificaba como suelo dispersivo.
- La diferencia de comportamiento entre las dos categorías de suelos, dispersivos y no dispersivos, es que en estos últimos para que se produzca la erosión se requiere una velocidad mínima de umbral, por debajo de la cual las escorrentías no producen efecto sobre el material: Las partículas de arcillas se atraen entre sí y sólo pueden desprenderse ante un flujo de agua con una cierta energía erosiva. En cambio, para la arcilla dispersiva no existe velocidad de umbral: las partículas de arcillas entran en suspensión con aguas en reposo.
- En los suelos no dispersivos se requiere por los menos unos 30cm/s (treinta centímetros por segundo) de velocidad de flujo para que alguna erosión se desarrolle (Sherard, 1976): el agua fluye más claro y las partículas se derrumban dentro de los canales de erosión sin falla de la masa. Sherard reportó que en algunas pruebas de Pinhole por varias semanas el agua llegó a fluir a una velocidad de 33cm/s (10fps) sin aumento mesurable del tamaño del orificio.
- Mientras que en los terraplenes de arcillas dispersivas (Sherard, 1976), el daño por erosión comienza cuando empieza a fluir a través de la masa una muy pequeña cantidad de agua de lluvia con velocidades muy bajas, normalmente unos centímetros por segundo; el agua se pone barrosa y se desarrolla la erosión progresiva de las partículas de arcilla hasta convertirse en las tubificaciones y cárcavas característicos. El mecanismo de erosión en terraplenes de suelos dispersivos es muy característico: la erosión retrógrada está asociada a un intercambio de cationes de sodio en presencia del agua generando un desprendimiento progresivo de las partículas coloidales de arcilla de abajo hacia arriba, produciéndose las tubificaciones tan características que terminan en enormes cárcavas y pozos en los terraplenes.
- La naturaleza de las lluvias también influye notablemente, en especial una lluvia torrencial después de un período seco en que las grietas superficiales existentes en los taludes de los terraplenes crean las condiciones favorables para la aceleración del proceso de la erosión retrógrada progresiva.

6.1.6.1.6. TRATAMIENTO DE TERRAPLENES CONTRUIDOS CON SUELOS DISPERSIVOS

El documento de la ICOLD citado anteriormente, p.p. 45, “Medidas de Diseños y Construcción”, entre otros, expresa: “Se debe tener sumo cuidado cuando se compactan suelos adyacentes a estructuras rígidas como conductos. En algunos casos la modificación con cal de las arcillas dispersivas es usada en estas fases. La modificación de arcillas dispersivas con el uso de la cal es necesaria para protección de taludes donde otras medidas tales como el uso de filtros adecuados y gravas (ripios) no son factibles económicamente”.

En el párrafo siguiente cita antecedentes bien documentados, expresando: “En situaciones donde terraplenes de presas contruidas con arcillas dispersivas han fallado por tubificación (piping) y en donde las reconstrucciones y reparaciones fueron efectuadas con suelo tratado

con cal, se utilizó el mismo procedimiento también en la reconstrucción de la protección de los taludes”.

Así mismo en el documento “Journal of the Geotechnical Engineering División”, “Identification and Nature of Dispersive Soils”, Sherard et al (1976) p.p. 299, bajo el subtítulo de “Lime Treated Dispersive Clay” dice lo siguiente: “Ensayos de pinhole fueron ejecutados en infinidad de diferentes arcillas dispersivas tratadas con pequeñas cantidades de hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (de 1% al 4% en peso). Sin excepciones el material fue transformado a un estado no dispersivo mediante el tratamiento con cal”. Otro documento importante de la literatura internacional, McDaniel et.al (1979), expuesto en el “Journal of the Geotechnical Engineering División”, “Dispersive Soil Problem at Los Esteros Dam”, p.p. 1029, en la conclusión dice: “La adición del 4% (en peso seco del suelo) de cal hidratada, convierte estos suelos dispersivos a suelos no dispersivos y resistentes a la erosión”.

6.1.6.1.7. MEDIDAS DE MITIGACIÓN RECOMENDADAS EN OBRAS VIALES

En la mayoría de las obras viales en el Chaco y en la llanura de la margen derecha del Río Paraguay, donde existe predominancia de la formación chaqueña del Cuaternario, el material económicamente disponible y utilizado en la construcción de los terraplenes y subrasante mejorada, en general, se encuentra en el estrato superficial hasta profundidades de unos 3 a 4 metros y son de naturaleza dispersiva.

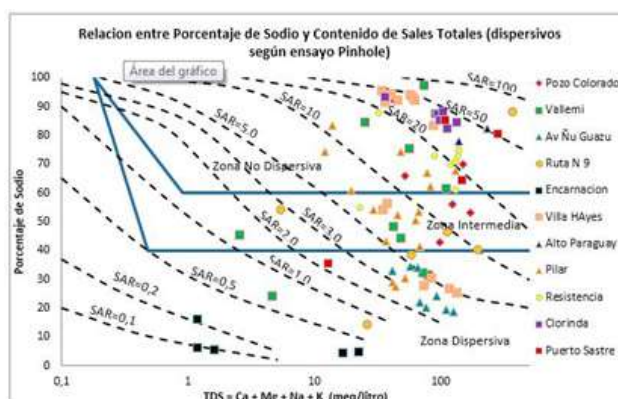
La presencia de sodio intercambiable como principal factor químico contribuyente al comportamiento de la arcilla dispersiva. El parámetro básico para cuantificar este efecto es ESP (Porcentaje de Sodio Intercambiable).

Suelos con ESP de 10 o más están sujetos a tener sales libres lixiviables por filtración o relativamente agua pura son clasificados como dispersivos. Existe otro parámetro comúnmente evaluado para cuantificar el papel del sodio con respecto a la dispersión en función a las sales libre que están presentes es la relación de adsorción de sodio (SAR Sodium Adsorption Ratio). El método SAR no es aplicable si no hay sales libres presentes.

Investigadores australianos constataron que todos los suelos evaluados con SAR mayor a 2, eran suelos dispersivos. En todos los casos donde el suelo es dispersivo o moderadamente dispersivo, la razón de adsorción de sodio SAR es mayor a 2.

En la Figura 6.1_213 se ha tratado de integrar los resultados de los ensayos químicos de las obras con suelos dispersivos realizadas en el país. En todos los casos donde el suelo es dispersivo o moderadamente dispersivo, la Razón de Adsorción de Sodio SAR es mayor a 1 y 2, valores idénticos a los formulados por los investigadores australianos.

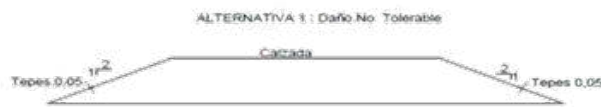
Figura 6.1_213. Integración de los resultados de los ensayos químicos de las obras enumeradas anteriormente (Ramírez, 2014)



En los casos de terraplenes severamente dañados, para mitigar los efectos causados por la erosión en el corto, mediano y largo plazo, se debe revisar el diseño de la obra para reconstruir correctamente los taludes dañados e implementar una cobertura adecuada de los mismos y establecer procedimientos constructivos específicos y prácticos para reducir sustancialmente el riesgo de daños por erosión.

En obras terminadas se han observado que cuando el terraplén tiene una altura mayor que 1,50m y una cobertura vegetal muy simple de tepes de 0,05m de espesor en sus taludes, se produce la tubificación y los daños serían no tolerables para mantener la integridad de toda la estructura de la calzada. Figura 6.1_214.

Figura 6.1_214. CASO 1. Daño no Tolerable.



Se ha observado también que cuando el talud del terraplén es suave, en torno a 3H: 1V y 4H: 1V, y si el mismo posee una cobertura vegetal firme y uniforme, de por lo menos 0,15m de espesor, con mantenimiento periódico y oportuno, no se produce la tubificación, y si se produjera, el daño es mínimo y las acciones de mantenimiento permiten reponer el suelo erosionado sin afectar la integridad de la calzada. Figura 6.1_215

La recomendación para el diseño de terraplenes para obras viales es adoptar un talud de 3H: 1V, con una cobertura total de los taludes con suelo vegetal y pasto de 0,15m de espesor.

Figura 6.1_215. CASO 2. Daño Tolerable.



En los casos donde por una u otra razón se deba mantener un talud de 2H: 1V con daño nulo, es imprescindible realizar un tratamiento del talud. En caso de optarse por la utilización de suelo-cal, la cantidad mínima requerida de cal hidratada se establece de acuerdo al suelo a emplearse y bajo normativa (Método de Initial Consumption Lime ICL – ASTM D4647) y luego podría ser colocada una cobertura vegetal firme y uniforme de 0,15m como se presenta en la Figura 6.1_216.

Figura 6.1_216. CASO 3. Daño Nulo.



El proceso constructivo recomendado para los terraplenes ejecutados con suelos de naturaleza dispersiva incluye la protección de los taludes a medida que el terraplén avanza en altura y en longitud. Se debe terminar la obra del terraplenado en tramos tan cortos como sea posible, con toda la cobertura de protección, evitando así la exposición de los terraplenes a las escorrentías superficiales sin protección adecuada.

Si el terraplén sufre daños por escorrentías superficiales durante el proceso constructivo, toda la zona dañada en el proceso constructivo debe ser retirada y reconstruido el terraplén con la cobertura vegetal correspondiente.

La paralización de las obras en proceso de construcción debe evitarse, y en caso de daños, la reconstrucción debe ser inmediata. De lo contrario, si se prosigue con la construcción de la calzada en estas condiciones, con los taludes expuestos a las escorrentías de aguas de lluvia sin protección, la falla prematura de toda la superestructura es inexorable en breve plazo. Aunque la sub-base haya sido construida con la incorporación de cal.

6.1.6.1.8. RECOMENDACIONES GENERALES

- La presencia de suelos dispersivos abarca una gran superficie territorial, en el Chaco y en la llanura de la margen izquierda del Rio Paraguay.
- En general, son los únicos materiales disponibles en superficie para construcción de terraplenes viales (préstamos próximos).
- Incluir los ensayos de identificación en la fase de investigación técnica del proyecto: Crumb, Pinhole y Químicos.
- Adoptar en el diseño las medidas de mitigación: Suelo Cal, Suelo Cal-Cemento, Suelo cemento; Taludes suaves del orden de 3H:1V, y cobertura del talud con una capa firme y densa de pasto, de por lo menos 0,15m de espesor.
- En las Especificaciones Técnicas expresar el contenido de cal útil vial, en %, expresado como hidróxido de calcio.
- Incluir en las Especificaciones Técnicas los procedimientos constructivos para evitar los daños durante la construcción.
- Incluir un Manual de Operación y Mantenimiento para el periodo de servicio a largo plazo de la obra vial que considere el mantenimiento periódico y oportuno de los taludes con la reposición inmediata del material erosionado y el corte permanente y oportuno del pasto. Se debe evitar la invasión de arbustos y vegetación leñosa en el talud que en caso de producirse, el terraplén queda sin cobertura y expuesto directamente a las escorrentías con todas sus consecuencias.

SECCION 6.1.6.2.

ESTIMACIÓN DE LA PROPORCIÓN DE CAL NECESARIA PARA ESTABILIZAR UN SUELO A PARTIR DE LA MEDIDA DEL PH (ASTM¹ D4647)

¹ American Society for Testing and Materials

6.1.6.2.1. OBJETO

Este método de ensayo permite estimar la proporción de cal requerida para estabilizar un suelo, determinando el menor porcentaje de cal que da lugar a un pH de aproximadamente 12.4 en la mezcla de suelo-cal. El ensayo se realiza empleando la fracción del suelo que pasa el tamiz de abertura 425 µm (No. 40).

Nota 1: El contenido óptimo de cal para la estabilización del suelo se deberá determinar mediante ensayos específicos de caracterización del suelo estabilizado, tales como la resistencia a la compresión no confinada o el índice de plasticidad.

Nota 2: Algunos subproductos industriales altamente alcalinos (polvo de residuo de los hornos de cal y de cemento, por ejemplo) han sido utilizados con éxito en la estabilización de suelos. Esta norma no se refiere a estos materiales y cualquiera de ellos deberá ser ensayado para determinar sus características específicas, como se indica en la Nota 1.

Nota 3: La cal no es un agente estabilizante efectivo para todos los suelos. Algunos componentes de los suelos, como los sulfatos, los fosfatos y la materia orgánica.

6.1.6.2.2. DEFINICIONES

Las siguientes definiciones son aplicables a esta norma:

Cal – Producto resultante de la descomposición de las rocas calizas por la acción del calor que, para los fines de esta norma, incluye la cal hidratada y la cal viva.

Cal hidratada – Cal compuesta predominantemente por hidróxido de calcio [Ca(OH)₂] o una mezcla de hidróxido de calcio y óxido de magnesio (MgO) o hidróxido de magnesio [Mg(OH)₂].

Cal libre – Cal dentro de una mezcla suelo-cal que no se ha dissociado en iones de calcio e hidroxilo.

Cal viva – Cal que está constituida predominantemente por óxido de calcio (CaO) u óxido de calcio junto con óxido de magnesio (MgO).

Estabilización – Proceso para mejorar las propiedades de ingeniería de los suelos.

Estabilización con cal – Adición de cal a un suelo en cantidad suficiente para promover reacciones puzolánicas duraderas que se traduzcan en aumentos de resistencia y en un mejoramiento permanente de la estabilidad.

Modificación con cal - Modificación de la textura del suelo, que se traduce en una reducción de la plasticidad, la cual se logra por la adición de cantidades de cal inferiores a las requeridas para la estabilización y que puede ser solamente transitoria.

pH – Logaritmo negativo de base 10 de la concentración efectiva del ión hidrógeno o de la actividad del ión hidrógeno, en equivalentes gramo por litro. La escala de pH oscila

entre 0 y 14 en solución acuosa siendo ácidas las soluciones con pH inferiores a 7 y alcalinas las que tienen pH mayor de 7. El pH = 7 indica la neutralidad.

Solución buffer o amortiguadora – Una solución con un valor de pH específico, empleada para calibrar el aparato medidor de pH.

6.1.6.2.3. EQUIPOS Y MATERIALES

Los equipos necesarios para la ejecución del ensayo son los siguientes:

Balanza – Con una capacidad mínima de 600 g y una legibilidad de 0.01 g, para determinar las masas de suelo y cal.

Tamiz – Con aberturas de 425 μm (No. 40).

Botellas plásticas – Seis botellas de 150 ml o de mayor capacidad, con tapa de rosca.

Medidor de pH – Equipado con un electrodo de referencia y un electrodo de cristal de bajo error de sodio sensible a los iones de hidrógeno (o un electrodo de combinación), y con un medidor con resolución de 0.01 unidades de pH y precisión de ± 0.2 pH, en un rango de 0 a 14.

Horno – Capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).

Equipo misceláneo – Un recipiente hermético a prueba de humedad, para conservar el contenido de agua del suelo; herramientas de mezclado y cucharones para la preparación de las muestras de ensayo.

Los reactivos y materiales necesarios para la ejecución del ensayo son los siguientes:

Agua – Al hacer referencia al agua, se dará por entendido que presenta las características del tipo II de la especificación ASTM D1193, cuyas características relevantes se muestran en la Tabla 6.1_40.

Tabla 6.1_40. Características del agua tipo II según especificación ASTM D1193

FACTOR	LIMITE
Conductividad eléctrica, máximo, $\mu\text{s}/\text{cm}$ a 25°C	1
Resistividad eléctrica, mínimo, $\text{M}\Omega\text{-cm}$ a 25°C	1
Carbono orgánico total, máximo, $\mu\text{g}/\text{L}$	50
Sodio, máximo, $\mu\text{g}/\text{L}$	5
Cloruros, máximo, $\mu\text{g}/\text{L}$	5
Sílice total, máximo, $\mu\text{g}/\text{L}$	3

El agua se debe almacenar en un recipiente con tapa a presión y hervir y enfriar inmediatamente antes de cada uso.

Nota 4: Si el pH del agua en el sitio es altamente ácido (< 6) o altamente alcalino (>9), los resultados del ensayo se deben verificar contra una muestra hecha con agua del lugar y no con agua del tipo II.

Solución buffer o amortiguadora – Con un pH igual a 12.

Cal hidratada o cal viva – Sólo se puede usar cal fresca, que cumpla los requisitos indicados en la Tabla 6.1_41

Tabla 6.1_41. Requisitos de la cal según especificación ASTM C977

COMPOSICIÓN QUÍMICA	PROPIEDADES FÍSICAS	
	CAL HIDRATADA	CAL VIVA
CAL HIDRATADA Y CAL VIVA		
Óxidos de calcio y magnesio: 90 % mínimo	No deberá tener un retenido mayor de 3% en el tamiz de 600 µm (No. 30), ni mayor de 25 % en el tamiz de 75 µm (No. 200)	Deberá pasar, en su totalidad, el tamiz de 25 mm (1")
Dióxido de carbono (medido en la fábrica): 5.0 % máximo		
Humedad libre (medida en la fábrica): 2.0 % máximo		

Nota 5: La cal hidratada y la cal viva son altamente cáusticas y pueden causar irritaciones severas a la piel, a los ojos y a las membranas mucosas. Al manejar la cal, se debe usar un equipo de seguridad apropiado que incluya guantes de caucho resistente, protector para los ojos y un delantal plástico. Así mismo, se debe asegurar la adecuada ventilación del lugar o suministrar un respirador al operario.

Nota 6: La cal absorbe agua y dióxido de carbono del aire con facilidad; por lo tanto, se debe almacenar en recipientes herméticos.

Nota 7: La mezcla suelo-cal-agua es alcalina y reacciona tanto con el metal como con el vidrio; por lo tanto, se deben usar botellas y vasos de precipitados de plástico.

6.1.6.2.4. RESUMEN DEL MÉTODO

Se prepara una serie de mezclas de suelo con diferentes contenidos de cal. Las medidas de pH se realizan sobre lechadas de las muestras para determinar el contenido mínimo de cal que hace que la mezcla de suelo-cal alcance un pH igual o superior a 12.4.

El valor de pH igual o mayor de 12.4 alcanzado en este ensayo es producto de la cal libre que permanece en la mezcla de suelo-cal. Normalmente, el pH de la cal específica que se use para la estabilización del suelo deberá ser determinado y usado como indicador de pH.

6.1.6.2.5. IMPORTANCIA Y USO

El ensayo de pH sobre el suelo-cal se ejecuta como prueba indicativa de la proporción de cal necesaria para mantener el pH elevado que se requiere para sostener la reacción necesaria para estabilizar un suelo.

Nota 8: Este método de ensayo fue propuesto por Eades, J.L. y Grim, R.E.: "A quick test to determine lime requirements for lime Stabilization", Highway Research Record No. 139, National Academy of Sciences, National Research Council, Highway Research Board, Washington, DC, 1966.

Se requieren ensayos de comportamiento en el laboratorio, para ajustar los resultados obtenidos mediante este método de ensayo.

Este método no brinda información confiable en relación con la reactividad potencial de un determinado suelo, ni da cuenta en relación con la magnitud del incremento de resistencia que se obtendrá al tratar el suelo con el porcentaje de cal obtenido en la prueba.

El método permite estimar el porcentaje de cal, como cal hidratada o como cal viva, necesario para estabilizar el suelo.

Nota 9: La cal agrícola (polvo de caliza) no es apta para estabilizar suelos

6.1.6.2.6. INFORME DEL ENSAYO

- El informe debe incluir:
- El porcentaje estimado de cal requerido para la estabilización, redondeado al 1 % más cercano, y el porcentaje de cal y el pH medido en cada una de las mezclas de suelo-cal ensayadas.

El tipo de cal empleada para estimar el contenido de cal para la estabilización del suelo.

- Documentos de Referencia:
- ASTM D 6276 – 19

NATIONAL LIME ASSOCIATION, "Mixture design procedures for lime stabilized soils"

SECCION 6.1.6.3.

IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE ARCILLAS DISPERSIVAS A PARTIR DEL ENSAYO PINHOLE (ASTM¹ D4647 NBR² 14114)

¹ American Society for Testing and Materials

² Associação Brasileira de Normas Técnicas

6.1.6.3.1. OBJETO

Describir el método físico para la obtención de una medida directa y cualitativa del grado de dispersión de los suelos arcillosos, a partir del flujo de agua destilada a través de un pequeño orificio realizado axialmente a un espécimen. La naturaleza de la solución que fluye dentro del espécimen con una imposición de carga hidráulica inicial de 50 mm determina la diferencia básica entre las arcillas dispersivas y no dispersivas. En el caso de arcillas altamente dispersivas, el efluente será marcadamente turbio y el orificio dentro del espécimen crecerá de forma rápida, resultando un aumento en el caudal de salida. En el caso de arcillas no dispersivas, el efluente será limpio y el orificio dentro del espécimen permanecerá inalterado.

6.1.6.3.2. EQUIPOS Y MATERIALES

Los equipos necesarios para la ejecución del ensayo son los siguientes:

Equipo para ensayo de Pinhole normalizado, mostrado ilustrativamente en la Figura 6.1_217.

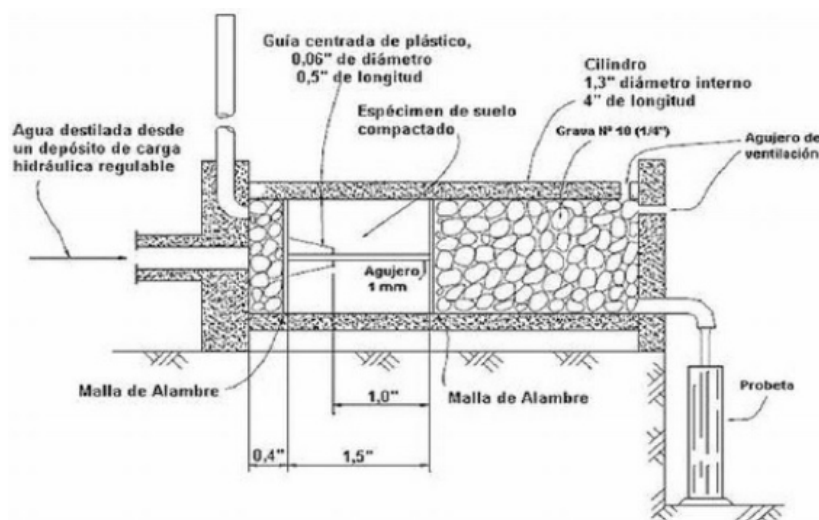


Figura 6.1_217. Dibujo esquemático del Equipo de Pinhole.

Tanque para el suministro de agua destilada con carga constante, siendo que el pH del agua a ser utilizado debe estar comprendido entre 5,5 y 7,0.

Probetas graduadas, de 10 cm³, 25 cm³, 50 cm³ y 100 cm³ de capacidad.

Mallas de metal de formato circular, con abertura de malla menor que 2 mm y diámetro aproximado de 35 mm.

Aguja de acero de 1 mm de diámetro externo y 50 mm a 75 mm de longitud.

Guía de centralización con formato cónico y dotado de un orificio de 1.5 mm de diámetro.

1. Arena gruesa, lavada, pasante Tamiz de 4.8mm y retenido al Tamiz de 2 mm.
2. Cronometro con resolución de décimas de segundo.
3. Dispositivo para medir diferencias de carga hidraulica (Manómetro).
4. Equipos de compactación Harvard Miniatura o para compactación estática.
5. Balanza con resolución de 0,01g y capacidad compatible.
Calibre para medición.

6.1.6.3.3. PREPARACIÓN DEL ESPÉCIMEN

A. MOLDEO PARA ESPÉCIMEN COMPACTADO

Remover de la muestra de suelo todas las partículas de arena y de piedras con diámetro mayor que 2 mm.

Nota: Este proceso de tamizado generalmente se realiza forzando al material al paso del Tamiz Nº 10, de abertura 2 mm.

1. Determinar el contenido de humedad, según normativas ASTM D2216 y corregirlo, adicionando agua destilada o secando al aire, de modo a buscar la humedad del suelo requerida, con tolerancia de no más de dos puntos porcentuales al punto de humedad de compactación deseada.
2. En el caso de adición de agua, luego de la homogeneización, la muestra debe ser mantenida en curado, esto es por ejemplo en sacos plásticos, por un periodo mínimo de 24 a 48 horas.
3. Determinar el contenido de humedad del suelo a ser compactado

Determinar la masas y dimensiones del espécimen a ser ensayado. Compactar el espécimen de modo que su altura final sea igual a 38 mm o 1.5 pulgadas. El peso específico aparente seco y la humedad del espécimen compactado deben corresponder a aquellos especificados para la construcción.

B. MOLDEO PARA ESPÉCIMEN INDEFORMADO

Determinar la masa del cilindro (molde) de ensayo con resolución de 0,1 g, lubricar la cara interior y posicionarlo sobre un gabarito de madera. Talla el espécimen con 38 mm de longitud, de modo que este se ajuste al cilindro de ensayo.

Nota: Este proceso de tallado se encuentra prescripto en la Norma ASTM.

C. PROCEDIMIENTO

1. Colocar dos mallas de metal sobre la base del espécimen y rellenar el cilindro del equipo de Pinhole con arena gruesa. Posicionar la tapa inferior, asegurando la estanqueidad por medio del dispositivo adecuado.
2. Insertar la guía de centralización en el centro de la cara superior del espécimen usando la presión de los dedos, hasta que la base de la guía quede nivelada con la superficie de la cara superior del espécimen. Debe garantizarse que la guía sea insertada verticalmente, de modo que el orificio quede normal a la superficie del espécimen. Para las muestras indeformadas rígidas, la colocación de la guía centralizadora puede ser difícil y dañar la muestra de suelo. En estos casos especiales, se puede dispensar el uso de la guía, no obstante, se debe tener cuidado especial para mantener el alineamiento al hacer el orificio. La no utilización de la guía debe ser mencionada en la presentación de los resultados y del informe final.

Insertar la aguja dentro de la guía y presionarla a través del espécimen. Presionar constantemente la aguja en un movimiento continuo a través del espécimen hasta que esta penetre en la malla de metal y en la arena subyacente cerca de 10 mm. Si fuese necesario, luego de atravesar el suelo, dar algunas rotaciones a la aguja para ayudar a la penetración a través de la malla y de la arena. Remover la aguja del espécimen. Girar la aguja cuatro o cinco veces durante la operación de extracción, para que garantice un orificio abierto y limpio a través del espécimen.

3. Colocar cuidadosamente dos mallas de metal en la superficie superior del espécimen y llenar el vacío remanente de la cara superior del cilindro del ensayo con arena gruesa. La arena debe ser nivelada sobre la cara superior del cilindro de modo que un dispositivo que pueda garantizar la estanqueidad pueda ser posicionada entre el cilindro de ensayo y la tapa superior.

Posicionar la tapa superior, asegurándose que la estanqueidad por medio del dispositivo adecuado. Conectar la fuente de agua y el manómetro. Colocar el dispositivo montado en la posición horizontal, conforme mostrado en la Figura 6.1_218 la cual representa esquemáticamente el montaje general del ensayo. La válvula de alimentación de agua debe estar cerrada y la válvula del manómetro debe estar abierta. Verificar que las mangueras estén saturadas, evitando cualquier burbuja de aire en su interior.



Figura 6.1_218. Esquema del montaje general del Ensayo Pinhole.

4. Comenzar el ensayo introduciendo el agua destilada dentro del dispositivo, de modo que la carga hidráulica en relación con el nivel del orificio sea igual a 50 mm.
5. Accionar el Cronometro
6. Con la probeta apropiada, comenzar a medir la cantidad de efluente que emerge del espécimen. En caso de que el flujo esté obstruido, parar el ensayo, desmontar el dispositivo y rehacer el orificio. Las primeras tres medidas de caudal, anotar el tiempo en segundos para colectarse 10 cm³ de efluente. En las medidas posteriores, anotar el tiempo para colectarse 25 cm³, 50 cm³ o 100 cm³ de efluente. También es aceptable adoptar un intervalo de tiempo, por ejemplo, de 60 segundos, y medir el volumen del efluente colectado durante ese periodo de tiempo.

Observar la turbidez del efluente en cada medida de descarga, prestar atención especialmente en la superficie superior del espécimen como en la superficie lateral de la muestra. Anotar la turbidez del efluente, como oscura, levemente oscura o clara.

7. Nota: Se recomienda efectuar el cambio de probetas toda vez que fuese realizada la observación visual del efluente.

8. La percolación del agua a partir de una carga hidráulica de 50 mm debe ser mantenida por 5 minutos. La principal diferencia entre suelos dispersivos y no dispersivos se da en relación a dicha carga hidráulica.

Referirse a las normas de referencia de este ensayo para orientar la secuencia del ensayo y los criterios para evaluación de los resultados.

Tabla 6.1_42. Criterio Adaptado de la NBR 14114

Clasificación de dispersión	Carga Hidráulica Tiempo Parcial				Caudal final a través de la muestra (mL/s)	Apariencia del Efluente	Diámetro final después del ensayo (mm)
	Inicial 50 mm	180 mm	380 mm	1020 mm			
D1	5 min				1.50 - 2.00	Oscuro	≥ 2.0
D2	10 min				>1.00	Levemente oscuro	>1.5
ND4	10 min				<0.80	Levemente oscuro	≤1.5
ND3	5 min	5 min			>2.50	Oscuro o levemente oscuro	>2.0
			5 min		>3.50	Oscuro o levemente oscuro	
ND2	5 min	5 min	5 min	5 min	>5.00	Levemente turbio	<1.5
ND1	5 min	5 min	5 min	5 min	<4.00	Claro	1

9. Finalmente, es importante reconocer que los caudales, el área y la forma de la sección transversal final del orificio a través del espécimen indeformado puede variar considerablemente de aquellas observadas en especímenes compactados. La macroestructura de los suelos puede influir en la velocidad y en la naturaleza de la erosión a lo largo del orificio inclusive más que en presencia de arcillas dispersivas. Es importante destacar que, para evaluar los resultados de ensayos con muestras inalterada, la turbidez del efluente puede ser mucho más importante que el caudal.

6.1.6.3.4. INFORME DEL ENSAYO

El informe debe incluir:

- a) El contenido de humedad de la muestra previo a la preparación del espécimen, en el caso de especímenes compactados, indicar se la muestra fue previamente seca al aire o no.
- b) Tiempo de curado, colocar si fuese el caso.
- c) Contenido de humedad y peso específico aparente seco del espécimen
- d) Curva del caudal versus el tiempo (siendo este tiempo correspondiente al promedio del intervalo de medición), con información sobre la turbidez del flujo para cada carga hidráulica, y curva del caudal medio versus logaritmo de la carga hidráulica, con carga hidráulica en milímetros, caudal en centímetros cúbicos por segundo y tiempo en segundos.
- e) Esquema del espécimen, mostrando específicamente el formato y medidas del diámetro del orificio a través del espécimen al final del ensayo.

f) Clasificación del espécimen en relación con el grado de dispersión: ND1, ND2, ND3, ND4, D2 o D1.

Nota: Los ejemplos de informes se muestran dentro de las normativas de referencia.

SECCION 6.1.6.4.

EVALUACIÓN DEL GRADO DE DISPERSIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A PARTIR DEL ENSAYO CRUMB (ASTM¹ D6572)

¹ American Society for Testing and Materials

6.1.6.4.1. OBJETO

El ensayo de Crumb, tal como fue desarrollado originalmente por Emerson, se llamó prueba de coherencia agregada y tuvo siete categorías diferentes de reacciones del suelo con el agua. Sherard et al., más tarde simplificó la prueba al combinar algunas reacciones de agua y suelo, de modo que solo se observaron cuatro categorías o grados de dispersión de suelo durante la prueba. El ensayo de Crumb es un indicador positivo relativamente preciso de la presencia de propiedades dispersivas en un suelo. Sin embargo, no es un “indicador negativo” completamente confiable de que los suelos no son dispersivos. Rara vez se puede confiar en el Ensayo de Crumb como único método de prueba para determinar la presencia de arcillas dispersivas.

Por lo tanto, este método es utilizado para evaluar el grado de dispersión de los suelos arcillosos, propuesto por Sherard, Dunningan y Decker. En ese sentido, se efectúan observaciones visuales en pequeñas muestras de suelo, inmersos en agua destilada y conforme a su comportamiento el suelo es clasificado como dispersivo o no dispersivo.

Observaciones:

- El ensayo de Crumb tiene ciertas limitaciones en su utilidad como indicador de suelos dispersivos. Un suelo dispersivo a veces puede dar una reacción no dispersiva en el Ensayo de Crumb. Existen algunos ejemplos Los suelos que contienen caolinita con problemas conocidos de dispersión en el campo han mostrado reacciones no dispersivas en el Ensayo de Crumb. Sin embargo, si el Ensayo de Crumb indica dispersión, el suelo es probablemente dispersivo.
- Este método no es aplicable para suelos con 12% o menos de partículas que pasan el Tamiz de abertura 0.005 mm y que tienen un índice de plasticidad menor o igual a 8.
- El suelo secado en estufa no debe usarse para preparar muestras para el Ensayo Crumb, ya que se pueden producir cambios irreversibles en las propiedades fisicoquímicas del agua de poros del suelo responsables de la dispersión.
- En algunos casos, los resultados de los Ensayos de Pinhole, Crumb y Doble hidrómetro pueden no estar de acuerdo. El ensayo de Crumb es un mejor indicador de suelos dispersivos que de suelos no dispersivos.
- El uso de agua diferente al agua destilada de acuerdo con la Especificación ASTM D1193, puede interferir con la dispersión de las partículas de arcilla coloidal.
- El cubo o terrón de suelo deben colocarse con cuidado directamente en el fondo del plato al sumergirlos. La caída del suelo de la superficie del agua puede causar un exceso de disgregación y puede resultar en una interpretación errónea del grado de dispersión.
- Sacudir o mover la muestra de suelo o el recipiente una vez que el ensayo haya comenzado puede causar una turbidez excesiva y puede resultar en una interpretación errónea del grado de dispersión.
- El uso de un terrón de suelo de forma irregular y natural puede dar como resultado un espécimen que no es representativo de la muestra total. Por lo tanto, se deben seleccionar varias

muestras y ensayarlos para asegurarse de que se obtienen resultados representativos. El número total de muestras debe determinarse durante el programa de prueba y dependerá del grado de dispersión de las pruebas individuales.

6.1.6.4.2. EQUIPOS Y MATERIALES

Los equipos necesarios para la ejecución del ensayo son los siguientes:

- a. Recipientes inertes blanco o transparente, no poroso, de vidrio o equivalente con una capacidad mínima de 300 mL y con un fondo plano de al menos 85 mm de ancho. El contenedor debe ser lo suficientemente grande como para permitir que la muestra se sumerja completamente cuando se coloca en el contenedor
- b. Termómetro con rango de 0 a 50 ° C, divisiones de 0.1 ° C. Se pueden usar otros dispositivos de medición de temperatura que cumplan con las resoluciones establecidas.
- c. Tamiz (es), tamiz de 4.75 mm (No. 4) y de 2 mm (No. 10).
- d. Cronometro, con dispositivo de sincronización: un reloj, parada.
- e. Agua destilada con un pH entre 5,5 y 7,0 para realizar los ensayos de Crumb y preparar las muestras remoldeadas.

6.1.6.4.3. PREPARACIÓN DEL ESPÉCIMEN

Muestreo: una muestra de suelo homogéneo y representativo que pase el tamiz de 4.75 mm (No. 4). Dependiendo del porcentaje de arena gruesa en el material, se necesitan aproximadamente de 25 a 75 g de material para realizar el Ensayo de Crumb. Si utiliza el Método A, es posible que necesite más material para asegurarse de que se obtienen resultados representativos.

A. METODO DE ENSAYO A – TERRONES DE SUELOS NATURALES

- Seleccione uno o más terrones naturales del suelo de forma irregular. Estas muestras del suelo deben ser aproximadamente el igual al volumen como un cubo con 15 ± 5 mm en cada lado. Si ninguna muestra de suelo es equivalente a este cubo en tamaño, se puede usar una serie de cubos más pequeños. El volumen de este suelo representativo no debe ser inferior al equivalente de un cubo con 7 ± 3 mm en cada lado.
- Registre la información de la identificación de la muestra para el ensayo y comience el ensayo tan pronto como sea posible después de obtener la(s) muestra(s) de suelo.

El uso terrones naturales de suelo puede resultar en un espécimen que no es representativo de la muestra total; por lo tanto, se recomienda que se analicen varias muestras para asegurarse de que la muestra total esté representada. El número elegido depende de la homogeneidad de la muestra total.

B. MÉTODO DE ENSAYO B: MUESTRAS DE SUELO REMOLDEADAS

- Procesar la muestra sobre un tamiz de 2 mm (No. 10) y desechar el retenido.
- Prepare una muestra con el material que pasa el tamiz de 2 mm (No. 10) comprimiendo ligeramente una muestra de suelo húmedo en un cubo de aproximadamente 15 ± 5 mm en cada lado. Usar los pulgares y el índice para formar suavemente el cubo.
- Registre la información de la identificación de la muestra para el ensayo y comience el ensayo tan pronto como sea posible después de obtener la(s) muestra(s) de suelo.

Si el ensayo de Crumb se realiza junto con el ensayo de Pinhole, el cubo se puede preparar a partir de material curado hasta el contenido de humedad deseado y luego compactar la muestra. Alternativamente, el suelo secado al aire o el suelo a la humedad natural se puede pasar a través de un tamiz de 2 mm (No. 10) y formar un cubo. Si se necesita humedad adicional para formar el cubo, se puede agregar agua destilada hasta que se pueda formar el cubo.

C. PROCEDIMIENTO

1. Los procedimientos completos de esta normativa se encuentran en la Norma Americana ASTM D6572 vigente a la fecha. No obstante, se hace una breve descripción del procedimiento de ensayo a continuación.
2. Un cubo de suelo remoldado con aproximadamente 15 ± 5 mm en cada lado (aproximadamente del tamaño de un dado) o un terrón de suelo natural de un volumen aproximadamente similar se coloca en el fondo de un recipiente con capacidad de 300 mL que contenga 250 mL de agua destilada.
3. La temperatura del agua se registra y las determinaciones visuales del grado de dispersión se realizan y registran a los $2 \text{ min} \pm 15 \text{ s}$, $1 \text{ h} \pm 8 \text{ min}$ y $6 \text{ h} \pm 45 \text{ min}$. La determinación del grado de dispersión se basa en la formación, extensión y turbidez de una densa "nube" o halo de partículas de tamaño coloidal que se extienden desde la porción del suelo.
4. Las determinaciones consisten en: Grado 1 (No dispersivo), Grado 2 (Intermedio), Grado 3 (Dispersivo) y Grado 4 (Altamente dispersivo).

Los criterios para la clasificación del Grado de dispersión se observan en la Figura 6.1_219

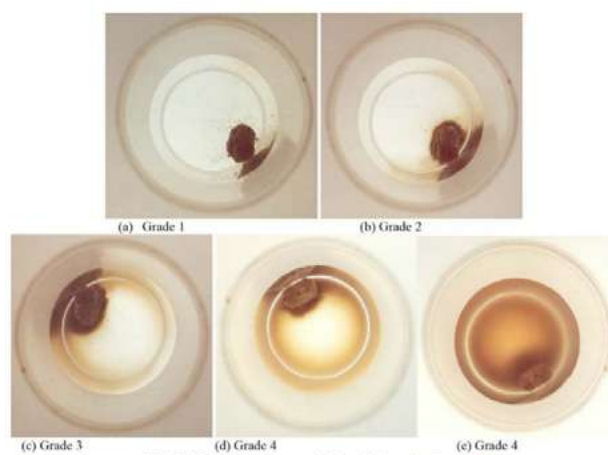


Figura 6.1_219. Especímenes de suelos elaborados para el Ensayo Crumb y sus respectivas asignaciones del Grado de Dispersión.

6.1.6.4.4. INFORME DEL ENSAYO

1. En la normativa vigente se encuentra una planilla de ejemplo para presentar el informe de este ensayo, sin embargo, se describe brevemente lo que debe contener a continuación:
2. Nombre del proyecto y, si se conoce, la ubicación del proyecto.
3. Codificación, número de muestra, profundidad, color y clasificación visual estimada del tipo de material.

4. Nombre o iniciales de la persona que realiza la prueba y fecha de la prueba.
5. Método utilizado, A o B.
6. Contenido de agua de la muestra en % y el estado cualitativo (in situ, como se recibió o si fue secado al aire).
7. Si se agregó agua destilada adicional para formar el cubo como se describe en el Método B.
8. Identificación de la muestra de ensayo.
9. Identificación del recipiente de la muestra, si la hubiera.
10. Temperatura inicial del agua
11. Hora de inicio de la prueba (hh: mm: ss)
12. Lecturas del número de grado, temperatura y tiempo.
13. Clasificación del grado de dispersión de la (s) muestra (s) de prueba como:
14. No dispersivo, intermedio, dispersivo o altamente dispersivo.

Si lo desea, fotografías de la(s) muestra(s) de prueba tomadas en las diferentes lecturas de tiempo o solo en la lectura de 6 horas \pm 45 min.

SECCION 6.1.6.5.

EVALUACIÓN DEL GRADO DE DISPERSIÓN DE ARCILLAS DISPERSIVAS A PARTIR DE ENSAYOS QUIMICOS (ICOLD BULLETIN 77 NBR² 13603)

Dispersive soils in embankment dams. International Commission on Large Dams, Paris. Bulletin 77.

² Associação Brasileira de Normas Técnicas

6.1.6.5.1. OBJETO

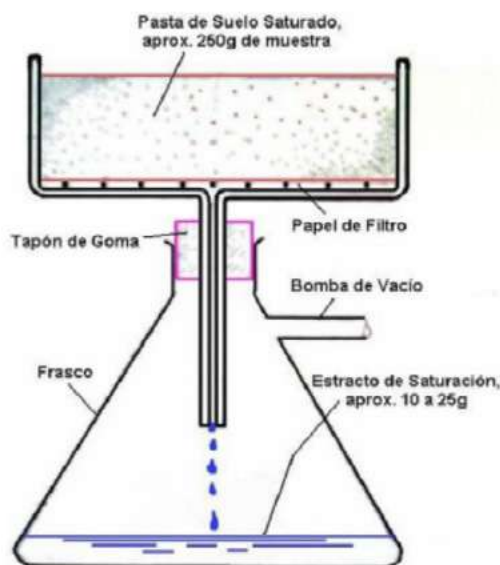
Esta Norma prescribe el método para evaluar el grado de dispersión de suelos arcillosos por medio de ensayos químicos en una muestra de agua intersticial de arcilla, determinando las cantidades de los principales cationes metálicos presentes en la solución extraída de la muestra de suelo.

6.1.6.5.2. PREPARACIÓN DEL ESPÉCIMEN

1. Tomar una cantidad suficiente de una fracción representativa de la muestra, en su humedad natural, y añadir agua destilada hasta que el material quede cerca de su límite de liquidez, lo que debe ser verificado.
2. Acondicionar la muestra así preparada en una bolsa de plástico sellada y mantener en reposo hasta el día siguiente, de forma que se establezca el equilibrio en el sistema suelo-agua.

Hacer el montaje, para extracción del agua intersticial, como se muestra en la Figura 6.1_220. Con ayuda de una cuchara, esparcir la muestra sobre el papel filtro en el interior del embudo de Büchner, presionándola ligeramente para minimizar la ocurrencia de vacíos. El espesor de la capa así formada debe ser de aproximadamente 2 cm.

Figura 6.1_220. Esquema del aparato utilizado para la obtención del extracto de saturación de la muestra de suelo.



Recogido el volumen necesario de agua intersticial extraída de la muestra del suelo, almacenarlo en un recipiente plástico bien sellado. Si el volumen recogido de la primera

porción no ha sido suficiente, repetir las operaciones, con una nueva porción, hasta obtener el volumen de agua necesario.

El agua intersticial debe someterse al análisis químico, preferentemente por espectrofotometría de absorción atómica, para determinar las cantidades de los cationes de calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na) y potasio (K) presentes en la solución.

6.1.6.5.3. INFORME DEL ENSAYO

- El informe de este ensayo debe contener:
- Cantidad total de sales disueltas (TSD) con tres decimales significativos, expresados en meq/litro
- Porcentaje de Sodio, con aproximación de 0,1%
- Presentar el valor de *Sodium Adsorption Ratio* – SAR, Razón de adsorción de sodio con tres decimales significativos, expresados en meq/litro
- Mencionar la metodología utilizada para la determinación de los cationes, en caso de que no sea utilizada la técnica de espectrofotometría de absorción atómica.
- Presentar la caracterización táctil-visual de la muestra de suelo
- Presentar el pH de la muestra de suelo

Hacer referencia de la Normativa utilizada.

CAPITULO 6.1.7.

MODIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON MEZCLAS DE SUELO – CAL, CON ÉNFASIS EN LA REGIÓN OCCIDENTAL O CHACO.

SECCION 6.1.7.1.

RESISTENCIA DE MEZCLAS DE SUELO CAL (AASHTO T220)

6.1.7.1.1. OBJETO

Este método se refiere a la determinación de la resistencia a la compresión inconfiada de mezclas de suelo estabilizado con cal, donde existan suelos de difícil compactación como se encuentran en la región occidental del país.

Nota 1: *Generalmente una resistencia inconfiada de 690 kPa (100 psi) es satisfactoria para la capa final en bases y es deseable que los materiales para dichas capas contengan un mínimo, del 50% retenido en el tamiz de 425 μm (N°40) antes del tratamiento. Diferentes clases de suelo pueden tratarse para subbase y, en tales casos, la resistencia mínima sugerida para la compresión inconfiada es de 345 kPa (50 psi). (Véase norma S0707).*

6.1.7.1.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A. EQUIPOS

- Pisón automático, que es un dispositivo de compactación con placa de base para sostener moldes de 152 mm (6") de diámetro interior, equipado con un pisón de 4,5 kg (10 lb) y una altura de caída ajustable. La caída del pisón será de 457 mm (18"), y la cara con la cual golpea será un segmento de 40°, de un círculo de 76 mm (3") de radio.

Deberá suministrarse el pisón automático con una placa base extra para sostener el molde durante el alistamiento de la parte superior del espécimen.

- Molde de compactación con collar removible de 152 mm (6") de diámetro interior, y 215 mm (8½") de altura.
- Dispositivo de medida para la altura del espécimen, consistente en un dispositivo dial micrométrico con un juego normal de bloques espaciadores.
- Balanza de 18,1 Kg. (40 lb.) de capacidad, con precisión de 0,0005 Kg. (0.001 lb.).
- Prensa hidráulica, para sacar por extrusión los especímenes del molde.
- Horno para el secamiento, controlado desde $60 \pm 5^\circ\text{C}$ ($140 \pm 9^\circ\text{F}$) hasta $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$).
- Bandejas metálicas, anchas y poco profundas, para mezclar y secar materiales, y recipientes rectangulares de acero inoxidable de aproximadamente 230 x 405 x 57 mm de profundidad (9" x 16" x 2/4"), equipados con placas porosas espaciadoras.
- Piedras porosas circulares ligeramente menores de 152 mm (6") de diámetro y de 51 mm (2") de altura.
- Celdas axiales, constituidas por cilindros livianos de acero inoxidable de 171 mm (6 3/4") de diámetro interior y de 305 mm (12") de altura, con válvula normal de aire continua, con membrana tubular de caucho de 152 mm (6") de diámetro.

- Bomba para vacío, de 20 a 35 litros por minuto, (l/min.) o aspirador.
- Compresor de aire, de 4,7 a 7,1 litros por segundo (l/seg) (10 a 15 pies cúbicos por minuto) con tanques de almacenamiento de 227 litros (60 galones) y controles reguladores de presión (manómetros y válvulas).
- Cámara húmeda equipada con estantes y un suministro de presión constante de aire.
- Deformímetro micrométrico con dial hasta 0,02 mm (0.001") con soporte para medir la deflexión del espécimen.
- Una provisión de pesas guías para sobrecarga, de 2¼ y 4½ kg (5 y 10 lb).
- Anillos de carga calibrados u otros dispositivos para medir fuerza continua, de acuerdo con la **AASHTO T 67**. Verificación de máquinas de ensayo, excepto que se tolera un error de más o menos el 2%.
- Dispositivo de medida para la circunferencia, tal como una cinta metálica.
- Prensa y dispositivo con gato de tornillo u otra prensa adecuada para ensayo, con su dial y con dos bloques de carga.
- Tamices con aberturas cuadradas, de 75 mm (3"), 63 mm (2 ½"), 50 mm (2"), 45 mm (1 ¾"), 31,5 mm (1 ¼"), 22,4 mm (7/8"), 16 mm (5/8"), 12,5 mm (1/2"), 9,5 mm (3/8"), 4,75 mm (N° 4), 2,00 mm (N° 10), 0,850 mm (N° 20) y 0,425 mm (N° 40).
- Pulverizador mecánico ajustable a la luz del plato de rotación.
- Agitador mecánico para tamices, un agitador mecánico de laboratorio para tamices de 0,14 litros (½ pie³) es conveniente, pero no absolutamente necesario, para separar material para volver a combinar especímenes.
- Una provisión de pequeñas herramientas y accesorios tales como un mortero metálico con borde de madera, pisón metálico forrado con caucho, martillo de cuero, espátulas, cucharas, palustres, tubos de sifón, recipientes para muestras, cajas de cartón, papeles de filtro de 510 por 510 mm (20 x 20").

B. MATERIALES

- Una provisión de cal.
- Agua de buena calidad.

6.1.7.1.3. PREPARACIÓN DEL SUELO

1. Escójase un mínimo de 91 Kg. (200 lb.) de muestra representativa para ensayo.
2. Extiéndase la muestra sobre un piso seco y limpio para secarla al aire libre o mediante corrientes forzadas de aire caliente.
3. Los grumos o terrones duros de arcilla, en suelos que no contengan cantidades apreciables de partículas gruesas deberán triturarse de manera que pasen por el tamiz de 2,00 mm (N°10) sin romper las partículas gruesas. El resto deberá pasarse sobre el tamiz de 850 µm (N°20) y deberán determinarse los porcentajes retenidos y que pasan dicho tamiz.

4. Arcillas y otros suelos que contengan partículas gruesas deberán disgregarse para que pasen por el tamiz de 4,75 mm (N°4) sin romper las partículas gruesas. Podrá efectuarse esto mediante un martillo plástico, o un martillo cubierto con caucho, o por medio de herramientas manuales similares.
5. El material deberá separarse luego en la siguiente forma:
6. Materiales con partículas gruesas (piedra triturada, grava, arena y caliche), deberán tamizarse en seco sobre los siguientes tamices: 45 mm (1 3/4"), 31,5 mm (1 1/4"), 22,4 mm (7/8") 16 mm (5/8"), 9,5 mm (3/8"), 4,75 mm (N°4) y 2 mm (N°10), para separar los diferentes tamaños del material.
- g. Recójase todo el material que pase el tamiz de 2 mm (N°10). El material que pase el tamiz de 45 mm (1 3/4") se emplea para elaborar especímenes. Mézclase sobre el piso, todo el material menor de 2 mm (N°10) hasta que quede uniformemente mezclado con respecto al color, apariencia y contenido de humedad.
8. Pésese el material de cada fracción y calcúlense los porcentajes acumulados retenidos sobre cada tamiz y el porcentaje que pasa el tamiz de 2,00 mm (N°10). Estos valores no se emplean como datos del análisis granulométrico verdadero, sino que se usan para recombinar porciones que aseguren la gradación uniforme dentro de cada espécimen.
9. Sobre la base de porcentajes acumulados sobre tamices, obtenidos en el numeral 3, calcúlense y pésese 4,5 Kg. (10 lb.), de muestras representativas para un análisis granulométrico y determinación de los límites. Esta muestra de 4,5 Kg. (10 lb.) se prepara para ser ensayada por el **Método** 6.1.2.5. No deberá emplearse rodillos, tornos ni dispositivos que puedan alterar las partículas gruesas. Después de la preparación de la muestra mediante el método húmedo, se efectuarán los siguientes ensayos:
 - Análisis granulométrico.
 - Límite líquido.
 - Límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP).

6.1.7.1.4. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE CAL

10. Entrese con el índice de plasticidad y con el porcentaje que pasa por el tamiz de 425 µm (N°40), determinado en el punto "Preparación del suelo", del suelo no tratado, en la **Figura 6.1_221** y determínese el porcentaje que debe agregarse al suelo.

6.1.7.1.5. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO MÁXIMO Y DE LA HUMEDAD ÓPTIMA

11. Determínese el porcentaje de humedad higroscópica del suelo a partir de una muestra representativa usando el **Método** 6.1.3.1. Estímese el peso de material secado al aire que, cuando se humedezca y compacte, llene el molde de 152 mm (6") de diámetro interior hasta una altura de 203,2 mm (8").

Empleando este peso estimado y la granulometría secada al aire, calcúlense los pesos acumulados de cada tamaño para combinarlos y formar el espécimen de 152 mm (6") de diámetro y 203,2 (8") de altura. La cantidad de cal que se empleará, será el porcentaje del punto "Determinación del porcentaje de Cal", y se basa en el peso unitario seco del suelo.

12. Pése el material que se calculó en el numeral 10. Manténgase la fracción de partículas gruesas separadas de (1) el material que pasa tamiz de 2 mm (N° 10) para bases flexibles, y (2) los terrones de arcilla y lo que pasa el tamiz de 0,85 mm (N° 20) para materiales finos.
13. Calcúlese el peso de agua que debe agregarse con base en el peso seco del suelo y pése en un recipiente tarado.
14. Para preparar la mezcla de suelo cal para el ensayo de humedad peso unitario, pése la cal con la porción de material que pasa por el tamiz de 2,00 mm (N° 10). Humedézcase la porción mayor de 2 mm con parte o con toda la cantidad de agua pesada (dependiendo de la humedad que tenga la porción de material mayor de 2 mm; agítense y humedézcanse las partículas gruesas completamente. Déjese asentar hasta que el agua libre de la superficie haya sido absorbida.

Nota 2: *En suelos arcillosos o de grano fino, sepárese el material sobre el tamiz de 850 μm (N°20). Mézclense proporcionalmente las cantidades aproximadas de cal que se van a emplear para ambas fracciones. Riéguese el agua de mezcla sobre la fracción mayor de 850 μm (N°20), empleando parte o toda la cantidad del agua requerida. Agréguese la fracción menor de 850 μm y el resto de agua si la hubiere. Mézclense completamente y moldéese como se indicará.*

15. Vacíese el material que pasa por tamiz de 2 mm (N°10) o el de 850 μm (N°20), sobre la fracción húmeda de la muestra y distribúyase. Usando un palustre, mézclense hasta lograr uniformidad.

Cuidando de no perder material, manténgase la bandeja de mezcla cubierta, para evitar pérdida de agua por evaporación. Para conseguir una distribución uniforme e ideal en suelos arcillosos, pásese el material por un tamiz de 6,30 mm ($\frac{1}{4}$ ”).

16. Calcúlese y pése el material requerido para una capa. Este deberá ser $\frac{1}{4}$ de peso de la mezcla húmeda. Colóquese esta capa en el molde usando espátulas, a mano, o con herramientas especiales, evitando la segregación de las partículas gruesas o de los finos. En materiales para bases o en otros materiales con partículas gruesas, colóquense algunos finos en exceso, en una primera capa de alrededor de 12,7 mm (0.5”) de espesor, flojamente sobre el fondo de la superficie plana y empíese luego con las partículas grandes, disminuyendo tamaños, hasta terminar con finos para asegurar una capa densa. En las capas sucesivas, se requiere un espesor suelto de finos menor que en la primera capa.

Este procedimiento asegura fondo cerrado para cada capa. Nivélase la capa a mano o con espátula y compáctese empleando un esfuerzo de compactación de 50 golpes ajustados exactamente a 457 mm (18”) de caída con el martillo en 4,5 Kg. (10 lb.). Manténgase la cara del martillo limpia de material pegajoso o adherido, repítase esto hasta que las cuatro capas estén compactadas.

17. Después de que la última capa haya sido compactada, asegure el molde que contiene el espécimen, sobre la placa de base extra y alísese la parte superior por medio de herramientas manuales, tales como un cuchillo o una regla, un mazo plástico, una placa circular de acero con superficie plana pulida. Úse un nivel de mano para comprobar que la superficie del espécimen es plana y que está a nivel con la parte superior del molde que la forma. No debe recortarse el espécimen.

Después de que la capa final haya sido compactada y de que se le haya dado el acabado manual del espécimen, deberán aplicarse los golpes (con martillos manuales), que a continuación se indican para completar el acabado.

18. Remuévase el molde de la placa de base, pése el espécimen en el molde con precisión de 0,5 g (0.001 lbs) y mídase la altura con precisión de 0,0245 mm (0.001"). Anótense los datos.
19. Céntrese cuidadosamente el espécimen sobre una piedra porosa y colóquese en la prensa para sacar por extrusión el espécimen moldeado. Empújese sobre la piedra del fondo y hacia arriba del molde.
20. Colóquese el espécimen en una cazuela grande tarada, rómpase a mano el material, o empleando herramientas manuales convenientes y séquese en el horno hasta peso constante a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 41^\circ\text{C}$).
21. Si fuere necesario, ajústese el peso del material para obtener una altura de 203 mm (8") en el espécimen, varíese la cantidad de agua de moldeo y repítanse las operaciones de arriba empleando bachadas individuales para cada espécimen con el fin de obtener varios puntos para una buena curva de humedad peso unitario.

Determínese la humedad óptima y el peso unitario máximo para la mezcla de suelo-cal.

6.1.7.1.6. COMPACTACIÓN DEL ESPÉCIMEN DE ENSAYO

22. Compáctense 3 especímenes de 152 mm (6") de diámetro y de 203 mm (8") de altura con el contenido de humedad óptimo y con el peso unitario hallado en el punto "Procedimiento para la determinación del peso unitario máximo y de la humedad óptima". Los especímenes de suelo tratado con cal para sub-rasante o para bases flexibles deberán compactarse en una forma tan idéntica, como sea posible. Los datos para estos especímenes así como los obtenidos en los siguientes procedimientos de ensayo deberán registrarse.

6.1.7.1.7. CURADO PARA LOS ESPÉCIMENES DE ENSAYO

23. Inmediatamente después de sacar por extrusión el espécimen del molde con la piedra porosa del fondo, colóquese dentro de una celda triaxial. Almacénense los especímenes a la temperatura ambiente durante 7 días.
24. Después del curado húmedo, retírense las celdas y colóquense los especímenes en un secador de aire a una temperatura que no exceda de 60°C (140°F) por aproximadamente 6 horas o hasta que $1/6$ de la humedad de moldeo haya sido removida. Todos los suelos tratados con cal se secan de esta forma, aún cuando ocurra un considerable agrietamiento. Déjense enfriar las muestras por lo menos durante 8 horas antes de continuar con el ensayo.
25. Pése y mídense los especímenes y sométanse a capilaridad durante 10 días mediante el método que se describe a continuación.

6.1.7.1.8. SOMETIMIENTO DE LOS ESPÉCIMENES DE ENSAYO A CAPILARIDAD

26. Los especímenes son sometidos a capilaridad durante 10 días en la siguiente forma:
27. No deben removerse las piedras porosas de los especímenes hasta después de que éstos hayan sido ensayados. Córtese una pieza de papel de filtro, de 250 por 500 mm (10 x 20") de tamaño, dóblese hasta 125 por 500 mm (5 x 20") y efectúense algunos cortes con tijeras (a la manera de una calabaza cortada que remede una cabeza). Estos cortes evitarán cualquier restricción por medio del papel. Envuélvase el papel de filtro alrededor del espécimen

y de las piedras y asegúrese con una pequeña pieza de cinta de celofán. Reinstálese la celda triaxial.

28. Colóquense los especímenes dentro de las bandejas rectangulares proporcionadas para absorción capilar y ajústese el nivel del agua sobre las piedras porosas hasta una altura de 12,7 mm ($\frac{1}{2}$ ") por debajo de fondo de los especímenes.
29. Conéctese cada celda a la fuente de aire y ábrase la válvula para aplicar una presión lateral constante de 6,89 kPa (1 psi). Manténgase constante esta presión durante el período de absorción.
30. Colóquese una sobrecarga de control adecuada (la cual dependerá del uso propuesto o de la ubicación del material en la carretera), sobre la piedra porosa superior. Para bases flexibles empléese 35,2 kg/cm² ($\frac{1}{2}$ lb/pulgada²) y para sub-rasantes empléese 70,2065 kg/cm² (1 lb/pulgada²) del área del extremo del espécimen. Considérese el peso de la piedra porosa superior como parte del peso de sobrecarga.

6.1.7.1.9. PREPARACIÓN DE LOS ESPECÍMENES PARA ENSAYO

31. Los especímenes que se someten a 10 días de capilaridad deberán prepararse en la siguiente forma:

- a) Desconéctese la manguera de aire de la celda, remuévase el peso de sobrecarga y devuélvanse los especímenes al laboratorio para ensayo.

- b) Úsese un vacío y desínflese la membrana de caucho para ayudar a la remoción de la celda de los especímenes y deséchese el papel de filtro. Si alguna cantidad de material apreciable se adhiere al papel, presiónese cuidadosamente éste dentro de los huecos disponibles a lo largo de los lados del espécimen.

- c) Pénsense los especímenes y anótense sus pesos totales después de la absorción por capilaridad.

Nótese que el peso húmedo de las piedras se obtiene después de que los especímenes sean ensayados.

- d) Mídase la circunferencia de cada espécimen por medio de una cinta metálica. Mídase la altura del espécimen incluyendo las piedras, y anótense en el formato, como altura sobre las piedras.

A. REGÍSTRESE EL PESO DE CADA PIEDRA.

32. Especímenes que se mantengan durante la noche en celdas, deberán prepararse de la siguiente forma:

- a) Empléese un vacío y desínflese la membrana de caucho para ayudar a la remoción de la celda de los especímenes. Cualquier material que cuelgue de la membrana presiónese hacia atrás dentro de los huecos disponibles laterales y guárdese para colocarlo en el espécimen cuando esté seco.

- b) Mídase el espécimen como en el primer párrafo y reemplácese la celda.

6.1.7.1.10. ENSAYO DE ESPECÍMENES

33. En resumen, los especímenes son ensayados a compresión mientras están sometidos a la presión lateral constante asignada. La prensa motorizada se gradúa para que tenga un re-

corrido a una tasa de 3,3 a 3,8 mm (0.13 a 0.15") por minuto. Deberán tomarse lecturas simultáneas de carga y deformación a intervalos de deformación de 0,25 mm (0.01"), hasta que falle la muestra.

34. Se libera el mecanismo de transmisión de la prensa y se baja el émbolo suficientemente para permitir la colocación del espécimen, los bloques metálicos de carga y el dial del deformímetro.
35. Céntrese el espécimen con los bloques metálicos de carga en la parte superior e inferior de la prensa. Ajústese el deformímetro de tal manera que se apoye contra el centro del bloque espaciador superior y comprimiéndolo casi toda la longitud del recorrido del vástago. El deformímetro debe colocarse en esta posición puesto que el espécimen se mueve hacia afuera durante la compresión. Colóquese el dial del deformímetro en cero.
36. Colóquese la carcaza acampanada sobre el medidor de deformación y ajústese de tal manera que no toque el medidor ni sus soportes. Debe notarse en este punto que el esfuerzo de compresión necesariamente será aplicado en dirección de una línea vertical a través del centro de la bola que se monta en la parte superior de la carcaza acampanada. Ya que es deseable aplicar la fuerza de compresión a lo largo del eje vertical del espécimen de ensayo, desvíese lateralmente la carcaza acampanada, para llevar directamente la bola sobre el eje del espécimen. Levántese la prensa por medio del motor, alinéese y asiéntese la bola colocada sobre la carcaza acampanada dentro de la cuenca del anillo de carga. Luego, aplíquese suficiente presión para obtener una lectura perceptible sobre el manómetro del anillo de carga. Léase el deformímetro y anótese esa lectura, como deformación bajo carga muerta.
37. Conéctese la línea de aire a la celda axial y aplíquese presión lateral al espécimen. Las presiones laterales empleadas para una serie de ensayos son 0, 21, 34, 69, 103 y 138 kPa (0, 3, 5, 10, 15 y 20 psi). En los casos en los cuales la carga o el esfuerzo sean tan altos como de 1,207 a 1,241 kPa (175 a 180 psi) para los especímenes ensayados a presiones laterales de 104 kPa (15 psi), empléense 48 kPa (7 psi) en lugar de 138 kPa (20 psi) para el último espécimen. La presión lateral aplicada mediante aire tenderá a cambiar la lectura inicial del deformímetro.

A medida que se ajuste la presión del aire, iníciase momentáneamente el motor para comprimir el espécimen hasta que el deformímetro lea lo mismo que se anotó según el numeral 33. Léase el manómetro del anillo de carga y anótese este valor en la columna de carga, enfrentado a la lectura de deformación inicial.

38. Acciónese el motor y léase la lectura del anillo de carga cada 0,25 mm (0.01") de deformación del espécimen. Continúese hasta que se hayan tomado un mínimo de 60 lecturas, a menos que antes ocurra la falla. La falla se produce cuando la lectura del anillo de carga permanece constante o cuando disminuye con incrementos posteriores de deformación. Al ensayar especímenes con partículas gruesas, el deslizamiento y corte de las partículas gruesas ocasionará disminuciones temporales en las lecturas del anillo de carga. El ensayo deberá continuarse hasta que se haya alcanzado la falla verdadera. Después de 60 lecturas, la sección transversal del espécimen se ha aumentado de tal manera que un incremento pequeño subsiguiente de la lectura de carga, es poco mayor que el incremento en la tensión de la membrana que actúa como presión lateral.
39. Todos los procedimientos descritos arriba se aplican al espécimen confinado, excepto que no se usa aire ni celda axial. Para materiales que contienen una gran cantidad de partículas gruesas, compáctense y ensáyense dos especímenes con una presión lateral de cero (0). Empléese el promedio de los resultados de los ensayos, a menos que aparezcan piedras grandes que hayan creado puntos de apoyo; en este caso úsese el valor más alto.

6.1.7.1.11. CÁLCULOS

Obtención del peso seco de especímenes y piedras.

El espécimen y las piedras porosas se retiran de la celda sobre una bandeja tarada para secado. Empléese una espátula para limpiar el material del interior de la celda y de las piedras porosas. Rómpace el espécimen en la bandeja para secar teniendo cuidado de no perder nada del material y colóquesele una tarjeta de identificación.

Séquese el material hasta peso constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$) y determínese el peso seco.

Cuando los especímenes hayan sido sometidos durante la noche a capilaridad, pénsese las piedras húmedas, séquense a 60°C (140°F) hasta peso constante y anótense dichos pesos.

Calcúlese el volumen en metros cúbicos (pies cúbicos) para una altura de 25,4 mm (1") de molde, en la siguiente forma:

$$V = \frac{\text{Área del molde en mm}^2 (\text{pulg}^2) \times 25,4 \text{ mm (a pulg)}}{1000 (1728)}$$

Calcúlese el volumen de los especímenes como fueron moldeados, multiplicando el valor obtenido en el párrafo anterior por la altura del espécimen.

Calcúlese el peso unitario seco en la siguiente forma:

$$\text{Peso unitario seco} = \frac{\text{Peso seco del espécimen}}{\text{Volumen del espécimen}}$$

Calcúlese el esfuerzo de compactación para una capa de 50,8 mm (2") expresada en N-m (lb-pie/pie³).

$$\text{Esfuerzo de compactación} = \frac{N^\circ \text{ golpes} \times \text{peso del martillo} \times \text{caída del martillo}}{\text{Volumen de la capa del material}}$$

Multiplíquese por 1728 para obtenerlo en lb.-pie/pie³

Calcúlese el porcentaje de humedad de moldeo en la siguiente forma:

$$\text{Humedad de moldeo \%} = \frac{\text{Peso espécimen húmedo} - \text{peso espécimen seco}}{\text{peso del espécimen seco}} \times 100$$

Calcúlese el porcentaje de humedad después de que los especímenes han sido sometidos a capilaridad empleando la fórmula:

$$R_c = \frac{W_a - W_b - W_d}{W_d} \times 100$$

Donde

Wa = Peso húmedo del espécimen y de las piedras después de la capilaridad.

Wb = Peso húmedo de las piedras.

Wd = Peso seco del espécimen.

Calcúlense los valores de esfuerzos y deformaciones para cada espécimen individual a partir de las relaciones siguientes:

$$S = \frac{d}{h} \times 100$$

Donde

S = Porcentaje de deformación.

d = Deformación vertical total en el instante dado.

h = Altura del espécimen medido después de que éste se ha removido de la capilaridad.

$$p = \frac{P}{A} \times \left(1 - \frac{S}{100}\right)$$

Donde:

p = Esfuerzo vertical unitario corregido. Se hace necesaria la corrección a causa de que el área de la sección transversal aumenta a medida de que el espécimen se reduce en altura. El supuesto hecho es que el espécimen se deforma a un volumen constante.

P = Carga vertical total sobre el espécimen para una deformación dada. Es igual a la suma de la carga aplicada medida por el anillo de carga, más el peso muerto de la piedra porosa superior, el bloque de carga y la carcasa del dial.

A = Área extrema del espécimen cilíndrico al comienzo del ensayo.

Dibújese una curva de humedad peso unitario.

6.1.7.1.12. INFORME

Infórmense los valores de la resistencia a la compresión inconfiada, el peso unitario, la humedad, y contenido de cal.

Empléese el promedio de los valores de los tres especímenes de ensayo, cuando se reportan los resultados del ensayo de compresión inconfiada.

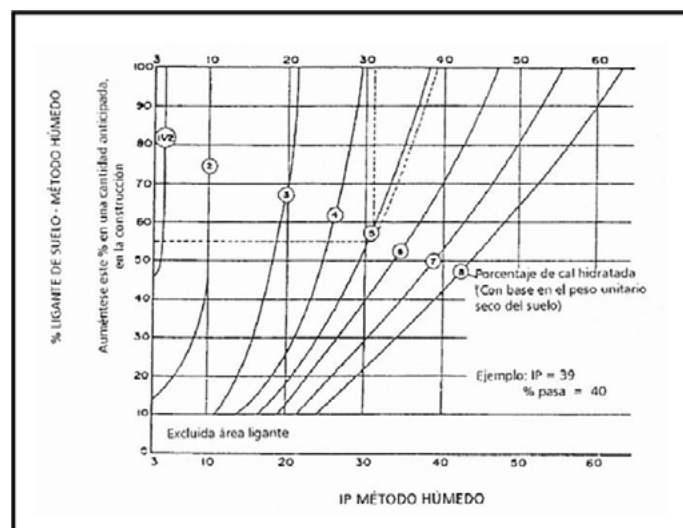


Figura 6.1_221. CANTIDADES DE CAL PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUB-RASANTES Y BASES

SECCION 6.1.7.2.

DETERMINACIÓN POR TITULACIÓN DEL CONTENIDO DE CAL EN SUELOS TRATADOS CON CAL (AASHTO T232)

6.1.7.2.1. OBJETO

En esta norma se describe un método de ensayo para determinar el porcentaje de cal en suelos o áridos que han sido tratados con cal hidratada. Se basa en la neutralización continua de una solución acuosa, a partir de un espécimen tratado con cal por un tiempo especificado. Esto se logra añadiendo la cantidad de ácido apenas suficiente para neutralizar la cal, la cual está siendo continuamente disuelta durante el ensayo. La cantidad de ácido usada es directamente proporcional al contenido de cal del espécimen.

6.1.7.2.2. EQUIPOS Y MATERIALES

1. Bureta de titulación de 100 ml, u otro dispositivo que permita, la adición lenta y fácilmente controlada del ácido, con soporte y abrazadera.
2. Diez (10) recipientes de polietileno, de boca ancha, de 1,9 litros de capacidad (2 cuartos). (Blancos)
3. Dos garrafones plásticos, de 18,9 litros de capacidad (5 galones), equipados con sifones, tubería de neopreno, abrazaderas para mangueras, etc., para suministrar la solución ácida de trabajo y el agua.
4. Botella gotero de vidrio (o plástica).
5. Cuatro varillas agitadoras, de acero inoxidable o de otro material adecuado.
6. Tamices de 37,5 mm (1½") y 9,5 mm (3/8").

Nota 1: A pesar de que los tamices colocados en los marcos de 203 mm (8") son satisfactorios, un tamiz de 9,5 mm (3/8") colocado en un marco de 305 mm (12") puede ser más adecuado para separar la muestra de campo. (Véanse numerales 18 y 35).

7. Balanzas, una con capacidad de 5 Kg. y precisión de 1 g y otra con capacidad de 2 kg y precisión de 0,1 g.
8. Cuatro recipientes de plástico que tengan una capacidad mínima de 500 ml.
9. Un recipiente de vidrio de 200 ml.
10. Cuatro probetas graduadas de 50 ml.
11. Luz fluorescente, proporcionada con un tubo de 915 mm (36") de largo, o por dos de 457 mm (18") de largo.

A. REACTIVOS

12. Acido clorhídrico (HCl) (aproximadamente 3N)

Viértanse lentamente los contenidos de 2 botellas estándar de 6 lb de ácido clorhídrico (HCl) concentrado y certificado, en uno de los garrafones de 5 galones, y dilúyanse hasta 5 galones con agua potable.

Solución indicadora de fenolftaleína (solución al 1%)

13. Disuélvanse 5 g de fenolftaleína (U.S.P.) en 250 ml de alcohol etílico al 95% . Dilúyase con 250 ml de agua destilada.

14. Solución NP-10

Mézclense 0,5 g de polvo “Separan” NP-10 (producto de fabrica de la Dow Chemical Company), con 100 ml de agua destilada en un beaker de vidrio. Agítese frecuentemente y permítase reposar hasta que no se vean precipitados. Prepárese una solución fresca cada semana.

6.1.7.2.3. MATERIALES PARA LOS ESPECÍMENES DE CALIBRACIÓN

15. Deberán ensayarse dos especímenes con un contenido de cal 1% menor que el proyectado, y dos especímenes con un contenido de cal 1% mayor que el proyectado; los datos se usarán en la preparación de una curva de calibración de la titulación de la cal. En la preparación de los especímenes de calibración deberán utilizarse los mismos áridos, cal y agua que van a ser usados en el proyecto. La humedad de los especímenes deberá ser representativa de la que será usada para el material tratado con cal en el proyecto.

16. De la **Tabla 6.1_43**, selecciónese el peso de agregado que corresponde al contenido de cal y a la humedad apropiada. Este será el peso del agregado seco no tratado requerido para preparar los especímenes de calibración de 300 gramos. Si la muestra de agregado no tratado contiene inicialmente agua, ajústese el peso del agregado húmedo para que proporcione el peso correcto del material seco. En consecuencia, se hace también una corrección al agua que se mide según el numeral 20, debido a la cantidad de agua que contiene el agregado húmedo.

Tabla 6.1_43. CANTIDAD DE MATERIAL PARA LAS ESPECIFICACIONES DE ALIBRACIÓN SEGÚN EL PORCENTAJE DE CAL

Humedad (%)	Aguamil	1% Cal		2% Cal		3% Cal		4% Cal		5% Cal		6% Cal		7% Cal	
		Agreg. Peso seco (g)	Cal (g)	Agreg. Peso seco (g)	Cal (g)	Agreg. Peso seco (g)	Cal (g)	Agreg. Peso seco (g)	Cal (g)	Agreg. Peso seco (g)	Cal (g)	Agreg. Peso seco (g)	Cal (g)	Agreg. Peso seco (g)	Cal (g)
5	14	283	2,8	280	5,6	278	8,3	275	11	272	13,6	270	16,2	267	18,7
6	17	280	2,8	277	5,5	272	8,2	272	10,9	270	13,5	267	16	264	18,5
7	20	277	2,8	275	5,5	270	8,2	269	10,8	267	13,4	264	15,9	262	18,3
8	22	275	2,8	272	5,5	269	8,1	267	10,7	265	13,2	262	15,7	260	18,2
9	25	272	2,7	270	5,4	267	8	264	10,6	262	13,1	259	15,6	257	18
10	27	270	2,7	268	5,4	265	8	262	10,5	260	13	258	15,5	255	17,9
11	30	268	2,7	265	5,3	262	7,9	260	10,4	257	12,9	255	15,3	252	17,7
12	32	265	2,7	263	5,3	260	7,8	258	10,3	255	12,8	253	15,2	250	17,5
13	34	262	2,6	260	5,2	257	7,7	255	10,2	252	12,6	250	15	248	17,3
14	37	260	2,6	258	5,2	255	7,7	253	10,1	250	12,5	248	14,9	246	17,2
15	39	258	2,6	256	5,1	253	7,6	251	10	249	12,4	246	14,8	244	17,1
16	41	256	2,6	254	5,1	251	7,5	249	10	247	12,3	244	14,6	252	17,7
17	44	253	2,5	251	5	249	7,5	246	9,9	244	12,2	242	14,5	250	17,5
18	46	252	2,5	249	5	247	7,4	244	9,8	242	12,1	240	14,4	248	17,3
19	48	250	2,5	247	4,9	245	7,3	242	9,7	240	12	238	14,3	246	17,2
20	50	248	2,5	245	4,9	243	7,3	240	9,6	238	11,9	236	14,2	244	17,1
21	52	246	2,5	243	4,9	241	7,2	238	9,5	236	11,8	234	14	232	16,2
22	54	244	2,4	241	4,8	239	7,2	236	9,4	234	11,7	232	13,9	230	16,1
23	56	242	2,4	239	4,8	237	7,1	235	9,4	232	11,6	230	13,8	228	16

24	58	240	2,4	237	4,7	235	7,1	233	9,3	230	11,5	228	13,7	226	15,8
25	60	238	2,4	235	4,7	234	7	231	9,2	229	11,4	226	13,6	224	15,7
26	62	236	2,4	233	4,7	231	6,9	229	9,2	227	11,4	225	13,5	222	15,6
27	64	234	2,3	231	4,6	229	6,9	229	9,1	225	11,3	223	13,4	221	15,5
28	66	232	2,3	229	4,6	227	6,8	225	9	223	11,2	221	13,3	219	15,3
29	68	231	2,3	228	4,6	226	6,8	224	9	222	11,1	220	13,2	218	15,3
30	69	229	2,3	226	4,5	224	6,7	222	8,9	220	11	218	13,1	216	15,1
31	71	227	2,3	225	4,5	222	6,7	220	8,8	218	10,9	216	13	214	15
32	73	225	2,3	223	4,5	220	6,6	218	8,7	216	10,8	214	12,8	212	14,8
33	75	224	2,2	222	4,4	219	6,6	217	8,7	215	10,8	213	12,8	211	14,8
34	76	222	2,2	220	4,4	217	6,5	215	8,6	213	10,7	211	12,7	209	14,6
35	78	220	2,2	218	4,4	216	6,5	213	8,5	211	10,6	209	12,5	207	14,5

17. De los registros del proyecto, determínense los porcentajes promedio de agregado no tratado, que pasa el tamiz de 37,5 mm (1 ½") y que es retenido en el tamiz de 9,5 mm (3/8"). Estos porcentajes serán usados para proporcionar los especímenes de calibración.
18. Remuévase y descártese cualquier agregado en la muestra del material no tratado, que sea retenido en el tamiz de 37,5 mm (1 ½") y sepárese la fracción de muestra retenida en el tamiz de 9,5 mm (3/8"). Recómbíñese para lograr el peso de agregado, de los especímenes de calibración duplicados, encontrado en el numeral 16, teniendo en cuenta las proporciones halladas en el numeral 17 del material separado por el tamiz de 9,5 mm (3/8").
19. Selecciónese la cantidad requerida de cal a partir de la **Tabla 6.1_43** y pésese con precisión de 0,5 g.
20. Mídase en una probeta graduada de vidrio la cantidad requerida de agua (corregida como se indica en el numeral 16) en ml, dada en la **Tabla 6.1_43**.

6.1.7.2.4. CURVA DE CALIBRACIÓN

21. Cada operador de ensayo deberá establecer dos curvas de calibración, al menos una vez por día: una para un tiempo de curado de 4 o 5 horas, para usarla en las muestras de campo que son mezcladas completamente y curadas durante el mismo día; y otra para un tiempo de curado de 24 horas, para usarla en las muestras de campo que son ensayadas al día siguiente de ser mezcladas.

Si hay algún cambio en los contenidos de ácido, cal, agregado o agua, deberán establecerse nuevas curvas después de dicho cambio.

Nota 2: Se necesitarán menos correcciones y los resultados serán más precisos, si se utilizan tiempos de curado similares para los ensayos de calibración y para los ensayos en las muestras de campo.

Nota 3: Se establecerá una nueva curva de calibración cuando se prepare una nueva bachada de solución de ácido diluido y cuando la fuente de agregado o de agua sea cambiada. La curva de calibración para cada tiempo de curado deberá ser verificada cuando se sospeche un cambio en las características del espécimen de agregado o del agua de la misma fuente.

22. Para cada espécimen, viértase el agregado pesado y la cal hallados en los numerales 18, y 19 respectivamente, en un recipiente plástico de 1,9 l (2 cuartos de galón) y mézclese cuidadosamente con la varilla agitadora.
23. Adiciónese la cantidad de agua medida en el numeral 20 y mézclese completamente. El momento en el cual el agua es añadida, se considera como el comienzo del período de curado.

24. Colóquense los recipientes de 1,9 l (2 cuartos de galón) en fila sobre la mesa que es usada para el ensayo; déjense así las muestras sin tapar y permitiendo el curado durante los tiempos dados en el numeral 21.
25. Justo antes de que se termine el tiempo de curado establecido, prepárese la solución NP-10 como sigue: detrás de cada espécimen de ensayo, colóquese un beaker plástico en el cual se han vertido 200 ml de agua potable y 50 ml de solución NP-10; también para cada espécimen de ensayo, pésese la probeta graduada, adiciónense a ella 50 ml de solución NP-10 pesada con precisión de 0,1 g y anótese el peso total.
26. Al final del período del curado, el ensayo de neutralización constante se desarrolla como sigue:
- a) Póngase a funcionar el cronómetro y añádase la solución de agua con NP-10 mezclados, al primer espécimen. Añádase el líquido a los siguientes especímenes, en forma sucesiva, a intervalos de 2 minutos.
 - b) Añádase a cada recipiente una cantidad correspondiente a aproximadamente 40 gotas de solución de fenolftaleína. El agua generalmente se torna roja debido a la presencia de la cal.
 - c) Pésese cada recipiente plástico con su contenido con precisión de 0,1 g.
 - d) Colóquese la luz fluorescente detrás de los recipientes plásticos.
 - e) A los 8 minutos después de la adición de la solución de agua con NP-10 al primer espécimen, comiencese a añadir el HCl (3N) a ese espécimen, contenido que ha sido medido en una bureta, mientras que se agita en forma continua. Se deberá añadir apenas suficiente ácido para causar que el color rojo desaparezca.
 - f) En forma similar, añádase ácido a los especímenes siguientes a intervalos de 2 minutos; esto es, a lecturas de cronómetro de 10, 12 y 14 minutos para el segundo, tercero y cuarto espécimen, respectivamente, o de igual manera para la serie de especímenes de ensayo utilizada.
 - g) Cuando comience a reaparecer el color rojo, después de la introducción inicial del ácido, úsese la probeta para hacer una segunda adición del ácido, en la cantidad (ml) necesaria para causar de nuevo que el color apenas desaparezca.

Se harán subsecuentemente cuantas adiciones de ácido sean necesarias para causar que el color apenas desaparezca.

Nota 4: *Precaución.- Agítese en forma lenta. La agitación vigorosa en este momento puede causar que las partículas floculadas se dispersen, haciendo difícil ver el punto final de la adición del ácido.*

- h) Adicionalmente a la agitación hecha durante cada introducción del ácido, deberá agitarse cerca de 3 segundos por cada minuto y aproximadamente 6 segundos por cada 5 minutos, así sea que aparezca color o no. El patrón de agitación deberá componerse de movimientos circulares y de zig zag a través del fondo del recipiente plástico. Procúrese evitar la posibilidad de dejar cualquier depósito de cal no neutralizado, en el centro del recipiente.
- i) Una vez transcurridos 25 minutos después de la adición de la cantidad inicial de solución de agua con NP-10 a la primera muestra, agítese la muestra vigorosamente, añádase los 50 ml restantes de la solución NP-10, (véase el numeral 25) y continúese el ensayo. Repítase este procedimiento con cada uno de los especímenes, dejando un intervalo de tiempo de 2 minutos entre cada dos especímenes. Esto requerirá lecturas de cronómetro

de 27, 29 y 31 minutos, respectivamente, para el segundo, tercero y cuatro espécimen de la serie.

j) Continúese el procedimiento de adición de ácido y de agitación hasta que hayan pasado 38 minutos desde la adición inicial de solución de agua con NP-10 al primer espécimen. Luego, vuélvase a pesar el recipiente plástico y sus contenidos con precisión de 0,1 g. Repítase este procedimiento con cada uno de los especímenes, permitiendo un intervalo de tiempo de 2 minutos entre cada dos especímenes. Esto requerirá lecturas de tiempo de 40, 42 y 44 minutos, respectivamente, para el segundo, tercero y cuarto espécimen de la serie.

k) Usando la diferencia entre peso inicial (sección 26.c-) más el peso adicional de NP-10 (determinado en el numeral 25) y los pesos finales de ensayo (determinados en la sección 26.i-)), calcúlese y regístrese el peso total de ácido clorhídrico usado para neutralizar la solución; luego determínese el peso promedio de ácido clorhídrico usado para cada par de especímenes de ensayo.

27. Hágase un gráfico del peso promedio de ácido clorhídrico usado (sección 26.j-) contra el porcentaje del mismo, usado en los especímenes pareados. Dibújese una línea recta entre los dos puntos. Esta es la curva de calibración para determinar el contenido de cal de un espécimen tratado con cal, mezclado en el campo.

6.1.7.2.5. CURVA DE CORRECCIÓN DEL TIEMPO DE CURADO

28. Puesto que será normalmente imposible seleccionar muestras tratadas con cal del proyecto de campo, que han sido curadas durante el mismo tiempo que los especímenes usados en la preparación de la curva de calibración, será necesario preparar una curva de corrección del curado.

29. Usando agregado, cal y agua reales del proyecto, prepárense 10 especímenes con el contenido de cal proyectado. La preparación de las cantidades requeridas de materiales, deberá hacerse como en el punto “Materiales para los especímenes de calibración” y la mezcla deberá hacerse en la misma forma como se describió en los numerales 22 y 23.

30. Ensáyense los especímenes pareados para tiempos de curado aproximados de 1, 3, 7, 24 y 48 horas, para establecer una curva de tiempo de curado. Déjense las muestras sin cubrir durante el período de curado.

Nota 5: *El ensayo es muy sensible al tiempo de curado durante la primera hora después de la operación del mezclado. Por esto, es aconsejable no efectuar el primer ensayo hasta que haya pasado por lo menos una hora después de la operación de mezclado.*

31. Al final de cada uno de los tiempos de curado dados en el numeral 30, efectúese el ensayo de neutralización constante sobre dos de los especímenes, usando el procedimiento descrito en el numeral 26.

32. Grafíquese el peso en g de HCl usado contra el tiempo de curado, para establecer la curva de corrección.

Nota 6: *La curva de corrección de tiempo de curado necesita ser establecida solamente una vez para un proyecto, a menos que exista algún cambio en la fuente de los áridos ó de la cal.*

6.1.7.2.6. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO PARA LAS MUESTRAS DE CAMPO

33. Extráigase de una a cuatro muestras de campo del agregado tratado con cal, cada muestra pesando aproximadamente 3.000 g. Pésese la muestra con precisión de 1,0 g.

34. Remuévase y descártese cualquier agregado retenido en el tamiz de 37,5 mm (1 ½”).
 35. Sepárese la muestra retenida en el tamiz de 9,5 mm (3/8”) y determínese la proporción retenida y pasante del tamiz de 9,5 mm (3/8”) con base en el peso de la muestra total, incluyendo el material retenido en el tamiz de 37,5 mm (1 ½”).
 36. Prepárense especímenes de ensayo de 300 g en las mismas proporciones de material retenido y pasante del tamiz de 9,5 mm (3/8”) contenidos en la muestra original de 3.000 g. El material retenido en el tamiz de 37,5 mm (1 ½”) será representado por una cantidad similar de material que pasa por dicho tamiz y que queda retenido en el tamiz de 9,5 mm (3/8”).
 37. Efectúese el ensayo de neutralización constante observado en el numeral 26.
 38. Determínese el factor de corrección en gramos de ácido entre el tiempo de curado para la calibración y el de las muestras de campo, a partir de la curva de corrección del tiempo de curado. Aplíquese un factor de corrección de suma si el tiempo de curado de la muestra de campo es superior a la del tiempo de curado de la muestra de calibración. Aplíquese un factor de corrección de sustracción si el tiempo de curado de la muestra de campo es inferior al tiempo de curado de las muestras de calibración.
- Nota 7:** *El tiempo de curado de una muestra de campo comienza por el tiempo de mezclado, incluye el tiempo requerido para tomar la muestra de la mezcla, para transportar la muestra al sitio de ensayo y para preparar los especímenes de 300 g.*
39. Aplíquese el factor de corrección a los gramos de HCl requeridos para la neutralización. **(Véase numeral 26.j-).**
 40. Determínese, a partir de la curva de calibración, el porcentaje de cal.

6.1.7.2.7. CÁLCULOS

41. Supónganse los datos siguientes:

- La curva de corrección del tiempo de curado fue establecida usando el contenido de cal proyectado.
- La curva de calibración fue establecida con un tiempo de curado de 16 horas.
- La muestra de campo tuvo un tiempo de curado de 20 horas.
- La titulación de la muestra de campo requirió 48,8 g de ácido.

42. Dibújese el tiempo de curado para la calibración y la muestra de ensayo contra la curva de corrección del tiempo de curado. Aplíquese esta corrección a los gramos de ácido requeridos para titular la muestra de campo ($48 + 2,0 = 50,0$ g de ácido). Éntrese con los 50,0 g de ácido a la curva de calibración. Entonces el contenido de cal calculado es 4,0%.

6.1.7.2.8. PRECAUCIONES

43. Este ensayo no deberá ser llevado a cabo por personas que tengan problemas con la diferenciación de los colores.
44. Es muy importante que el operador esté atento a mantener una solución neutral, añadiendo repetidamente ácido tan pronto como el color rosado vuelva a aparecer.

45. Úsese solamente la cantidad de ácido clorhídrico (HCl) apenas necesaria para eliminar el color rojo.

Un exceso de ácido puede atacar los áridos, particularmente en las últimas fases, cuando la cantidad de cal remanente en la mezcla es baja.

46. Este ensayo no deberá ser llevado a cabo bajo la acción del sol o en cualquier lugar donde se encuentre una corriente de aire sobre los recipientes. La cantidad de evaporación causada por la exposición a corrientes de aire o a la luz solar puede afectar los datos del ensayo.

47. Los garrafones plásticos descritos en el equipo del ensayo no deberán ser sustituidos por garrafones de vidrio y los recipientes que tienen las soluciones de los ácidos deberán ser etiquetados en forma clara.

48. Téngase extremo cuidado en el manejo de las soluciones concentradas de ácido y también en las soluciones diluidas, ya que pueden ser dañinas para los ojos, piel o para la ropa. Si alguno de estos químicos se derrama sobre los ojos, sobre la piel o sobre la ropa, aplíquese agua en cantidad abundante sobre las áreas afectadas.

49. Cuando se manejen ácidos, el personal debe utilizar guantes protectores, delantales y anteojos.

50. Se conoce que la fenolftaleína puede causar síntomas de alergia y que tiene un efecto laxante poderoso. Puede ser tóxica. La persona expuesta que sea sensible a ella, deberá vestir ropa adecuada, si es necesario, para evitar el contacto corporal. Este producto no debe ser ingerido.

SECCION 6.1.7.3.

CONTENIDO DE CAL EN MEZCLAS SUELO-CAL NO CURADAS (ASTM D3155)

6.1.7.3.1. OBJETO

Este método cubre la determinación del contenido de cal en mezclas de suelo-cal muestreadas de una obra en construcción.

6.1.7.3.2. SIGNIFICADO Y USO

Este método de ensayo sirve para definir contenidos de cal en obra, chequear el cumplimiento de requisitos especificados y la eficiencia del control de calidad aplicado.

También sirve para que los productores de mezclas de suelo cal lo usen, en la determinación del contenido de cal, con el propósito de controlar la producción.

6.1.7.3.3. EQUIPOS

A. BALANZA

Que tenga capacidad de 1000 g o más y una precisión de 0,05 g o menos.

B. ELEMENTOS DE CRISTAL

Un cilindro graduado de 25 ml, y uno un matraz Erlenmeyer de 250 ml y goteros medicinales.

C. ELEMENTOS PLÁSTICOS

Un recipiente de 1,9 l de polietileno con tapa a presión; un embudo plástico de 300 mm (12”) de diámetro; botellones de 19 l (5 galones) de polietileno para cloruro de amonio y agua destilada o desmineralizada.

D. SOPORTE PARA BURETA

Para sostener buretas de 25 ml.

E. SIETE (7) AGITADOR(ES)

Puede ser magnético o cualquier otro aparato equivalente.

F. BARRA AGITADORA.

De acero inoxidable, con 300 mm (12”) de longitud.

G. INDICADOR DE PH

Suministro de papel indicador de pH o un pH-metro con un campo de aplicación entre valores 10 y 14.

H. DIEZ (10) TAMIZ.

De 4,75 mm (N°4).

I. REACTIVOS

1.1. Solución de Cloruro de Amonio, 100 g/l.

Se deposita en un botellón plástico 1893 g de cloruro de amonio granular (NH_4Cl) y se disuelve en cerca de 7,5 a 11,4 l de agua desmineralizada, para hacer 18,9 l. Se procede a mezclarlos bien.

1.2. Solución EDTA (0,1 M).

Disuélvase 74,45 g de polvo de un reactivo de grado disódico (dimitriletileno) tetracetato bihidratado ($\text{Na}_2\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), en cerca de 1 l de agua destilada o desmineralizada tibia en un vaso. Enfríese a la temperatura ambiente, transfírase cuantitativamente en volumen a un matraz de 2l, y lléñese hasta la marca con agua desmineralizada o destilada. Almacénese en una botella de polietileno.

1.3. Solución de hidróxido de sodio, 500 g/l.

Con agitación permanente, añádanse cuidadosamente 500 g de gránulos de hidróxido de sodio reactivo (NaOH), a 600 ml de agua destilada o desmineralizada, hasta su disolución y déjese enfriar a temperatura ambiente. Dilúyase hasta un litro con agua destilada o desmineralizada. Almacénese en una botella plástica. Dilúyase para su uso en proporción 1 + 1, en agua destilada o desmineralizada.

1.4. Solución de Triaminoetanol, 200 g/l.

Disuélvase 100 ml de triaminoetanol reactivo ($\text{HOCH}_2\text{CH}_2)_3\text{N}$ en 200 o 300 ml de agua desmineralizada y destilada en un vaso, dilúyase hasta 500 ml en un cilindro graduado, mézclase bien y almacénese en una botella plástica.

1.5. Polvo indicador azul de hidróxido de naftol.

Del suelo y la cal utilizados en la construcción, prepárense tres series de muestras duplicadas la humedad de diseño y que contengan las siguientes cantidades de cal:

- Serie 1: con el 75% del contenido de cal de diseño.
- Serie 2: con el 100% del contenido de cal de diseño
- Serie 3: con el 125% del contenido de cal de diseño.

Para cada una de ellas, calcúlense las cantidades de suelo, cal y agua como sigue:

$$W_s = \frac{S}{\left(1 + \frac{M}{100}\right) \left(1 + \frac{L}{100}\right)}$$

$$W_r = \left(\frac{R}{100}\right) \times W_s$$

$$W_f = W_s - W_r$$

$$W_l = \left(\frac{L}{100}\right) \times W_s$$

$$V_w = \frac{M}{100(W_s - W_r)}$$

Donde:

- W_s = Peso seco total de suelo, en g.
 W_r = Peso del material retenido en el tamiz de 4,75 mm (N°4), en g.
 W_f = Peso del material pasante por el tamiz de 4,75 mm (N° 4).
 W_e = Peso de cal, en g.
 V_w = Volumen de agua en ml.
 M = Humedad de diseño, % del peso seco del suelo.
 L = Contenido de cal, % del peso seco del suelo.
 R = % de suelo retenido en el tamiz de 4,75 mm (N° 4).
 S = Peso de la muestra; 300 g cuando el 100% del suelo pasa el tamiz de 4,75 mm (N° 4); 700 g cuando parte del suelo es retenido en dicho tamiz.

Mézclase el suelo y la cal fuertemente hasta obtener un color uniforme. Añádase el agua y mézclase hasta uniformar la humedad.

Para suelos con 100% pasante por el tamiz de 4,75 mm (N° 4), titúlese cada muestra de 300 g, como se describe más adelante. Después de trituradas las seis muestras, dibújese un gráfico que muestre ml de solución EDTA versus porcentaje en peso de cal, usando las cifras promedio de las series 1, 2 y 3.

Para suelos con material retenido en el tamiz de 4,75 mm (N° 4), tamícese fuertemente cada muestra de 700 g sobre dicho tamiz, hasta que el material retenido esté limpio de partículas más pequeñas adheridas. Mézclase el material pasante y pésense porciones de 300 g, las cuales se titularán como se describirá. Después de titular las seis muestras, dibújese un gráfico que muestre ml de solución EDTA, usando las cifras promedio de las series 1, 2 y 3, versus gramos de cal, W_{1300} , que se calcula así:

$$W_{1300} = \left[\frac{300}{700 - W_r} \right] \times W_s$$

6.1.7.3.4. ENSAYO DE MUESTRAS

Durante la construcción, tómense muestras representativas de la mezcla de suelo-cal. Ensáyense inmediatamente o colóquense en recipientes plásticos con tapa y ensáyense dentro de las 8 horas después de terminada la mezcla.

- Para suelos que pasan completamente por el tamiz de 4,75 mm (N° 4), pésense porciones de 300 g y titúlese como se describe en el punto "Titulación".
- Para suelos con material retenido en el tamiz de 4,75 mm (N° 4), pésense muestras de 700 g. Tamícese sobre el tamiz de 4,75 mm (N° 4), hasta que todo el material retenido esté libre de pequeñas partículas adheridas. Pésense y anótese como W/few todo el material que pase por el tamiz. Mézclase todo el material que pasó el tamiz y pésense 300 g por porción y titúlese como se describe en el punto "Titulación".

6.1.7.3.5. TITULACIÓN

Colóquese cada muestra de 300 g en un recipiente de polietileno de 1,9 l y añádase 600 ml de solución de (NH₄Cl). Colóquese la tapa y agítase el recipiente durante 2 minutos (± 2 segundos). Déjese que la mezcla se sedimente por 4 minutos ± 2 segundos.

Con una pipeta, extráiganse 10 ml alícuota de la solución de la parte superior y depositen en un Erlenmeyer de 250 ml, añadiendo 100 ml de agua destilada o desmineralizada. Mientras se mezcla fuertemente con un agitador magnético, añádase gotas de solución de NaOH, hasta que se obtenga un pH entre 13,0 y 13,5, medido con el papel indicador o con el pH-metro aprobado.

(Úse una barra agitadora para transferir las gotas de solución al papel indicador). Añádase 4 gotas de solución de triaminoetanol y entonces añádase alrededor de 0,2 g de polvo indicador. Mientras la solución se agita, con un agitador magnético, titúlense con solución EDTA a un punto final de azul puro, y anótese la cantidad en mililitros.

6.1.7.3.6. CÁLCULOS

Si el 100% del suelo pasa por el tamiz de 4,75 mm (N° 4), léase el contenido de cal en peso seco, directamente de la curva de calibración correspondiente a los resultados de la titulación en ml de solución EDTA para la muestra de ensayo.

Si el suelo contiene material retenido sobre el tamiz de 4,75 mm (N° 4), léanse gramos de cal de la curva de calibración correspondiente a los resultados de la titulación en ml de solución EDTA para la muestra del ensayo.

Calcúlense los valores A y B como sigue:

$$A = \frac{W_{/f\#w}}{300} \times W_{L300}$$

$$B = \frac{700}{1 + \frac{w}{100}}$$

Donde:

A = Peso de cal en la muestra de 700 g, en g.

B = Peso de suelo y cal en la muestra de 700 g, en g.

W/few = Peso de suelo que pasa el tamiz de 4,75 mm (N° 4), en g.

WL300 = Peso de cal leído de la curva de calibración, en g.

w = Humedad de diseño, en % . Entonces calcúlese L, el porcentaje de cal por peso seco de la muestra total, así

$$L = \frac{A}{B - A} \times 100$$

Las variaciones de la humedad tendrán un ligero efecto sobre la exactitud del ensayo. Las correcciones por variaciones de la humedad, pueden calcularse de la siguiente forma:

$$L = \frac{1 + \frac{w^1}{100}}{11 + \left[\frac{V_w}{W_f + W_s} \right]}$$

Donde:

L' = Porcentaje de cal corregido por variación de la humedad.

L = Porcentaje de cal determinado del ensayo de la muestra.

w_1 = Humedad de la muestra de ensayo determinado de una porción separada de material que pasa el tamiz de 4,75 mm (No. 4).

V_w , W_f y W_e Son las cantidades calculadas de acuerdo con el punto “Preparación de la curva de calibración”, para la serie 2.

6.1.7.3.7. PRECISIÓN

Al utilizar este método, se estima que el 95% de todos los resultados de ensayo caerán dentro e $\pm 0,34\%$ del verdadero contenido de cal para una mezcla particular.

No se puede hacer enunciado alguno, para el promedio de más de un ensayo en cualquier laboratorio.

La precisión del método de ensayo en ml de solución EDTA es de 0,34 aproximadamente, para cálculos de datos procedentes de mezclas de contenidos de cal conocidos.

Sobre la base de una pendiente promedio de calibración igual a 2,6, la precisión del porcentaje de cal podría ser 0,13.

SECCION 6.1.7.4.

EXPANSIÓN UNIDIMENSIONAL, CONTRACCIÓN Y PRESIÓN DE LEVANTAMIENTO EN MEZCLAS DE SUELO- CAL (ASTM D3877)

6.1.7.4.1. OBJETO

Este método de ensayo suministra procedimientos para desarrollar ensayos de expansión, contracción y presión de levantamiento en muestras de suelo-cal, y puede utilizarse para determinar el contenido de cal requerido para lograr el control deseado de cambios volumétricos causados por aumentos o disminuciones de humedad.

Este ensayo puede usarse para determinar: 1) las magnitudes de los cambios de volumen bajo condiciones de carga variable, 2) la tasa de cambio volumétrico, y 3) la magnitud del cambio de presión con cambios de humedad de las mezclas de suelo-cal tomadas de la obra. Si se desea, también se puede determinar la permeabilidad de las mezclas de suelo-cal, para varias condiciones de carga.

6.1.7.4.2. USO Y SIGNIFICADO

De los resultados de estos ensayos puede calcularse el potencial relativo de expansión de las mezclas de suelo-cal que contienen diversas cantidades de cal. De tal evaluación, se puede determinar la cantidad de cal necesaria para reducir la expansión a los valores especificados. Los datos pueden utilizarse entonces, para el diseño y fijación de requisitos de especificaciones para rellenos estructurales y rellenos en la sub-rasante, cuando se encuentran suelos expansivos y se desea dar un cierto grado de control sobre expansión-contracción en fundaciones de estructuras y sub-rasante de carreteras. Los ensayos también mostrarán si suelos específicos admiten estabilización con cal.

6.1.7.4.3. EQUIPOS

El aparato cumplirá completamente los requerimientos del ensayo **6.1.4.7**. “Consolidación Unidimensional de los Suelos”, exceptuando que el mínimo espesor del espécimen será de 19 mm (3/4”). Será capaz de ejercer una presión sobre el espécimen de al menos 200% de la máxima carga esperada de diseño y al menos la máxima presión de levantamiento.

Medidor micrométrico, montado sobre el aparato como muestra la **Figura 6.1_222**, ó con otra disposición igualmente funcional. La precisión del medidor será de $\pm 0,0025$ mm (0.0001”).

A. ANILLO DE CARGA

Maquinado a la misma altura del anillo del espécimen, con precisión de $\pm 0,02$ mm (0.001”) y que pueda fijarse al consolidómetro.

B. CONSOLIDÓMETRO

Equipado con una llave de paso inferior para el drenaje y un tubo con depósito regulador para remover cualquier aire atrapado bajo el espécimen y para añadir agua al espécimen respectivamente como se muestra en la **Figura 6.1_222**.

C. COLLAR DE EXTENSIÓN

Para compactar especímenes de 100 mm (4") de altura y del mismo diámetro del anillo del espécimen. Los especímenes pueden ser compactados en un molde más grande que el anillo del espécimen y ser recortados luego para encajarlos en el anillo del espécimen.

D. MARTILLO COMPACTADOR

a) Operado manualmente.- Un martillo metálico que tenga una cara plana circular de $50,8 \pm 0,127$ mm (2 ± 0.005 ") de diámetro, una tolerancia por el uso de $0,13$ mm (0.005 ") que pese $2,495 \pm 0,009$ kg (5.50 ± 0.02 lb). El martillo deberá estar provisto de una guía apropiada que controle la altura de la caída del golpe desde una altura libre de $304,8 \pm 1,524$ mm (12.0 ± 0.06 " ó $1/16$ ") por encima de la altura del suelo. La guía deberá tener al menos 4 agujeros de ventilación, no menores de $9,5$ mm ($3/8$ ") de diámetro espaciados aproximadamente a 90° (1.57 rad) y 19 mm ($3/4$ ") de cada extremo, y deberá tener suficiente luz libre, de tal manera que la caída del martillo y la cabeza no tengan restricciones.

b) Operado mecánicamente.- Un martillo de metal que esté equipado con un dispositivo para controlar la altura de caída del golpe hasta una altura libre de $304,8 \pm 1,524$ mm (12.0 ± 0.06 " ó $1/16$ ") por encima del suelo y que distribuya uniformemente los golpes sobre la superficie de éste. El martillo deberá tener una cara plana circular de $50,8 \pm 0,127$ mm (2.0 ± 0.005 ") de diámetro; una tolerancia por el uso de $0,13$ mm (0.005 ") y un peso de fabricación de $2,495 \pm 0,009$ kg (5.50 ± 0.02 lb).

Nota1: *El martillo mecánico deberá calibrarse con varios tipos de suelos y ajustarse su peso, si fuere necesario, para que dé los mismos resultados de humedad-peso unitario que los obtenidos con martillos de operación manual. Puede ser impráctico el aparato mecánico de tal manera que la caída libre sea de 305 mm (12") cada vez que caiga el martillo, como con el martillo operado manualmente. Para efectuar el ajuste de la caída libre, la porción del material suelto que recibe los golpes iniciales deberá comprimirse levemente con el martillo para establecer el punto de impacto a partir del cual se determina la caída de 305 mm (12"). Los golpes subsiguientes sobre la capa de suelo que está siendo compactada pueden aplicarse dejando caer el martillo desde una altura de 305 mm (12") por encima de la altura inicial de asentamiento o, cuando el aparato mecánico está diseñado con un ajuste de una altura para cada golpe, todos los golpes subsiguientes deberán tener una caída libre para el martillo de 305 mm (12") medidos a partir de la altura del suelo como quedara compactado mediante el golpe previo.*

c) Cara del martillo

Deberá emplearse el martillo con cara circular, pero podrá usarse como alternativa uno con cara sector circular. Deberá indicarse en el informe el tipo de cara usada diferente de la circular de $50,8$ mm (2 "), de diámetro, pero la utilizada deberá tener un área igual al de la cara circular.

E. PLACAS DE VIDRIO

Para cubrir cada anillo de consolidómetro, deben ser dos.

6.1.7.4.4. MUESTREO

Las muestras de suelo natural para estos ensayos, se obtendrán de acuerdo con cualquiera de los métodos de muestreo de suelos aprobados. Las muestras no deberán ser secadas al horno antes de preparar los especímenes de ensayo.

6.1.7.4.5. PROCEDIMIENTO

1. Móntese la base del consolidómetro, el anillo del espécimen, los platos porosos y los platos de carga con el anillo de carga en el recipiente del espécimen desocupado, con la misma disposición de partes que es usada para ensayar el espécimen.
2. Colóquese el montaje anterior, sobre al aparato de carga con la misma posición que ocupará durante el ensayo.
3. Aplíquese una carga igual a una presión unitaria de 2,4 kPa (50 lb/pulg²) sobre el plato de carga.
4. Anótese la lectura inicial del medidor micrométrico, r1. Márquense las partes del aparato para que puedan reensamblarse en la misma posición durante el ensayo del espécimen de suelo-cal.
5. Prepárense un mínimo de 1000 g (2 lb aproximadamente) de mezcla de suelo-cal con los contenidos de cal y de agua deseados, de acuerdo con el *ensayo S0605* "Preparación en el laboratorio de mezclas de suelo-cal". La mezcla no deberá tener partículas mayores de 4,75 mm.
6. Pésese el anillo del consolidómetro.
7. Con el collar de extensión en su sitio, sobre el anillo del consolidómetro, compáctese el espécimen en dicho anillo hasta el peso unitario húmedo deseado, con el compactador disponible. El espécimen deberá tener un espesor de cerca de 6 mm mayor que la altura del anillo de carga.
8. Retírese el collar de extensión y recórtese el exceso de material de la parte superior del espécimen con un emparejador u otra herramienta.
9. Retírese una muestra de los recortes para una determinación del contenido de agua según el Método 6.1.3.1. "Determinación en el laboratorio del contenido de agua".
10. Inmediatamente después de recortar el espécimen compactado, pésese, aníllense y cúbranse las superficies expuestas del espécimen con placas de vidrio sostenidas con abrazaderas, hasta que este sea colocado en el aparato de carga.
11. Calcúlese el peso unitario del espécimen que llena a ras el anillo del consolidómetro y el peso neto del espécimen. El peso unitario húmedo calculado, se aproximará a los 15 kg/m³ (lb/pie³) y la humedad al 1% de la requerida.
12. Si el peso unitario esperado no se logra, descártese ese espécimen. Repítase el proceso de compactación, ajustando el esfuerzo de compactación hasta obtener el peso unitario deseado.
13. Cualquier curado de los especímenes de suelo-cal, deberá hacerse en este momento. Para ello, se introducen los especímenes en recipientes sellados para prevenir evaporación del agua o carbonatación de la cal.
14. Al final del período de curado colóquense los especímenes con sus anillos confinantes de consolidómetro en el aparato de carga de acuerdo con el ensayo S0407, haciendo coincidir las partes marcadas con las señales que se usaron para la calibración inicial.
15. Aplíquese una carga de fijación de 2,4 kPa (50 lb/pulg²).
16. Anótese la lectura del medidor micrométrico, r2. Utilizando la diferencia entre r1 y r2, determínese la altura exacta del espécimen.

6.1.7.4.6. ENSAYO DE EXPANSIÓN

17. Las características expansivas de los suelos expansivos con o sin tratamiento con cal, varían con los patrones de esfuerzos aplicados.

18. Se necesitan al menos dos especímenes duplicados para un ensayo completo.

19. Utilizando los procedimientos descritos en este método y en el del ensayo S0407, se determinan los datos para dos series de ensayos: 1) Cargado y expandido, para lo cual, el espécimen no empapado se satura con agua y es cargado para prevenir la elevación del espécimen (**curva A de la Figura 6.1_ 223**) y 2) expandido y cargado, para lo cual el espécimen se satura en libertad, antes de aplicarse la carga (**curva B de la Figura 6.1_ 223**). La curva C de esa figura, representa cualquier proceso de carga intermedio entre los descritos.

20. Cargado y expandido:

Después que la carga inicial de fijación ha sido aplicada, y la lectura inicial del medidor ha sido anotada, satúrese el espécimen N°1 de la manera siguiente:

- Llénese el depósito regulador del tubo del consolidómetro con agua destilada, cuidando de remover cualquier burbuja de aire que pueda estar atrapada en el sistema, humedeciendo lentamente la piedra porosa inferior y drenándola con la llave de paso inferior. (La cabeza de agua en el tubo del permeámetro debería estar tan baja, que el espécimen no se levante).
- Cuando el espécimen comience a expandirse, increméntese la carga lo necesario para que el espécimen permanezca con su altura original.
- Después de cargar hasta el máximo para medir la máxima presión de elevación y que quede constante por 48 horas como mínimo, redúzcase la carga hasta $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{8}$ de la carga máxima y finalmente manténgase la carga en 2,4 kPa (50 lb/pulg²).
- Mídase la altura para cada valor de carga. Úse un mayor número de cargas, si se necesitan más detalles en la curva de ensayo.
- Manténganse todas las cargas durante 24 horas o más tiempo si esto es necesario, hasta obtener valores de altura constantes.
- Extráigase el espécimen del anillo recipiente y pése inmediateamente. Pése otra vez después de secarlo en horno a 105°C (221°F).
- Determínese el contenido de agua del espécimen completo.
- Asegúrese una muestra para el ensayo de peso específico, del espécimen secado al horno.
- Determínese tal peso específico.
- Calcúlese el grado de saturación, el peso unitario aparente seco y el peso específico del espécimen.

A. EXPANDIDO Y CARGADO

Después que la carga de fijación inicial ha sido aplicada y la lectura inicial del medidor micrométrico se ha anotado, satúrese el espécimen N°2 de acuerdo con lo descrito en el numeral 20.

- a. Permítase que el espécimen se expanda bajo la carga de fijación durante 48 horas como mínimo o hasta que la expansión esté completa.

b. Cárgetse el espécimen sucesivamente con $1/8$, $1/4$, $1/2$ y 1 del valor de la carga máxima que se aplicó al espécimen N°1 para determinar las características de reconsolidación del espécimen.

c. Úsese un número mayor de cargas si se necesitan más detalles en el ensayo.

d. Sígase el procedimiento especificado en el **Método 6.1.4.7**, para hacer las medidas y determinaciones.

21. Expansión por carga individual.

Cuando se necesita ejecutar ensayos separados de expansión para otras condiciones de carga, úsese el siguiente procedimiento:

- Después de que la carga inicial de fijación ha sido aplicada a los especímenes y que las lecturas iniciales del medidor micrométrico hayan sido anotadas, cárguese cada espécimen al valor de carga deseado y satúrese de acuerdo con el numeral 20, literal a).
- Déjese expandir el espécimen bajo la carga aplicada, durante 48 horas, o hasta que la expansión se complete. Mídase la altura del espécimen expandido.
- Redúzcase la carga hasta el valor de la carga de fijación. Déjese que la altura llegue a ser constante y mídase, entonces retírese el espécimen del anillo y háganse las determinaciones de contenido de agua, peso unitario aparente seco, peso específico y grado de saturación de acuerdo con el numeral 20.

6.1.7.4.7. ENSAYO DE PERMEABILIDAD

22. Después de que la saturación de cualquiera de los especímenes descritos en los numerales 14, 21 y 23 ha sido completada, se pueden tomar lecturas de permeabilidad en cualquier momento durante el ensayo, llenando el tubo del permeámetro.

23. Anótese la cabeza inicial H_i , y déjese que el agua percole a través del espécimen.

24. Mídase la cabeza en el depósito regulador H_f , y el tiempo transcurrido en minutos durante la medida de la caída de la cabeza.

25. Los ensayos de permeabilidad para cualquier condición particular serán ejecutados, por lo menos, durante períodos de 24 horas.

6.1.7.4.8. ENSAYOS DE CONTRACCIÓN

Cuando se necesitan medidas de contracción durante el secado, prepárese un espécimen adicional de acuerdo con el punto "Procedimiento". Moldéese este espécimen en un recipiente anular a las mismas condiciones de peso unitario.

Determinar el peso unitario aparente y contenido de agua, usadas para los especímenes de expansión N°1 y N°2. Mídase la altura inicial, el volumen y el contenido de agua y el peso unitario, como se describe en 15 y 25.

Determinación de alturas de contracción.

Si se necesita la altura del espécimen secado al aire, séquese al menos la cantidad de agua correspondiente al límite de contracción, dejando el espécimen al aire.

a) Colóquese el espécimen seco y el recipiente anular en la máquina de carga.

b) Aplíquese una carga de fijación de 2,5 kPa (50 lb/pulg²) y léase el medidor.

Determinación del volumen de contracción.

Para medir el volumen de contracción, déjese el espécimen en el anillo en el aire, al menos hasta que el contenido de agua corresponda al límite de contracción.

Después que el espécimen haya sido secado al aire, retírese del recipiente anular y determínese su volumen por el método del desplazamiento de mercurio, que es el mismo utilizado en la determinación del límite de contracción, excepto que el aparato es más grande con un tamaño al cual se acomodará el espécimen del consolidómetro.

Si el espécimen de contracción se rompe en partes separadas, mídase el volumen de cada parte y súmense para obtener el volumen total.

6.1.7.4.9. CÁLCULOS

A. DATOS DEL ENSAYO DE EXPANSIÓN

Calcúlese la relación de vacíos como sigue:

$$e = \frac{h - h_0}{h_0}$$

Donde:

- e: relación de vacíos (volumen de vacío/volumen de sólidos).
- h: Altura del espécimen.
- h₀: Altura del material sólido al contenido de vacíos cero.

Calcúlese la expansión como porcentaje de la altura original de la manera siguiente:

$$\Delta, \% = \frac{h_2 - h_i}{h_i} \times 100$$

Donde:

- Δ: Expansión en porcentaje del volumen inicial.
- h_i: Altura inicial del espécimen
- h₂: Altura del espécimen bajo una condición de carga específica

B. DATOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD.

Calcúlese la tasa de permeabilidad, por medio de la siguiente fórmula básica para el permeámetro de cabeza variable:

$$k = \frac{A_p - L_s}{A_s \times 12} \times \frac{l}{t} \ln \frac{H_i}{H_f}$$

Donde:

- k: Tasa de permeabilidad, en pie/año.
- A_p: Area de la llave de paso que suministra la cabeza de percolación, en pulg.

- A_s : Area del espécimen, en pulg.
 L_s : Longitud del espécimen, en pulg.
 H_i : cabeza inicial, diferencia entre la cabeza de agua y el fondo, en pulg.
 H_f : Cabeza final, en pulg.
 t : Tiempo transcurrido en años.

Nota 2: *Obtenido el resultado puede convertirse a unidades del sistema internacional.*

C. DATOS DEL ENSAYO DE CONTRACCIÓN

Calcúlese la contracción volumétrica, como un porcentaje del volumen inicial como sigue:

$$\Delta_s = \frac{V_i - V_d}{V_i} \times 100$$

Donde:

- Δ_s : Contracción volumétrica en porcentaje del volumen inicial.
 V_i : Volumen inicial del espécimen (altura del espécimen por área del recipiente anular).
 V_d : Volumen del espécimen secado al aire, resultante del método del desplazamiento de mercurio.

a) Calcúlese la contracción lineal por altura, como sigue:

$$\Delta h_s = \frac{h_i - h_d}{h_i} \times 100$$

Donde:

- Δh_s : Altura contraída en porcentaje de la altura inicial.
 h_i : Altura inicial del espécimen.
 h_d : Altura del espécimen secado al aire.

b) Para calcular el porcentaje total del cambio volumétrico de Δ , la condición “secado al aire” a la condición “saturado”, añádase el porcentaje de contracción volumétrica, secado al aire Δ_s , al porcentaje de expansión volumétrica en la saturación, calculado en 39. Este valor es usado como un indicador del potencial total de expansión, basado en las condiciones iniciales de peso unitario y contenido de agua.

Puesto que los datos de expansión volumétrica son determinados para diversas condiciones de carga, el cambio volumétrico total, puede también determinarse para varias condiciones de carga.

c) Para calcular el porcentaje total de cambio en altura entre las condiciones saturada y secado al aire, añádase el porcentaje de contracción lineal en altura Δh_s , al porcentaje de expansión cuando el espécimen es saturado bajo condiciones de carga cero o para los valores deseados.

6.1.7.4.10. GRÁFICAS DE LOS DATOS DE ENSAYO

Con los datos obtenidos de los ensayos de expansión, háganse gráficos como el de la **Figura 6.1_223**.

6.1.7.4.11. INFORME

A. ENSAYO DE EXPANSIÓN.

En el informe se debe incluir la siguiente información:

- Identificación de la muestra (N° de perforación, profundidad, localización, etc.).
- Descripción del suelo ensayado y tamaño de la fracción ensayada y de la muestra total.
- Porcentaje de cal mezclado con el suelo.
- Condiciones iniciales de peso unitario y humedad y grado de saturación. Dar los porcentajes del peso unitario máximo y la humedad óptima para las mezclas de suelo cal compactada, basada en los Métodos S0402 o S0403, Relaciones de peso unitario y humedad (Proctor estándar o modificado), indicando cual método se usa para la comparación.
- Tipo de consolidómetro (de anillo fijo o flotante, tamaño del espécimen) y tipo de aparato de carga.
- Un gráfico con curvas de carga-cambio volumétrico como se muestra en la Figura 6.1_223 (una curva de relación de vacíos Log presión, puede incluirse si es necesario).
- Una curva de Log tiempo-deformación, si se requiere.
- Suministro de los datos de carga y tiempo versus cambios volumétricos en otras formas, si específicamente esto es requerido.
- Contenido final de agua, peso unitario aparente seco, y grado de saturación.

B. ENSAYO DE PERMEABILIDAD.

Infórmense los datos de permeabilidad y cualquier otro dato específicamente solicitado.

C. ENSAYO DE CONTRACCIÓN.

Inclúyanse datos de la disminución de volumen en la condición inicial de “secado al aire” y, si se desea, otras informaciones tales como el cambio volumétrico total y el cambio total de altura. Infórmense las condiciones bajo las cuales las medidas del cambio volumétrico fueron obtenidas.

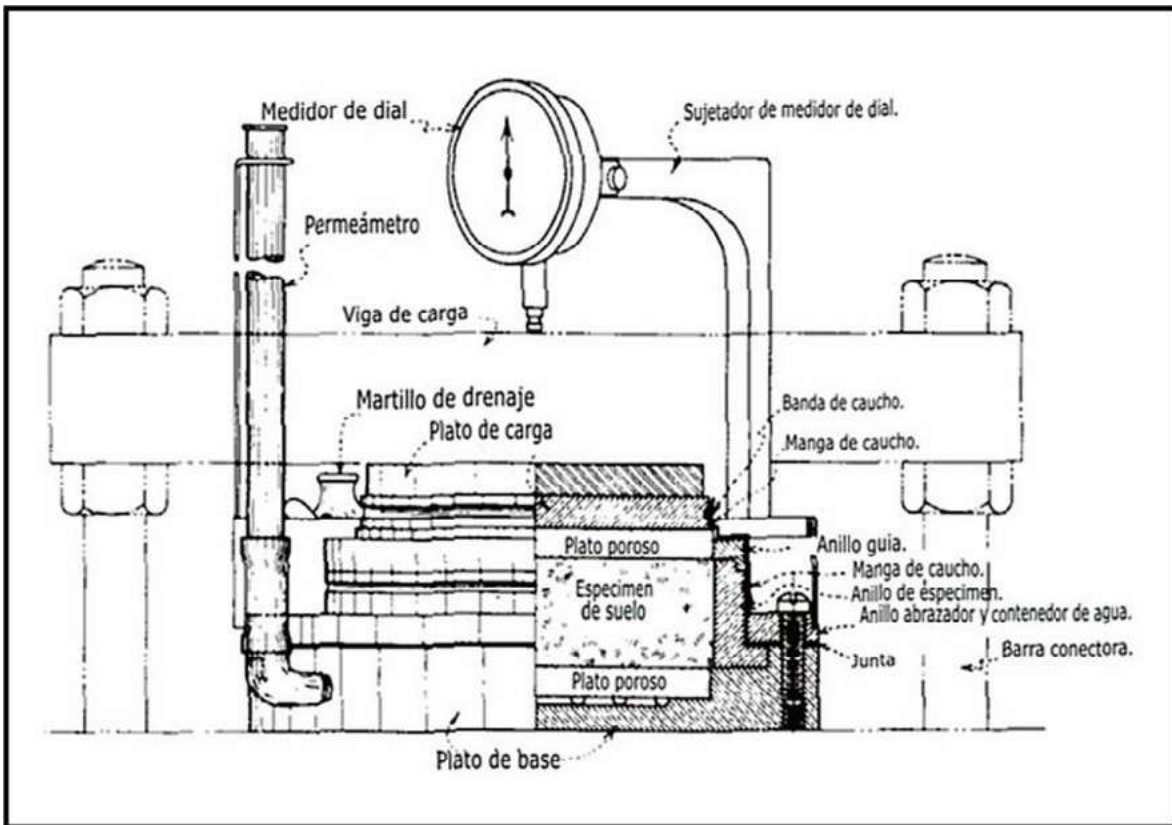


Figura 6.1_222. CONSOLIDÓMETRO DE ANILLO FIJO

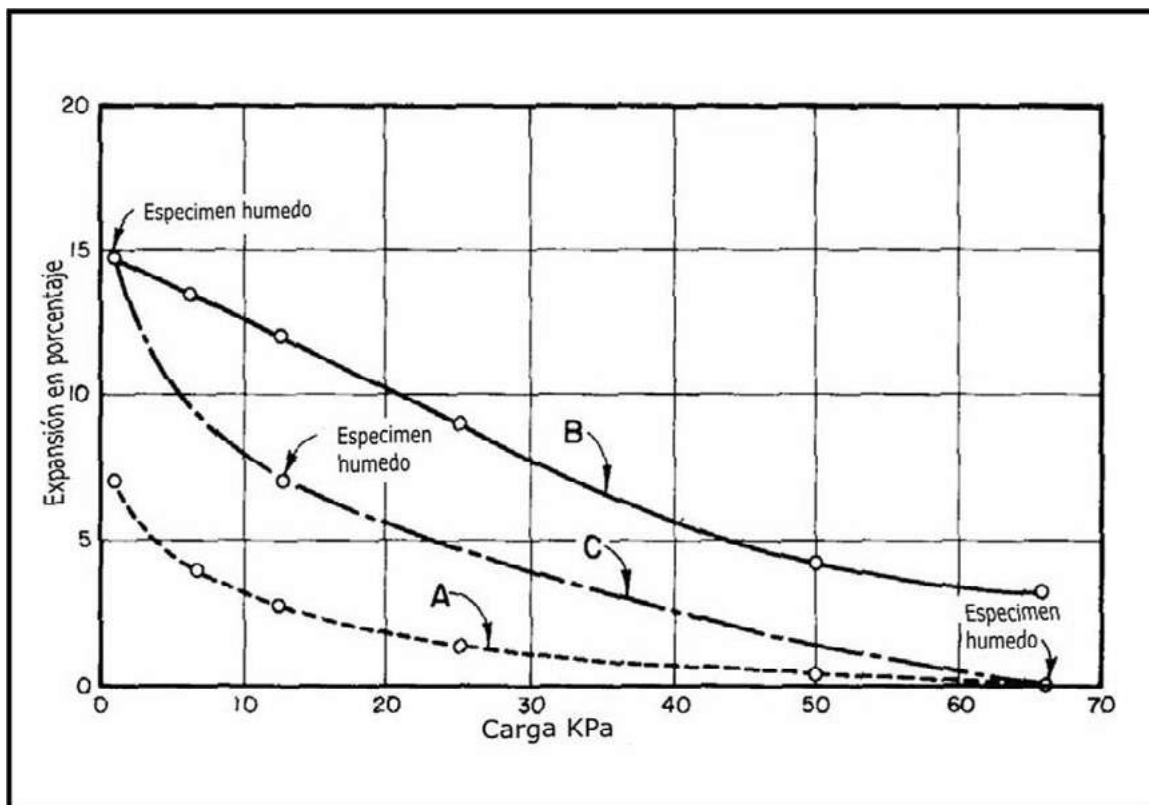


Figura 6.1_223. EJEMPLO DE CURVA CARGA – EXPANSIÓN

SECCION 6.1.7.5.

PREPARACIÓN EN EL LABORATORIO DE MEZCLAS DE SUELO-CAL EMPLEAN- DO UNA MEZCLADORA MECÁNICA (ASTM D3155G)

6.1.7.5.1. OBJETO

Este método se refiere a la preparación en el laboratorio de mezclas de suelo-cal para emplearlas en la determinación de los efectos de la cal sobre las propiedades del suelo (plasticidad, resistencia, relaciones de humedad, peso unitario, etc.), y para el diseño de mezclas para construcción de capas estabilizadas.

6.1.7.5.2. USO Y SIGNIFICADO

Este método normaliza la preparación de mezclas de suelo-cal para los ensayos de laboratorio necesarios para la determinación de las propiedades del suelo cuando se estabiliza con cal.

Se hace mención en este método al período de maduración, pero no se dan recomendaciones específicas en cuanto al mismo. El período de maduración que se va a emplear en el ensayo, depende de cada uso específico y deberá ser definido en la correspondiente especificación de construcción.

6.1.7.5.3. EQUIPOS Y MATERIALES

- Mezcladora mecánica, que pueda producir mezclas uniformes y homogéneas de suelo, cal y agua.
- Espátulas, palustres, cucharas, etc., apropiadas para transferir el suelo y la cal a la mezcladora, y para raspar y limpiar el tazón y otras partes de la mezcladora.
- **Balanza**

Una balanza o báscula que pueda pesar al menos 1000 g con precisión de 1 g, para emplear en el pesaje del suelo, de la cal y del agua.

6.1.7.5.4. PREPARACIÓN DE LA MEZCLA

- a. El suelo para la elaboración de la mezcla podrá secarse al aire o al horno, a menos que haya razón para creer que por ello se afectan excesivamente los resultados. En este caso, deberá curarse el suelo con o cerca del contenido final de humedad durante un período predeterminado. Es típico un período de 24 horas para el secamiento al aire del suelo. El tamaño de la muestra y su preparación, estarán dictadas por los requerimientos del ensayo para el cual se prepara la muestra.
- b. Determinese la humedad higroscópica del suelo secado al aire de acuerdo con el **Método 6.1.3.1.**

- c. Pése una cantidad suficiente de suelo para proporcionar el suelo secado al horno requerido para preparar el número deseado de especímenes de ensayo. Colóquese en el tazón de la mezcladora mecánica. Pése también la cantidad de cal, con base en el peso secado al horno del suelo requerido, para el porcentaje deseado en la mezcla final, y colóquese también en el tazón.
- d. Póngase en marcha la mezcladora e incorpórese en seco el suelo y la cal durante 1 minuto, o hasta que la mezcla presente un color uniforme.
- e. Pése o mídase con un recipiente, la cantidad de agua necesaria para proporcionar la humedad deseada (Nota 1) y adiciónese a la mezcla en forma de corriente tenue o fino rocío, mientras que esté en movimiento la mezcladora. Después de agregada el agua, continúese la mezcla durante 5 minutos adicionales. Al completar aproximadamente la mitad de este período, deténgase la mezcladora por unos pocos segundos y ráspense todas sus partes para devolver cualquier mezcla en terrones al tazón de la mezcladora. Continúese el mezclado durante el resto del período de 5 minutos.

Nota 1: *Deberá suministrarse, adicionalmente al agua de mezcla, un exceso de alrededor del 1% del contenido final de humedad deseado, para cubrir la evaporación durante el mezclado. La cantidad de agua extra requerida dependerá de las condiciones del laboratorio y deberá determinarse experimentalmente.*

- f. Cumplidos los cinco (5) minutos, deténgase la mezcladora y ráspense todas sus partes para retornar cualquier porción de terrones de la mezcla al tazón de la mezcladora. Remuévase el tazón, mézclese brevemente con un palustre o espátula y fórmese un montículo ligeramente compactado en el fondo del tazón. Cúbrase inmediatamente el tazón para minimizar la evaporación de humedad.
- g. Si se permite la maduración de la mezcla, deberá colocarse ésta en un recipiente más pequeño y cerrado, para reducir la cantidad de evaporación. Las operaciones deberán programarse de manera que la mezcla sea utilizada inmediatamente después de la evaporación de mezclado o después del período de maduración. Es típico un período de maduración de 1 hora, aún cuando se han empleado períodos hasta de 24 horas.

CAPITULO 6.1.8.

MODIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON MEZCLAS DE SUELO – CEMENTO, CON ÉN- FASIS EN LA REGIÓN OCCIDENTAL O CHACO

SECCION 6.1.8.1.

MÉTODO PARA DOSIFICAR BASES Y GRAVAS TRATADAS CON CEMENTO

6.1.8.1.1. OBJETO

Este método tiene por finalidad determinar la cantidad de cemento hidráulico por agregar a materiales granulares para obtener una resistencia específica a una densidad determinada. Este método es aplicable a bases tratadas con cemento (BTC) y gravas tratadas con cemento (GTC).

No es aplicable a suelo – cemento ni a bases abiertas ligadas con cemento (BAL).

Deberán Inicialmente realizarse los siguientes controles:

- a) Análisis granulométrico,
- b) Límites de Consistencia (Límite Líquido y Límite Plástico).
- c) Densidad aparente.
- d) Desgaste de Los Ángeles.
- e) Determinación de absorción de agua.

6.1.8.1.2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. FRACCIONAMIENTO

Si la muestra cumple con los requisitos de las especificaciones, tales como granulometría, desgaste, etc., proceda a separar el material grueso en las fracciones siguientes:

- a) Material que pasa el tamiz de 25 mm (1") y queda retenido en el de 19 mm (3/4").
- b) Material que pasa el tamiz de 19 mm (3/4") y queda retenido en el de 9,5 mm (3/8").
- c) Material que pasa el tamiz de 9,5 mm (3/8") y queda retenido en el de 4,75 mm (N° 4).

B. HUMEDECIMIENTO

Sumerja en agua, por un periodo de 24 horas, cada fracción por separado del material grueso indicada en 1; luego retírelas y séquelas superficialmente, mediante un paño absorbente húmedo, de acuerdo al Método para Determinar la Densidad Real, La Densidad Neta y Absorción de Aguas en áridos

Gruesos. La cantidad de fracción por saturar será la necesaria, de acuerdo a la granulometría del material original, para confeccionar a lo menos 12 probetas.

A la fracción bajo 5 mm se le determina la humedad.

C. PREPARACIÓN

Con estas fracciones del material, se reconstituyen porciones de 2.500 g consideradas secas, es decir, con las correcciones correspondientes por absorción de agua del árido grueso y hu-

medad natural del fino, de modo de obtener la granulometría original con las siguientes modificaciones: el porcentaje de material bajo 5 mm permanece constante y el material sobre 25 mm descartado, se reemplaza proporcionalmente de acuerdo a la granulometría original en los tamaños 25 mm – 20 mm; 20 mm – 10 mm y 10 mm – 5 mm.

Ejemplo. Se tiene un material con la granulometría original que se indica:

Tabla 6.1_44. EJEMPLO GRANULOMETRÍA DE MATERIAL

Tamiz		Porcentaje que pasa (%)
(mm)	Alternativo	
37,5	1 ½ "	100
25	1"	85
19	¾"	77
9,5	3/8"	58
4,75	Nº4	44

Reemplazo = 100 - 85 = 15%

- a) Retenido sobre 5 mm = 100 - 44 = 56%
- b) Retenido entre 25 y 5 mm = 85 - 44 = 41%
- c) Factor de corrección $\frac{56}{41} = 1,3659$
- d) % a tomar para confección de probeta:

Entre 25 y 20 mm = (85 – 77) x 1,3659 = 10,9%

Entre 20 y 10 mm = (77 – 58) x 1,3659 = 26,0%

Entre 10 y 5 mm = (58 – 44) x 1,3659 = 44,0%

6.1.8.1.3. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD OPTIMA Y LA DENSIDAD MÁXIMA

Se usa la energía de compactación del método C del Proctor Modificado, vale decir, con molde de 100 mm y pisón de 4,5 Kg. de peso y 460 mm de caída; se compacta en 5 capas de aproximadamente igual espesor con 25 golpes por capa, escarificando con un punzón el contacto entre capa y capa.

La mezcla por usar debe contener el porcentaje intermedio de cemento del rango que se estime sea el adecuado.

La cantidad de agua requerida para el máximo de compactación, se refiere como humedad óptima referida al peso seco del material, áridos más cemento.

6.1.8.1.4. PREPARACIÓN DE PROBETAS PARA DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

A. PREPARACIÓN

Preparar las probetas con la misma energía de compactación y humedad óptima indicadas en 0; prepare 3 probetas con el contenido de cemento intermedio, 3 con 1% más de cemento y otras 3 con 1% menos que el utilizado en la determinación de la humedad óptima.

Prepare la mezcla para estas probetas en la proporción indicada en 3, mezclando íntimamente el material con el porcentaje de cemento y luego añada la cantidad de agua necesaria para obtener la humedad óptima.

Después del mezclado, cubra inmediatamente la paila para evitar pérdidas de humedad y deje reposar durante 30 minutos antes de compactar las probetas.

B. PESADA

Pese las probetas con molde, previamente tarado, para obtener su densidad.

C. ROTULADO

Cada probeta debe acompañarse con un rótulo en que figuren antecedentes como: contrato, fecha de confección, número correlativo de la probeta en la serie, porcentaje de cemento empleado y su clase y grado.

6.1.8.1.5. CURADO DE LAS PROBETAS

Inmediatamente confeccionadas las probetas, protéjalas de la pérdida de humedad con un polietileno, hasta que se coloquen en cámara húmeda, lo más rápidamente posible. De no contar con cámara, cúrelas en arena húmeda casi saturada.

Mantenga el curado por 6 días y a continuación sumérlas en agua por 24 horas para completar los 7 días antes de ensayarlas a compresión.

6.1.8.1.6. ENSAYO DE COMPRESIÓN

Seque superficialmente las probetas; si éstas no tienen sus caras planas y lisas es necesario refrentarlas con yeso colocado en un vidrio cubierto con una película de grasa.

Después ensayo a la compresión en una máquina de ensayo, a una velocidad de elevación de 1,27 mm/min.

Si se usa una máquina hidráulica, aplique la carga a una velocidad comprendida entre 1,12 kN/seg y 2,8 kN/seg. Lo ideal es que para una probeta de 100 mm de diámetro se alcance una carga total de 9,8 kN en 0,1 min. (1.000 Kgf en 5 seg.).

6.1.8.1.7. FÓRMULA DE TRABAJO

Informe los resultados incluyendo graduación usada, resistencia a la compresión, humedad, densidad seca y contenido, clase y grado de cemento.

La fórmula de trabajo, deberá contemplar la banda de trabajo con las siguientes tolerancias:

sobre 5 mm \pm 5%, entre 5 y 0,5 mm \pm 4% y bajo 0,5 mm \pm 2%.

Densidad de diseño, igual a la óptima.

Contenido de cemento hidráulico (Nota 1), que corresponda a una resistencia media de las probetas igual a 1,25 veces la resistencia especificada a 7 días y determinada a la densidad requerida en el proyecto.

Nota 1: Se puede bajar la dosis si durante la ejecución de la obra se logra un coeficiente de variación adecuado y resistencia mayor a 1,2 veces la resistencia especificada.

SECCION 6.1.8.2.

MÉTODO DE CONTROL DE BASES Y GRAVAS TRATADAS CON CEMENTO

6.1.8.2.1. OBJETO

En este método se entregan los procedimientos para el control de las bases y gravas tratadas con cemento empleadas en las obras viales y diseñadas de acuerdo con el **Método 6.1.7.1.**

6.1.8.2.2. MEZCLAS EN PLANTA

A. CONTROL DE MEZCLADO

Antes de comenzar la confección de la mezcla, se debe contar con el 30% de la producción total del árido pétreo. La calidad, uniformidad y dosis a emplear deben estar respaldadas por la dosificación correspondiente efectuada según el **Método 6.1.7.1.**

Los controles granulométricos y de uniformidad posteriores deben cumplir con la banda de trabajo establecida en la dosificación; en caso contrario, proceda a verificar la dosificación para modificar la banda de trabajo o realizar una nueva dosificación si los parámetros han variado significativamente.

La humedad del material que entra a la planta no deberá ser superior que el 60% de la óptima. El tiempo de revoltura es de 90 seg. por carga si se usa hormigonera en vez de una planta estabilizadora.

Controle todos estos requerimientos junto con el chequeo diario de la calibración de la planta.

B. TIEMPO DE OPERACIÓN

Controle el tiempo de operación desde el momento en que la mezcla fresca sale de la planta y durante todo el tiempo que dura el proceso de compactación. Las diferentes operaciones no deberán exceder los siguientes límites:

Tiempo entre la adición del agua hasta el inicio de la compactación: máx. 2 horas.

Tiempo entre la adición del agua hasta el término de la compactación: máx. 3 horas.

Ejecute este control por lo menos dos veces por jornada.

C. CONTROL DE COLOCACIÓN

C.1. Resistencia

En cada jornada tome por lo menos una muestra de la mezcla fresca, inmediatamente antes de comenzar la compactación inicial, conformada por 3 probetas confeccionadas como sigue:

- a) Obtenga mezcla fresca representativa y protéjala de pérdidas de humedad, colocándola en una paila grande y cubriéndola de inmediato.
- b) Inmediatamente después de llevar la mezcla al punto de fabricación de las probetas, revuélvala y pásela por el tamiz 25 mm (1”), descartando el material retenido en él.

- c) Obtenga la humedad de la mezcla por secado directo, tomando como mínimo 1.000 g.
- d) Forme la probeta empleando el molde de 100 mm, aceitado y con collar ajustado, depositando la mezcla en 5 capas aproximadamente iguales; compacte cada capa con 25 golpes con pisón de 4,5 Kg., y altura de caída de 460 mm, uniformemente distribuidos; escarifique antes de colocar cada capa.
- e) Inmediatamente de confeccionada las probetas, péselas y guárdelas sin desmoldar en una caja de madera cerrada que tenga en su interior una capa de 2,5 cm de aserrín o arena húmeda.

Después de aproximadamente 18 horas, llévelas al laboratorio, desmóldelas y sométalas al curado final en cámara húmeda o bajo arena casi saturada de agua, hasta completar 6 días. A continuación, déjelas 24 horas sumergidas en agua antes de ensayarlas a compresión. Efectúe este ensayo aplicando la carga a una velocidad de 1,27 mm/min. o velocidad de carga entre 1,12 kN/seg. a 2,8 kN/seg..

- f) Los resultados de la resistencia a la compresión deben cumplir con los criterios de aceptación del proyecto.

D. COMPACTACIÓN.

Una vez terminada la compactación final, controle el espesor y la compactación, de acuerdo con el Método del cono de Arena para Determinar la Densidad en Terreno. El porcentaje de compactación deberá ser igual o superior al 95% de la densidad de diseño determinada según el Método 6.1.7.1.

Para la capa inmediatamente bajo la capa de rodado, el mínimo será del 98% de la densidad de diseño. Los espesores compactados por capa pueden fluctuar entre 12 y 24 cm. Esta determinación se efectuará cada 75 m, si la base tratada se ejecuta por media faja y cada 50 m, si se construye a faja completa.

6.1.8.2.3. MEZCLAS EN SITIO

A. CONTROL DE MEZCLADO

Antes de comenzar la confección de la mezcla se debe contar con el 30% de la producción total del árido pétreo. La calidad, uniformidad y dosis a emplear deben estar respaldadas por la dosificación correspondiente efectuada según el **Método 6.1.7.1**

Los controles granulométricos y de uniformidad posteriores deben cumplir con la banda de trabajo establecida en la dosificación, en caso contrario, proceda a verificar la dosificación para modificar la banda de trabajo o realizar una nueva dosificación si los parámetros han variado significativamente.

Controle los cordones de áridos en cuanto a calidad, cantidad y uniformidad. Estos deben ser confeccionados mediante cerchas.

La humedad del cordón de árido inmediatamente antes de incorporado el cemento, no deberá ser superior que el 60% de la óptima. El cemento debe incorporarse en una camada de un ancho tal que el espesor resultante sea inferior a 0,40 m sueltos. Cuando se está construyendo una base tratada nivelante, las longitudes y anchos de la camada deberán ser uniformes, con una tolerancia máxima de $\pm 0,10$ m. Cuando se trate de una base de espesor uniforme, la tolerancia se referirá al espesor suelto y será de $\pm 0,05$ m.

El cemento deberá agregarse cubriendo, con un espesor uniforme, todo el ancho y longitud de la camada para, inmediatamente después, comenzar el mezclado.

Controle la uniformidad de la mezcla árido - cemento mediante zanjas que corten de lado a lado la camada con un ancho igual al de la pala y verifique visualmente la uniformidad en las paredes laterales de esa zanja.

El agua deberá agregarse como mínimo en 3 parcialidades aproximadamente iguales; entre unas y otras deberá efectuarse un premezclado del agua con la parcialidad correspondiente del material. La mezcla se completará cuando se haya incorporado toda el agua. Terminado el mezclado controle nuevamente la uniformidad.

B. TIEMPO DE OPERACIÓN

Se deberán controlar los tiempos de homogeneización del cemento, la revoltura y la compactación; éstos no deberán exceder los siguientes límites:

-Tiempo desde que se incorpora el cemento a homogeneización total: máx. 2 horas.

-Tiempo desde adición de agua a compactación inicial: máx. 2 horas.

-Tiempo desde adición de agua a término de la compactación: máx. 3 horas.

C. CONTROL DE COLOCACIÓN

Resistencia. Tome una muestra de la mezcla fresca inmediatamente antes de comenzar la compactación y confeccione 3 probetas por cordón según 3.

Compactación. Proceda según lo indicado en 4.

6.1.8.2.4. CURADO

Inmediatamente de terminada la compactación procede efectuar el curado mediante emulsión diluida 1/1 a razón de 1,25 Kg./m², RC – 250 a razón de 1,0 Kg./m² o polietileno. Si se efectúa por el método del polietileno debe cuidarse que éste quede convenientemente traslapado y se mantenga en contacto directo en toda la superficie de la base, de modo que no quede aire atrapado entre polietileno y base; para ello, es necesario cubrirlo con una delgada capa de arena o suelo. Este curado debe mantenerse como mínimo durante 7 días.

No permita transitar la base durante el período de curado, salvo por el tránsito de construcción, que puede hacerlo después de las 72 horas de terminada la compactación.

SECCION 6.1.8.3.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE CEMENTO POR TITULACIÓN EN MEZCLAS ESTABILIZADAS CON CEMENTO

6.1.8.3.1. OBJETO

Este método permite determinar el porcentaje de cemento de bases tratadas con cemento, gravas tratadas con cemento y suelos cemento, en estado fresco. El ensayo se basa en un proceso de titulación química, empleando para tal efecto dos métodos alternativos que dependen de las características de los áridos.

Titulación ácido - base, que se utiliza cuando los áridos no reaccionan con ácido clorhídrico.

Método de neutralización, para el caso que los áridos presenten reacción con ácido clorhídrico.

6.1.8.3.2. EQUIPOS Y MATERIALES

- a) 1 bureta para titulación, de 100 ml.
- b) 1 pedestal con abrazadera para sujeción de la bureta.
- c) 1 pipeta de 100 ml.
- d) 4 matraces de 200 ml.
- e) 8 matraces Erlenmeyer de 250 ml.
- f) 8 cubetas plásticas de 500 ml de capacidad mínima.
- g) 8 recipientes de plásticos de 2 l de capacidad.
- h) 3 bidones de plástico de 20 l de capacidad, equipados con sifones, neopreno, abrazaderas, etc., para contener soluciones ácidas, básicas y agua.
- i) 8 agitadores de acero inoxidable.
- j) 1 tamiz de 9,5 mm (3/8") de abertura y 300 mm de diámetro.
- k) 1 tamiz de 37,5 mm (1 1/2") de abertura y 300 mm de diámetro.
- l) 1 balanza de 5 Kg. de capacidad, graduada al gramo.
- m) 1 balanza de torsión de 500 g de capacidad graduada a la décima de gramo.
- n) 1 balanza de capacidad superior a 1.000 g y graduada a la décima de gramo.
- o) 1 cronómetro.
- p) Vasos de precipitado.
- q) Arena normal.

A. REACTIVOS

- r) Ácido clorhídrico (aprox. 3 N).

- s) Hidróxido de Sodio (aprox. 1 N).
- t) Indicador de fenoftaleína (solución al 1%).

6.1.8.3.3. VALIDEZ DEL MÉTODO

Minerales tales como caliza, calcita, dolomita u otros, que eventualmente pudieran contener los áridos, reaccionan con el ácido clorhídrico, invalidando eventualmente alguno de los métodos que se describen. Por tal motivo, haga un análisis previo para determinar el método adecuado.

Aplique el método ácido - base (5) tanto a muestras de material sin cemento como a muestras de arena normal. Si cualquiera de los ensayos de las muestras sin cemento requiere de una cantidad de hidróxido de sodio mayor en 6 ml o más de la cantidad requerida para la arena patrón, use el método de Neutralización; si la diferencia es menor que 6 ml, aplique el Método Acido - Base.

6.1.8.3.4. MÉTODO 1, TITULACIÓN ACIDO – BASE

A. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

- Extraiga las muestras de base tratada con cemento en terreno de acuerdo al procedimiento descrito en el Anexo 2 y enumérelas de 1 a 8; cada muestra deberá tener un peso mínimo de 3 kg. Determine la masa de cada una aproximando al gramo.
- Remueva y elimine aquellas partículas retenidas en el tamiz 37,5 mm (1 ½”). Separe el material resultante en el tamiz 9,5 mm (3/8”) y determine el porcentaje que pasa en dicho tamiz con respecto a la masa total obtenida en 3.
- Extraiga una muestra de 300 g compuesta por una fracción sobre 10 mm y otra bajo 10 mm de acuerdo al porcentaje determinado en 4. Coloque cada muestra en un recipiente de plástico y alinéela a lo largo del mesón de trabajo. Controle y verifique que el tiempo transcurrido entre el mezclado de la base tratada en terreno y el momento de iniciar el ensayo no varíe en más de 15 min. del tiempo de preparación de muestras considerado en la determinación de la curva patrón (ver “Determinación de la Curva Patrón”).
- Mida por cada muestra, 200 ml de HCl (3 N) usando un matraz aforado. Vierta el ácido clorhídrico en un matraz Erlenmeyer y colóquelo detrás de cada recipiente con muestra. Mida por cada muestra 400 ml de agua potable; viértala en una cubeta plástica y colóquela detrás de cada Erlenmeyer con ácido.
- Agregue 200 ml de ácido a cada una de las muestras y revuelva durante 45 seg. Adicione el ácido comenzando desde la muestra N° 1, revuelva y agite las muestras nuevamente durante 45 seg., a los 6 y 12 min. después de adicionado el ácido.
- A los 18 min. de iniciado el proceso, agregue 400 ml de agua de la respectiva cubeta plástica a cada una de las muestras y, de acuerdo al orden de trabajo ya establecido, agite la mezcla durante 45 seg. en cada ocasión.
- Deje decantar las muestras durante 30 minutos, tome con una pipeta 100 ml del residuo ácido de la primera muestra y deposítelo en un matraz Erlenmeyer limpio. Repita la operación con las otras muestras sucesivamente cada 45 segundos. Agregue dos gotarios completos (aprox. 40 gotas) de la solución de fenolftaleína a cada matraz Erlenmeyer.

- Titule la solución de cada matraz agregando hidróxido de sodio de la solución preparada según Anexo 1, mediante una bureta hasta obtener una tonalidad roja oscura, de manera que el color no cambie al agitar el matraz durante 1 min. Al dejar en reposo durante unos minutos el líquido debe permanecer rojo. Anote la cantidad agregada de NaOH de la bureta, aproximando a 0,2 ml.

- En base a los resultados de la titulación y usando la curva patrón (ver “Determinación de la Curva Patrón”), determine el porcentaje de cemento de cada muestra.

B. DETERMINACIÓN DE LA CURVA PATRÓN

- La curva patrón establece la relación entre la cantidad de hidróxido de sodio usada en la titulación y el porcentaje de cemento de una muestra, para un tipo particular de ácido, cemento y agua. Para establecer la curva se necesitan dos puntos; uno, deducido sobre la base de dos análisis independientes con 5% de cemento y el otro, sobre la base de dos ensayos en muestras sin cemento.

C. PROCEDIMIENTO

- Determine el porcentaje de humedad, respecto al material más cemento, representativo de terreno para la BTC, a partir de muestras tomadas en el camino después del mezclado de áridos y cemento.

- Usando la **Tabla 6.1_45**, seleccione el peso del agregado correspondiente a un 5% de cemento y a la humedad determinada anteriormente. Si la muestra de base se encuentra húmeda, haga las correcciones correspondientes.

- De los antecedentes granulométricos de terreno determine el valor representativo promedio del material que pasa por el tamiz 9,5 mm (3/8”), porcentaje que será considerado en la confección de las probetas. Elimine la fracción retenida en el tamiz de 40 mm y después corte el material en dos fracciones usando el tamiz de 9,5 mm (3/8”).

Mediante los valores previamente obtenidos en este procedimiento, confeccione dos muestras que cumplan con las condiciones en él establecidas.

- Vacíe ambas muestras (agregado más cemento) a sendos recipientes plásticos de 2 l de capacidad y mézclelos en seco con una varilla de acero inoxidable. Agregue la cantidad de agua indicada en la **Tabla 6.1_45** y revuelva hasta homogeneizar la mezcla.

- Para simular las condiciones de terreno, deje la muestra en el recipiente cubierto con un trozo de plástico por un período de tiempo similar al requerido para obtener la muestra de terreno, téngala al laboratorio y prepárela para el ensayo. Normalmente este período no debe ser menor que 30 min. ni mayor que 90 min. Continúe con la determinación basándose en el procedimiento descrito en “Procedimiento de ensayo”.

- Proceda a continuación con las muestras sin cemento, determinando de la **Tabla 6.1_46**, en base a la humedad ya obtenida, las cantidades de agregado seco y agua. Con los pesos obtenidos confeccione dos muestras sin cemento.

- Vacíe los áridos y el agua de ambas muestras en sendos recipientes plásticos de 2 litros cada uno, mezcle, deje en reposo durante el tiempo más arriba especificado y proceda de acuerdo a 0.

- Finalmente, confeccione un gráfico similar al mostrado en la **Figura 6.1_ 224 Figura 2**, en base a las determinaciones con y sin cemento. Este gráfico constituye la curva patrón para determinar el contenido de cemento de una BTC. Esta curva patrón, característica de las condi-

ciones imperantes en el momento, recalculéla todos los días y cada vez que existan cambios de los materiales y/o reactivos químicos.

6.1.8.3.5. MÉTODO 2, MÉTODO DE NEUTRALIZACIÓN

A. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

- Tome 4 muestras de 3 Kg. cada una de BTC en terreno, usando el procedimiento especificado en el Anexo 2. Prepare a continuación muestras de 300 g tal como se describe en el “Procedimiento de ensayo” en el Metodo 1 y deposítelas en sendas cubetas plásticas de 2 litros de capacidad. Agregue a cada muestra 250 ml de agua potable y tome el tiempo. Agregue dos gotarios completos de solución de fenolftaleina (aprox. 40 gotas) a cada recipiente. La solución adquirirá un color rojo debido a la presencia de cemento. Pese cada muestra (con su cubeta) aproximando a 0,5 g.
- Diez minutos después de haber agregado el agua, adicione la solución de ácido clorhídrico 3 N con la bureta de titulación, revolviendo continuamente. La dosis inicial de ácido depende de la cantidad de cemento que supuestamente contiene la mezcla y se determina en base a la diagonal superior de la **Figura 6.1_ 224**.
- Cuando reaparezca la coloración roja, después de la primera adición de ácido, agregue ácido por segunda vez usando buretas y en la cantidad indicada por la diagonal inferior de la **Figura 6.1_ 224**.
- Después de dar las primeras adiciones de ácido, continúe agregando ácido en las cantidades mínimas necesarias para hacer desaparecer la tonalidad roja y mantener la solución neutra, lo que requerirá de gran concentración por parte del operador. Además de la agitación inicial ejecutada durante la primera adición del ácido, haga pequeñas revolturas de 3 seg. de duración cada min. y una revoltura fuerte de 6 seg. de duración cada 5 min.
- Continúe añadiendo ácido en las cantidades mínimas necesarias para mantener la solución neutra, hasta una hora después de haber agregado agua a la muestra (ver 13). Posteriormente pese al recipiente plástico aproximando a 0,5 g.
- Calcule y anote el peso total de ácido clorhídrico usado para neutralizar la solución, en base al peso inicial y final (**ver Figura 6.1_225, Figura 3**).
- Finalmente determine el porcentaje de cemento usando el valor obtenido en 18 y la curva patrón determinada en 20 y 210 (**ver Figura 6.1_ 225**).

B. DETERMINACIÓN DE LA CURVA PATRÓN

- Son igualmente válidos para esta determinación los conceptos y fundamentos señalados en 11. Sin embargo, si una pequeña cantidad de muestra sin cemento tomará una coloración roja cuando se le agrega unas cuantas gotas de solución de fenolftaleina, esto revela la presencia de álcalis solubles en agua, por lo que debe hacerse también un ensayo con dos muestras gemelas sin cemento.

C. PROCEDIMIENTO.

- Confeccione las muestras de ensayo usando las proporciones indicadas en 12.
- Realice el ensayo de Neutralización Constante siguiendo el procedimiento indicado en “Procedimiento de ensayo”, teniendo la precaución de considerar un 5% de cemento para efecto de calcular las dos primeras adiciones de ácido en la **Figura 6.1_224, Figura 1**, lo que corresponde a 2 l y 8 ml, respectivamente.

- Finalizado los ensayos, determine la curva patrón en base a los gramos de ácido usado y el porcentaje de cemento para las muestras gemelas (5%). Debe considerar también las muestras sin cemento si fuese necesario (ver 20), tal como se ilustra en la **Figura 6.1_225, Figura 3**.

- Para dibujar la curva patrón trace una recta entre el origen del gráfico, o el promedio de las muestras sin cemento si correspondiera, y el resultado promedio de las 2 muestras con 5% de cemento. Esta curva será la referencia para determinar el contenido de cemento de muestras de BTC provenientes de terreno.

6.1.8.3.6. REACTIVOS Y PRECAUCIONES

A. ÁCIDO CLORHÍDRICO (APROX. 3 N)

Mezcle cuidadosamente 5,5 Kg. de ácido clorhídrico concentrado p.a. con 15 l de agua potable en un bidón plástico de 20 l. Agregue el agua en incremento de 4 l, agitando el bidón vigorosamente después de cada adición hasta obtener una mezcla homogénea.

B. HIDRÓXIDO DE SODIO (APROX. 1 N)

Para obtener 20 l de solución, siga las siguientes instrucciones:

- Use un segundo bidón de 20 l, disuelva 850 g de hidróxido de sodio en gránulos con 4 l de agua destilada a una temperatura de 45°C.

- Tape el bidón y agítelo vigorosamente durante un minuto.

- Agregue agua potable en incrementos de 4 l, agitando cada vez, hasta completar aprox. 20 l. La temperatura de la solución irá decayendo, hasta llegar a la temperatura del agua fría.

- Enfríe hasta temperatura ambiente, luego examine la solución mirando por la abertura del bidón, (previamente iluminado) y verifique que no existen partículas en suspensión. La presencia de partículas en suspensión obliga a preparar una nueva solución.

C.INDICADOR DE FENOFTALEINA (SOLUCIÓN AL 1%)

- Disuelva 5 g de fenolftaleína en polvo U S P en 250 ml de etanol; a continuación diluya con 250 ml de agua destilada.

D.ARENA NORMAL

- Cuando no pueda obtener Arena Normal fácilmente, use microesferas de vidrio de las contenidas en las pinturas reflectantes para demarcación de pavimentos.

E.PRECAUCIONES

- Los operadores que preparen soluciones ácidas y básicas deben usar guantes adecuados, delantal y anteojos para protección y seguridad, debiendo ser personal entrenado en manipuleo de productos químicos.

- Mantenga los reactivos en botellas tapadas, cuando se estén usando, para evitar la evaporación, con la consiguiente pérdida de la concentración. Deben darse instrucciones precisas de que los envases de vidrios no podrán ser sustituidos por envases de plástico.

- No deben llevarse las soluciones cerca de la boca, aun después de realizado el ensayo.

- Estos ensayos no deben efectuarse por personas daltónicas o acromatopsias.
- El personal que realiza los ensayos debe saber que la fenolftaleína causa alergia a algunas personas y tiene un poderoso efecto laxante. No ingerir.

6.1.8.3.7. MÉTODO DE MUESTREO EN TERRENO.

A.GENERALIDADES

- Este procedimiento permite el muestreo en terreno de muestras representativas de BTC. Cada muestreo deberá tener un propósito determinado, tal como controlar la eficiencia del mezclador, la relación entre el cemento y el alimentador de áridos o las variaciones en el contenido de cemento durante el día.
- El tamaño de la muestra debe ser aprox. 3.000 g.

B.PROCEDIMIENTO

- Muestreo en planta central. El procedimiento más adecuado en este caso es tomar el material después que ha sido extendido. Este muestreo verifica la eficiencia combinada del mezclador y la máquina extendidora. No obstante, si se encontrara una fuerte diferencia en los muestreos, deberán tomarse muestras adicionales de la planta para detectar el problema.
- Planta mezcladora continua. Considerando que en una planta continua se suministra la mezcla mediante una correa transportadora, las muestras deberán tomarse de la correa a intervalos de 5 a 10 minutos.
- Muestreo para comprobar las fluctuaciones en el contenido de cemento. Después de haber verificado que los equipos están funcionando satisfactoriamente, es importante tomar muestras ocasionalmente para comprobar la normal alimentación del cemento. Por lo tanto, tome muestras en la dirección del extendido, representando cada muestra un promedio de la sección transversal.

Tabla 6.1_45. CANTIDADES DE MATERIAL NECESARIO PARA CONFECCIONAR MUESTRAS CON UN 5% DE CEMEN

Humedad (%)	Peso seco del agregado (g)	Agua (ml)	Cemento (g)
5	271	15	13,6
6	270	17	13,5
7	267	20	13,3
8	265	22	13,2
9	263	24	13,1
10	260	27	13,0
11	257	30	12,9
12	255	32	12,8
13	252	35	12,6
14	250	37	12,5
15	249	39	12,4
16	247	41	12,3
17	244	44	12,2
18	242	46	12,1
19	240	48	12,0
20	238	50	11,9

Tabla 6.1_46. Cantidades de material para confección de muestras sin cemento

Humedad (%)	Peso seco del agregado (g)	Agua (ml)
5	286	15
6	283	17
7	280	20
8	277	22
9	275	24
10	273	27
11	270	30
12	268	32
13	266	35
14	263	37
15	261	39
16	259	41
17	256	44
18	254	46
19	252	48
20	250	50

Tabla 6.1_47. Titulación

Determinación del método de ensayo					Determinación de curva patrón				
Ítem	Tipo de muestra	Muestra Nº	NaOH (ml)	Valores Control	Lugar de muestreo (km)	Curva Nº	% Ce-mento	Muestra Nº	NaOH
A	Arena Normalizada	7	102,6	102,7	360	2	0	9	100,0
		8	102,9			2	0	10	101,5
B	Agregado sin cemento	9	100,0	100,0	360	2	5	9	53,4
		10	101,5			2	5	10	52,6
C	A B Valor promedio – valor menor			27					
Si C < 6 ml use Método I									
Si C ≥ 6 ml use Método II									

Tabla 6.1_48. Determinación de las muestras en terreno

Lugar de muestreo (I/D)	Tiempo de mezcla	Peso de muestra	Peso ret. 10 mm	% pasa 10mm	Muestra Nº	Peso del recipiente		NaOH	% Cemen-to	Observ.
						Inicial	Final			
360 (I)	830	4070	1470	36	1			67,4	3,5	Promedio: 3,9 %
	830	4740	1700	36	2			64	3,9	
	830	4350	1840	42	3			61,4	4,1	
	830	4880	1840	38	4			61,6	4,1	

370 (I)	950	3890	1650	42	5			53,6	5	Promedio: 4,4 %
	950	4995	2175	44	6			61,4	4,1	
	950	3435	1775	52	7			59,6	4,3	
	950	3960	1895	48	8			60,6	4,2	

380 (I)	1030	3550	1100	31	9			58,6	4,4	Promedio: 4,4 %
	1030	3965	1825	46	10			49	5,5	
	1030	3600	1690	47	11			51,8	5,2	
	1030	3400	1410	41	12			55	4,8	

365 (I)	1340	4075	1550	38	13			55	4,8	Promedio: 4,6 %
	1340	5280	2240	42	14			65,6	3,7	
	1340	5600	2260	40	15			53,6	5	
	1340	3235	1105	34	16			54,8	4,8	

Tabla 6.1_49. Determinación del contenido de cemento método de titulación

Determinación del método de ensayo					Determinación de curva patrón				
Item	Tipo de muestra	Muestra N°	NaOH (ml)	Valores control	Lugar de muestreo (km)	Curva N°	% cemento	Muestra N°	HCL
A	Arena normalizada	3	94,4	94,6	Muestra de terreno	1	5	5	65,1
		4	94,8			5	6	64,4	
B	Agregado sin cemento	1	58,2	58,2					
		2	61,6						
C	A B valor promedio – valor menor			36,4					
Si C < 6 ml use Método I									
Si C ≥ 6 ml use Método II									

Tabla 6.1_50. Determinación de las muestras de terreno

Lugar de muestreo (I/D)	Tiempo mezcla	Peso mezcla	Peso muestra	%Pasa 10mm	Muestra N°	Peso recipiente (g)		NaOH	% Cemento	Observ.
						Inicial	Final			
Muestra tomada de correa transportadora a intervalos de 30 s.	835	4280	3170	74	10	809	883	74,5	5,7	Promedio: 6,0 %
		4010	3050	76	11	814	893	79	6,1	
		3815	2990	78	12	807	892	85	6,5	
		4435	3295	74	13	816	891	74,5	5,7	
Muestra tomada de correa transportadora a intervalos de 30 s.	1100	3600	3050	80	10	831	901	70,5	5,4	Promedio: 6,0 %
		3775	3470	81	12	809	879	70	5,4	
		4140	3005	84	13	809	880	71	5,4	
		3700	3910	81	14	812	898	86	6,6	
Muestra tomada de correa transportadora a intervalos de 30 s.	1350	5110	3910	77	10	811	876	65,5	5	Promedio: 6,0 %
		4770	3690	77	12	813	884	71,5	5,5	
		4060	2920	72	13	808	871	63	4,9	
		4270	3380	79	14	808	874	65,5	5,1	

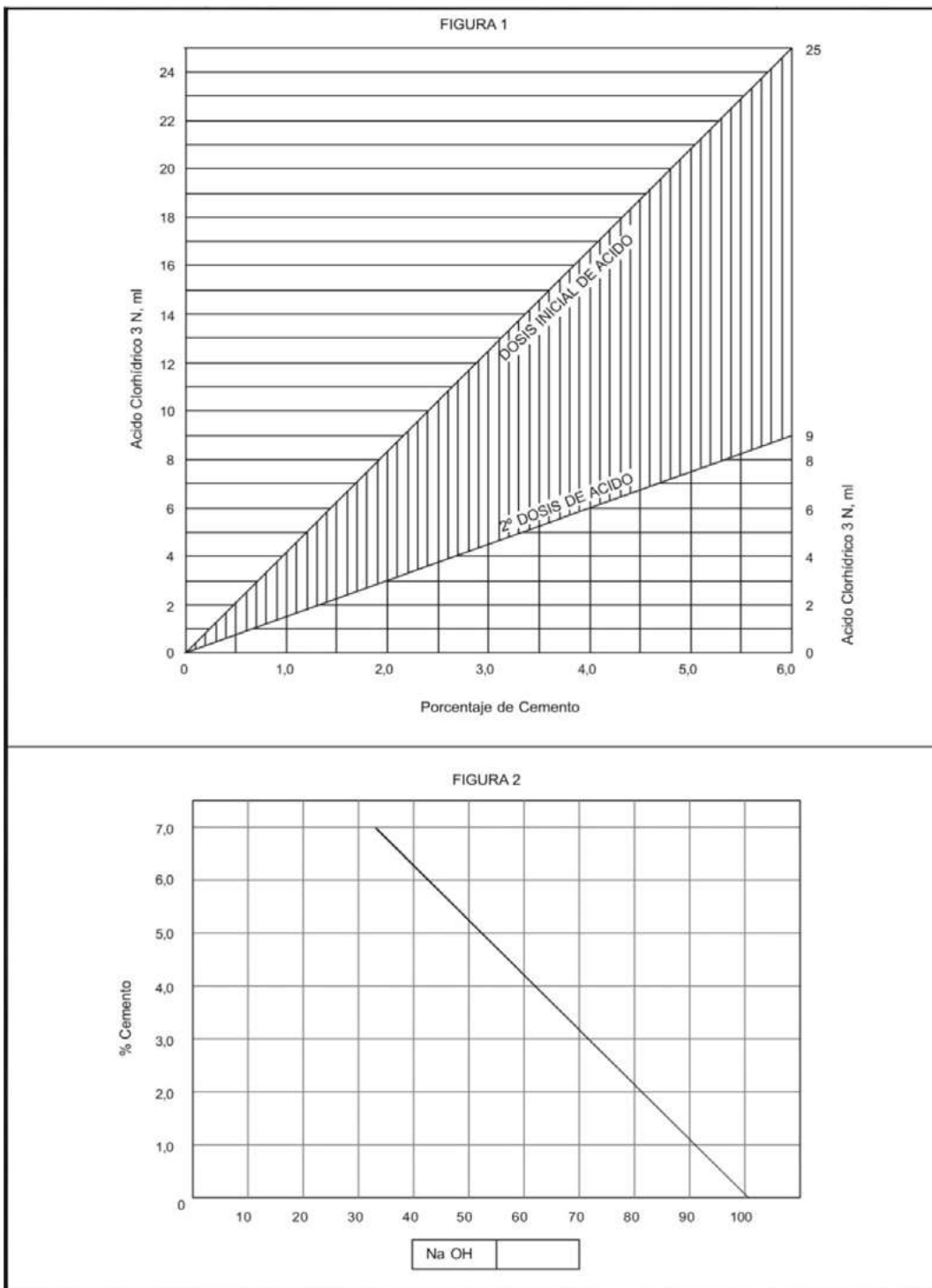


Figura 6.1_224. MÉTODO DE NEUTRALIZACIÓN Y TITULACIÓN

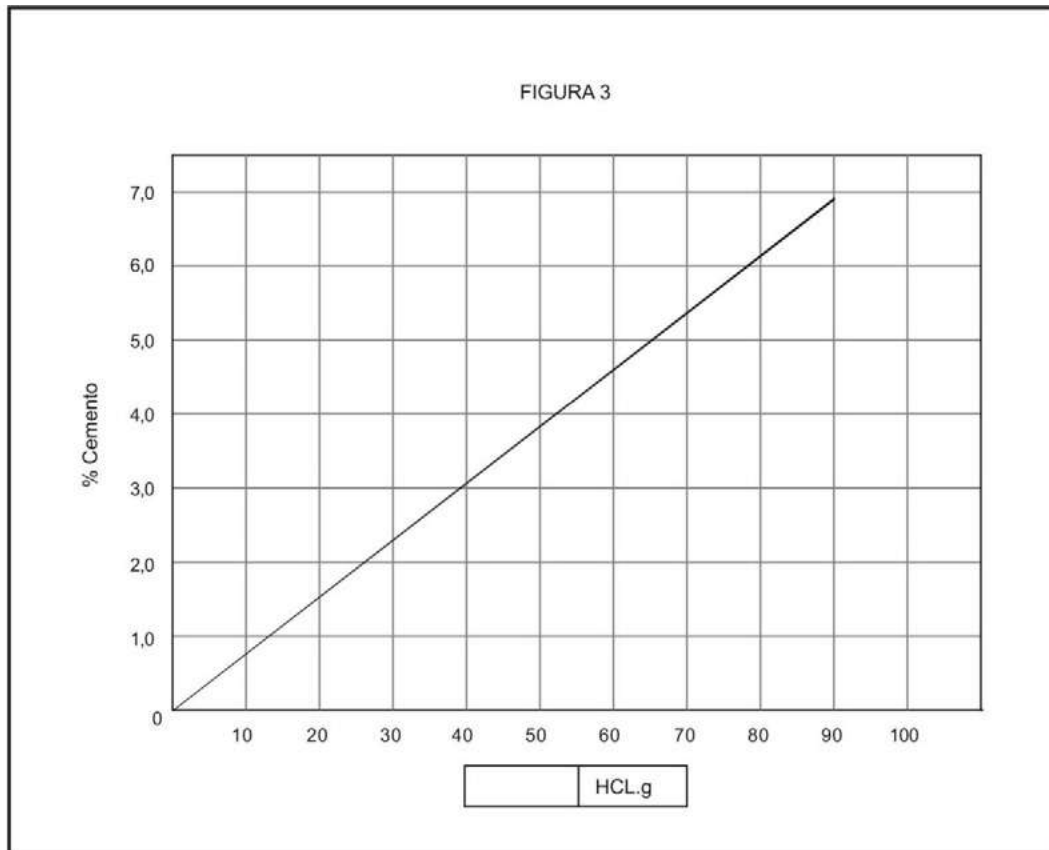


Figura 6.1_225. MÉTODO DE NEUTRALIZACIÓN Y TITULACIÓN

SECCION 6.1.8.4.

MÉTODO PARA EVALUAR EL USO DE ESTABILIZADORES QUÍMICOS (ASTM D4601)

6.1.8.4.1. OBJETO

Este método se aplica para evaluar la efectividad de los estabilizadores químicos en el mejoramiento de las propiedades mecánicas de los suelos.

La eficacia de estos productos se mide por comparación entre suelos tratados y no tratados mediante determinaciones de resistencia a la compresión no confinada, Razón de Soporte de California, relación humedad/densidad y módulo resiliente, entre otras pruebas.

Dada la naturaleza y características de los productos químicos utilizados como estabilizadores, debe velarse por el cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

La principal aplicación de este procedimiento está en el mejoramiento de suelos naturales y/o la estabilización de capas de rodadura granulares, extendiéndose también su uso a estructuras de suelo del tipo base o subbase de pavimentos y para suelos que, de alguna manera, comprometan la sub-rasante de un camino.

Esta norma se aplica a suelos tratados con aglomerantes tales como cemento y/o asfalto, en los porcentajes que determine el diseño, cuando los suelos a utilizar o los aglomerantes utilizados incorporen estabilizadores químicos como aditivos mejoradores de alguna propiedad.

Este método no se aplica a los estabilizadores químicos, cal y ceniza.

Este método es aplicable a mezclas íntimas y homogéneas de los productos utilizados con el suelo a tratar. Por tanto, no considera la utilización de estos productos como riegos superficiales.

6.1.8.4.2. DEFINICIONES

A. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

Mejoramiento de las propiedades físicas y/o mecánicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos y/o físico-químicos.

B. ESTABILIZACIÓN MECÁNICA

Mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de un suelo, mediante procedimientos mecánicos.

C. ESTABILIZACIÓN QUÍMICA

Mejoramiento de las propiedades físicas y/o mecánicas de un suelo, mediante la incorporación de un compuesto químico.

D. ESTABILIZADOR DE SUELOS

Producto químico, natural o sintético, que por su acción y/o combinación con el suelo, mejora una o más de sus propiedades de desempeño.

E. PROPIEDADES DE DESEMPEÑO

Corresponden a características de comportamiento del suelo desde el punto de vista de la ingeniería.

Nota 1: *La evaluación de estas propiedades de desempeño se realiza mediante ensayos en laboratorio y/o terreno, definidos por los métodos que se indican en cada una de ellas.*

F. TRABAJABILIDAD

Facilidad para mezclar el suelo, colocarlo, enrasarlo y compactarlo.

6.1.8.4.3. GENERALIDADES SOBRE ESTABILIZADORES QUÍMICOS

Los estabilizadores químicos son básicamente productos aglomerantes. Pueden ser de dos tipos: iónicos o poliméricos. Los del tipo iónico están representados por sales solubles, mientras que los poliméricos por productos derivados del petróleo.

Los estabilizadores químicos pueden tener efectos sobre una o varias de las propiedades de desempeño del suelo, de acuerdo al tipo específico y condiciones de aplicación del estabilizador químico, así como del tipo de suelo tratado.

6.1.8.4.4. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

Todo producto estabilizador químico debe ir acompañado por los documentos siguientes:

Manual Informativo y Hoja de Datos de Seguridad. La información errónea o incompleta relativa salud y medio ambiente se considera como un no cumplimiento de este método y además, de exclusiva responsabilidad del productor y/o distribuidor del producto.

Nota 2: *No obstante lo anterior, esta situación no exime la responsabilidad al administrador de obras quien debe exigir la certificación del producto de tal forma de verificar las características de éste y las condiciones en que se debe utilizar.*

A. MANUAL INFORMATIVO

Todo producto que se vaya a utilizar como estabilizador químico debe ir acompañado de un Manual Informativo, en que se haga especial referencia a los potenciales riesgos para la salud de las personas y el medio ambiente.

El Manual Informativo debe ser emitido por el fabricante y/o distribuidor, y debe contener a lo menos la información siguiente:

- a) Nombre del producto;
- b) nombre del fabricante o distribuidor;
- c) descripción del producto;
- d) composición química genérica;
- e) condiciones de manipulación;
- f) condiciones de transporte;
- g) condiciones de almacenamiento;
- h) condiciones y forma de utilización (proporciones, mezcla, tiempo de curado, etc.).

B. HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Todo producto que se vaya a utilizar como estabilizador químico debe ir acompañado de una Hoja de Datos de Seguridad de productos químicos (HDS). Análogamente y debido a los riesgos inherentes al transporte de estos productos, se debe acompañar una Hoja de Datos de Seguridad para Transporte (HDST).

C. PROPIEDADES DE DESEMPEÑO

En relación a las condiciones específicas de cada proyecto, se asume que la estabilización química de suelos puede cumplir funciones diferentes si ésta se aplica sobre una capa de rodadura (superficie de rodadura), una capa intermedia (base o subbase) o suelos de sub-rasante. De este modo, se considera que cada capa estructural tiene propiedades características que se pueden modificar mediante un estabilizador químico.

Las propiedades de desempeño se evalúan en forma relativa, comparando los resultados de ensayos con y sin producto estabilizador, tanto en terreno como en laboratorio.

Los resultados de ensayos de laboratorio no garantizan necesariamente un comportamiento similar del producto en terreno. El desempeño in situ es el resultado más representativo de la eficacia del producto utilizado. También es conveniente señalar la importancia que reviste el diseño estructural, del camino por tratar, en el éxito de la aplicación.

La definición de los parámetros para un diseño en particular quedará a criterio del proyectista.

A modo de guía, se sugiere el siguiente conjunto mínimo de ensayos de laboratorio para materiales con y sin producto estabilizador:

- a) Clasificación del tipo de suelo según AASHTO.
- b) Curvas humedad - densidad (Proctor).
- c) Capacidad de soporte (CBR).
- d) Comportamiento ante los cambios de humedad para la (s) propiedad (es) seleccionada (s) para el diseño.

Las propiedades de desempeño dependen de un gran número de factores, difíciles de reproducir y/o evaluar tanto en el laboratorio como en terreno. La mejor manera de medir el desempeño mecánico y en particular la durabilidad del material tratado es a través de la prueba en terreno.

D. INFORME INICIAL

Los controles mínimos por realizar en laboratorio y terreno por parte del fabricante o proveedor del producto una vez terminada la construcción, son los siguientes:

Obligatorios

- e) Informe de ensayos de laboratorio.
- f) Memoria de cálculo del diseño de la aplicación.
- g) Dosis del producto por m³ de capa tratada.
- h) Densidad de la capa tratada.
- i) Espesores de la capa tratada.

j) Registro de deficiencias, imprevistos y/o problemas observados durante la etapa de construcción.

k) Antecedentes climáticos y pluviométricos del lugar.

Nota 3: *El control de dosis del producto puede realizarse mediante medición directa en terreno.*

Nota 4: *El control de espesores puede hacerse mediante topografía, extracción de testigos, o bien durante la inspección al momento de tomar la densidad en terreno a través del cono de arena.*

Optativos

a) Rugosidad (IRI).

b) Deflectometría.

Nota 5: *La rugosidad puede controlarse mediante perfilómetro clase II o superior, o con un equipo del tipo de respuesta.*

E. INFORMES PERIÓDICOS

Los controles periódicos para evaluar en el tiempo el comportamiento del producto en terreno se informarán con una frecuencia comprendida entre 1 y 3 meses, dependiendo de la envergadura del camino tratado y/o de los objetivos perseguidos:

E.1. Obligatorios

Inspección visual, que identifique y describa las fallas típicas más significativas como, por ejemplo, pérdida de material, calamina, baches, asentamientos, etc. Esta descripción deberá ser acompañada de una monografía que incluya un registro fotográfico en formato digital.

F. AHUELLAMIENTO

Optativos

a) Rugosidad (IRI).

b) Deflectometría.

c) Censo vehicular.

6.1.8.4.5. INFORMES DEL PROYECTO

Todos los informes de la aplicación deben incluir lo siguiente:

a) Identificación del contrato.

b) Nombre del producto.

c) Procedencia del producto.

d) Identificación del fabricante, proveedor o representante del producto.

e) Fecha de entrega del informe.

f) Cualquier otra información relativa a la aplicación.

F.1. Informe Inicial

Este informe debe contener un resumen de las experiencias en laboratorio con y sin producto, además de incluir los problemas constructivos de la obra y los resultados de los controles mínimos necesarios una vez terminada la construcción.

F.2. Informes Periódicos

El resultado del seguimiento del tramo tratado.

F.3. Informe Final

Se emitirá al concluir la vida útil de la aplicación del producto y corresponderá al último informe periódico elaborado a esa fecha. En este informe debe(n) incluirse la(s) causa(s) que explicaría(n) la falla prematura de la aplicación o la sobrevida, en caso que algunas de éstas ocurran.

SECCION 6.1.8.5.

RELACIONES HUMEDAD-PESO UNITARIO DE MEZCLAS DE SUELO CEMENTO (ASTM D558)

6.1.8.5.1. OBJETO

Estos métodos se refieren a la determinación de la relación entre la humedad y el peso unitario de mezclas de suelo-cemento cuando se compactan del modo que se prescribe y antes de que ocurra la hidratación del cemento.

Se emplean para la compactación, un molde de 944 cm³ (1/30 pié³) y un martillo de 2,50 Kg. (5.5lbs) que cae desde una altura de 305 mm (12”), pero se siguen dos métodos de acuerdo con la granulometría del material:

- a) Método A, para muestras de suelo que pasan por el tamiz de 4,75 mm (N°4).- Deberá emplearse este método cuando el 100% de la muestra del suelo pasa el mencionado tamiz **(Véase los numerales 3 y 4).**
- b) Método B, para muestras de suelo que pasan un tamiz de 19,0 mm (3/4”).- Deberá emplearse este método cuando parte del suelo queda retenido en el tamiz de 4,75 mm (N°4) **(Véase los numerales 5 y 6).**

6.1.8.5.2. EQUIPOS Y MATERIALES

1. Molde

Deberá ser cilíndrico de paredes sólidas, fabricado con metal y con las dimensiones y capacidades mostradas en la **Figura 6.1_226**. Deberá tener un collar ajustable de aproximadamente 60 mm (2 3/8”) de altura, que permita la preparación de especímenes compactados de mezclas de suelo cemento de la altura y volumen deseado.

El conjunto del molde y del collar deberá estar construido de tal manera que pueda ajustarse firmemente a una placa hecha del mismo material. Su diámetro será de 101,6 mm (4”).

Nota 1: Pueden emplearse distintos tipos de molde, pero con la capacidad estipulada aquí, si al correlacionarse con los de los moldes de pared sólida, para diferentes clases de suelo, se obtienen los mismos resultados de relación humedad-peso unitario. Deberán mantenerse disponibles los registros de dicha correlación para el caso en que se desee efectuar una inspección.

2. Martillo

Puede ser operado manual o mecánicamente.

- **Operado manualmente.**

Un martillo metálico que tenga una cara plana circular de $50,8 \pm 0,127$ mm (2 ± 0.005 ”) de diámetro, una tolerancia por el uso de 0,13 mm (0.005”) que pese $2,495 \pm 0,009$ Kg. (5.50 ± 0.02 lb.). El martillo deberá estar provisto de una guía apropiada que controle la altura de la caída del golpe desde una altura libre de $304,8 \pm 1,524$ mm (12.0 ± 0.06 ” ó $1/16$ ”) por encima de la altura del suelo. La guía deberá tener al menos 4 agujeros de ventilación, no menores de 9,5 mm (3/8”) de diámetro espaciados aproximadamente a 90° (1.57 Rad.) y 19 mm (3/4”) de cada

extremo, y deberá tener suficiente luz libre, de tal manera que la caída del martillo y la cabeza no tengan restricciones.

- **Operado mecánicamente**

Un martillo de metal que esté equipado con un dispositivo para controlar la altura de caída del golpe hasta una altura libre de $304,8 \pm 1,524$ mm (12.0 ± 0.06 " ó $1/16$ ") por encima del suelo y que distribuya uniformemente los golpes sobre la superficie de éste.

El martillo deberá tener una cara plana circular de $50,8 \pm 0,127$ mm (2.0 ± 0.005 ") de diámetro; una tolerancia por el uso de $0,13$ mm (0.005 ") y un peso de fabricación de $2,495 \pm 0,009$ Kg. (5.50 ± 0.02 lb.).

Nota 2: *El martillo mecánico deberá calibrarse con diferentes mezclas de suelo-cemento y su peso se ajustará, si fuere necesario, para que dé los mismos resultados de humedad-peso unitario que los obtenidos con martillos de operación manual. No es práctico calibrar el aparato mecánico en cada caída del martillo como el operado manualmente. Para efectuar el ajuste de la caída libre, la porción del material suelto que recibe los golpes iniciales deberá comprimirse para establecer el punto del impacto a partir del cual se determina la caída de 305 mm (12"). Los golpes siguientes sobre esta capa pueden aplicarse dejando caer el martillo desde una altura de 305 mm (12") por encima de la altura inicial de asentamiento o, cuando el aparato mecánico está diseñado con un ajuste de una altura para cada golpe, todos los golpes subsiguientes deberán tener una caída libre para el martillo de 305 mm (12"), medidos a partir de la altura del suelo compactado por el golpe previo.*

- **Cara del martillo.**

Deberá emplearse el martillo con cara circular pero podrá emplearse como alternativa, uno con cara de sector circular, el cual deberá tener una área igual a la de la cara circular. En el informe se indicará el tipo de cara usada cuando es diferente a la circular de 50,8 mm (2") de diámetro.

3. Extractor de muestras

Un gato, extractor, u otro dispositivo adecuado para sacar las muestras compactas del molde. No se necesita cuando se utilizan moldes de tipo partido.

4. Balanzas y básculas

Una balanza de capacidad de por lo menos 11,3 kg (25 lb) con precisión de 5 g (0.01 lb); y una balanza de al menos 1000 g de capacidad, con precisión de 0,1 g.

5. Horno

Un horno termostáticamente controlado, que pueda mantener una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).

6. Regla metálica

Una regla de acero endurecido, al menos de 254 mm (10") de largo; deberá tener un borde biselado y una cara plana en sentido longitudinal.

Nota 3: *El borde biselado podrá usarse en el alisamiento final si se conserva dentro de una tolerancia del 0,1% de longitud; sin embargo, con el uso continuado, el borde cortante podrá desgastarse excesivamente en cuyo caso no sería adecuado para alisar el suelo hasta el nivel del molde. La regla no deberá ser tan flexible que cuando se alise el suelo con el borde cortante, proporcione una superficie cóncava en la muestra.*

7. Tamices de 75, 19,0 y 4,75 mm (3", 3/4", y N°4).

8. Herramientas para mezcla

Herramientas varias como cucharas, espátulas, cazuelas, o un dispositivo mecánico para mezclar las muestras de suelo con diferentes cantidades de agua.

9. Recipientes

Una cazuela plana, redonda para absorción de humedad para mezcla de suelo-cemento de alrededor de 300 mm (12") de diámetro y 50 mm (2") de profundidad.

10. Latas para humedad

Recipientes metálicos o de otro material, con tapa, para evitar la pérdida de humedad antes y durante el pesaje.

11. Cuchillo de aproximadamente 250 mm (10") de longitud, para recortar la parte superior del espécimen.

6.1.8.5.3. METODO A. EMPLEANDO MATERIAL QUE PASA TAMIZ DE 4,75 MM (NO.4)

A. MUESTRA

12. Prepárese la muestra para ensayo disgregando los terrones del suelo para que pase tamiz de 4,75 mm (N°4), pero de tal manera que se evite la reducción del tamaño natural de las partículas individuales. Cuando sea necesario, séquese primero la muestra hasta cuando sea friable con un palustre. El secamiento puede hacerse al aire o mediante el empleo de aparatos de calentamiento siempre y cuando la temperatura de la muestra no exceda de 60° (140°F).
13. Escójase una muestra representativa, que pese aproximadamente 2,75 Kg. (6 lbs) o más del suelo preparado, como se describió en el numeral 14.

B. PROCEDIMIENTO

14. Agréguese al suelo, de acuerdo con el diseño, la cantidad requerida de cemento. Mézclase completamente hasta lograr un color uniforme. Cuando sea necesario, agréguese suficiente agua para humedecer la mezcla aproximadamente con cuatro o seis puntos de porcentaje por debajo de la humedad óptima y mézclase completamente. Con esta humedad, una muestra de suelos plásticos, exprimidos en la palma de la mano, formará una pasta que se fracturará con una ligera presión aplicada por el pulgar y las puntas de los dedos; los suelos no plásticos se abultarán notablemente.

Cuando el suelo sea arcilloso de textura pesada, (grasa), la mezcla de suelo-cemento y agua se compactará dentro de la cazuela plana hasta tener un espesor más o menos de 50 mm (2"), empleando el martillo manual descrito en el numeral 4 o un martillo similar. Cúbrase, y déjese reposar la mezcla, por un período entre 5 y 10 minutos, para que haya dispersión de la humedad y permitir una absorción más completa. Después disgréguese completamente la mezcla, sin reducir el tamaño natural de las partículas, hasta que pase por el tamiz de 4,75 mm (N°4) y vuélvase a mezclar.

15. Fórmese un espécimen compactando en el molde con el collar ajustado, usando la mezcla preparada de suelo cemento, en tres capas iguales, logrando una profundidad total compacta de alrededor de 125 mm (5"). Compáctese cada capa mediante 25 golpes del martillo, usado en el ensayo Proctor estándar.

Los golpes deberán distribuirse uniformemente sobre la superficie de la capa que se está compactando, y el molde deberá permanecer sobre una fundación uniforme y rígida (Nota 4).

Después de la compactación, remuévase el collar de extensión, recórtese cuidadosamente la parte superior de la probeta por medio del cuchillo de borde recto y pésese con precisión de 0,004 Kg. (0.01 lb.), multiplíquese el peso del suelo compactado (menos el peso del molde) por 30; regístrese el resultado como el Peso Húmedo por unidad de volumen W1 en kg/m³ de la mezcla de suelo-cemento compactado.

Nota 4: *Una base satisfactoria para apoyar el molde durante la compactación del suelo, puede ser un bloque de concreto que pese más de 90,2 kg (200 lb) soportado por una fundación relativamente estable, un piso sólido de concreto, y para el campo, superficies como las halladas en alcantarillas, puentes y pavimentos.*

16. Extráigase la probeta del molde y córtese verticalmente a lo largo de su eje. Tómese una muestra representativa que pese como mínimo 100 g, secándola en un horno a 110 ± 5°C (230 ± 9°F) hasta peso constante. Calcúlese la humedad y anótese el resultado como la humedad a la mezcla de suelo cemento compactado.
17. Disgréguese completamente la parte remanente del espécimen moldeado hasta que a simple vista se considere que el material pasa por el tamiz de 4,75 mm (N°4) e intégrese con la parte restante de la muestra que se está ensayando. Agréguese agua en suficiente cantidad para aumentar el contenido de humedad de la mezcla de suelo-cemento en uno o dos puntos de porcentaje, mézclese, y repítase el procedimiento dado en los numerales 17 y 18 para cada incremento de agua. Continúese esta serie de determinaciones hasta cuando haya una disminución o no haya cambio en el peso húmedo por unidad de volumen, W1 en kg/m³ de la mezcla de suelo-cemento compactada.

Nota 5: *En la mayoría de los casos este procedimiento ha sido hallado satisfactorio. Sin embargo, en casos en los cuales el material es de carácter frágil y se reduce significativamente el tamaño de las partículas, debido a la compactación, muestras diferentes y separadas deberán emplearse para cada determinación de humedad-peso unitario.*

6.1.8.5.4. METODO B. EMPLEANDO MATERIAL QUE PASA TAMIZ DE 19,00 MM.(3/4")

A. MUESTRA

18. Prepárese la mezcla para ensayo, separando el agregado retenido en el tamiz de 4,75 mm (N°4) y rompiendo los terrones del suelo restante, para que pasen por dicho tamiz, evitando reducir el tamaño natural de las partículas individuales. Cuando sea necesario, séquese la muestra hasta que sea friable con un palustre. El secamiento puede hacerse al aire o mediante el empleo de un aparato secador siempre y cuando la temperatura aplicada no exceda de 60°C (140°F).
19. Pásese el suelo preparado, por los tamices de 75 mm (3"), 19,0 mm (3/4"), y 4,75 mm (N°4) y descártese el material retenido en el tamiz de 75 mm (3"). Determínese el porcentaje de material, por peso seco al horno, retenido en los tamices de 19,0 mm (3/4") y 4,75 mm (N°4). Satúrese el agregado que pasa por el tamiz de 19,0 mm (3/4") y que queda retenido en el de 4,75 mm (N°4), empapándolo en agua; séquese la superficie como sea requerido para ensayos posteriores.

Nota 6: *La mayoría de especificaciones de construcción de suelo-cemento que cubren la granulometría del suelo limitan el tamaño máximo del material a 75 mm (3") o menos.*

20. Escójanse y manténganse separadamente muestras representativas del suelo que pasa el tamiz de 4,75 mm (N°4) y de agregado saturado con superficie seca, que pasan el tamiz de 19,0 mm (3/4") y que quedan retenidos en el de 4,75 mm (N°4), de manera que la mezcla

total pese aproximadamente 5 kg (11 lbs) o más. El porcentaje, en peso secado al horno, del agregado que pasa tamiz de 19,0 mm (3/4") y que queda retenido en el de 4,75 mm (N°4) deberá ser el mismo que el porcentaje que pasa tamiz de 75 mm (3") y que queda retenido en el de 4,75 mm (N°4) de la muestra original. Una vez hecho el reemplazo respectivo, únanse las porciones separadas formando la mezcla total.

B.PROCEDIMIENTO

21. Agréguese el cemento, a la porción de la muestra de suelo que pasa el tamiz de 4,75 mm (N°4), en la cantidad requerida, según diseño, por la mezcla total especificada en el numeral 22. Mézclase completamente hasta llegar a un color uniforme. Cuando sea necesario, agréguese agua a esta mezcla de suelo-cemento y facilítese la dispersión de la humedad como se describe en el numeral 16 del Método A. Después de esta preparación adiciónese el agregado saturado con superficie seca, a la mezcla de suelo cemento y mézclase completamente.
22. Fórmese un espécimen, compactando la mezcla del suelo-cemento preparada, en el molde con el collar colocado; recórtese y pésese el espécimen compactado como se describe en el numeral 17 para el Método A. Durante la operación de recorte remuévanse todas las partículas que sobresalgan por encima del nivel superior del molde. Corríjense todas las irregularidades en la superficie apisonando a mano material fino dentro de dichas irregularidades y nivelando nuevamente el espécimen con el cuchillo de borde recto.

Multiplíquese el peso del espécimen compactado (menos el peso del molde), por 30; regístrese el resultado como peso húmedo por unidad de volumen, W_1 en kg/cm³, de la mezcla de suelo-cemento compactado.

23. Remuévase el material del molde y tómese una muestra para determinar la humedad, como se describe en el numeral 18 para el Método B, excepto que esta muestra no deberá pesar menos de 500 g. Regístrese el resultado como la humedad w , de la mezcla de suelo-cemento compactado.
24. Rómpace completamente el material como antes, hasta que a simple vista se considere que pasa un tamiz de 19,0 mm (3/4") y que un mínimo del 90% de las partículas menores de 4,75 mm (N°4) pasan tamiz de 4,75 mm (N°4), y agréguese todo el material remanente después de obtener la humedad de la muestra. Adiciónese agua suficiente para aumentar la humedad de la mezcla de suelo-cemento en uno o dos puntos de porcentaje, mézclase y repítase el procedimiento descrito en los numerales 23 y 24, por cada incremento de agua.

Continúese esta serie de determinaciones, hasta cuando haya una disminución o no haya cambio en el peso húmedo por unidad de volumen, w_1 , en kg/m³ de la mezcla compactada de suelo-cemento (**Véase la Nota 5**).

6.1.8.5.5. CÁLCULOS

25. Calcúlese la humedad y el peso secado al horno por unidad de volumen, en kg/m³ de mezcla de suelo-cemento compactado para cada prueba en la siguiente forma:

$$w = \frac{A - B}{B - C} \times 100$$

$$W = \frac{W_1}{w + 100} \times 100$$

Donde:

- w: Porcentaje de humedad en la muestra.
- A: peso del recipiente para humedad y del suelo-cemento húmedo.
- B: Peso del recipiente para humedad y de suelo-cemento seco.
- C: Peso del recipiente para humedad.
- W: Peso seco en el horno en kg/m^3 del suelo-cemento compactado.
- W_1 : Peso húmedo en kg/m^3 del suelo compactado.

6.1.8.5.6. RELACIONES DE HUMEDAD-PESO UNITARIO

26. Los cálculos del numeral 7 deberán hacerse para determinar la humedad y el correspondiente peso secado al horno en kg/m^3 para cada una de las muestras de suelo-cemento compactado. Los pesos secados al horno, en kg/m^3 de mezcla de suelo-cemento se dibujarán como ordenadas y las humedades correspondientes, como abscisas.

27. Humedad óptima

Cuando se hayan determinado los pesos unitarios y las correspondientes humedades, como se indica en el numeral 28, se dibujará una curva que una los puntos correspondientes con una línea suave. La humedad que corresponda al pico de la curva se denomina “humedad óptima” de la mezcla de suelo-cemento bajo la compactación prescrita en estos métodos.

28. Peso unitario máximo

El peso secado al horno, en kg/m^3 (lb/pe^3) de la mezcla de suelo-cemento que corresponda al contenido de humedad óptimo se llamará peso unitario máximo bajo la compactación prescrita en este método.

6.1.8.5.7. INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) El contenido de humedad óptimo.
- b) El peso unitario máximo.

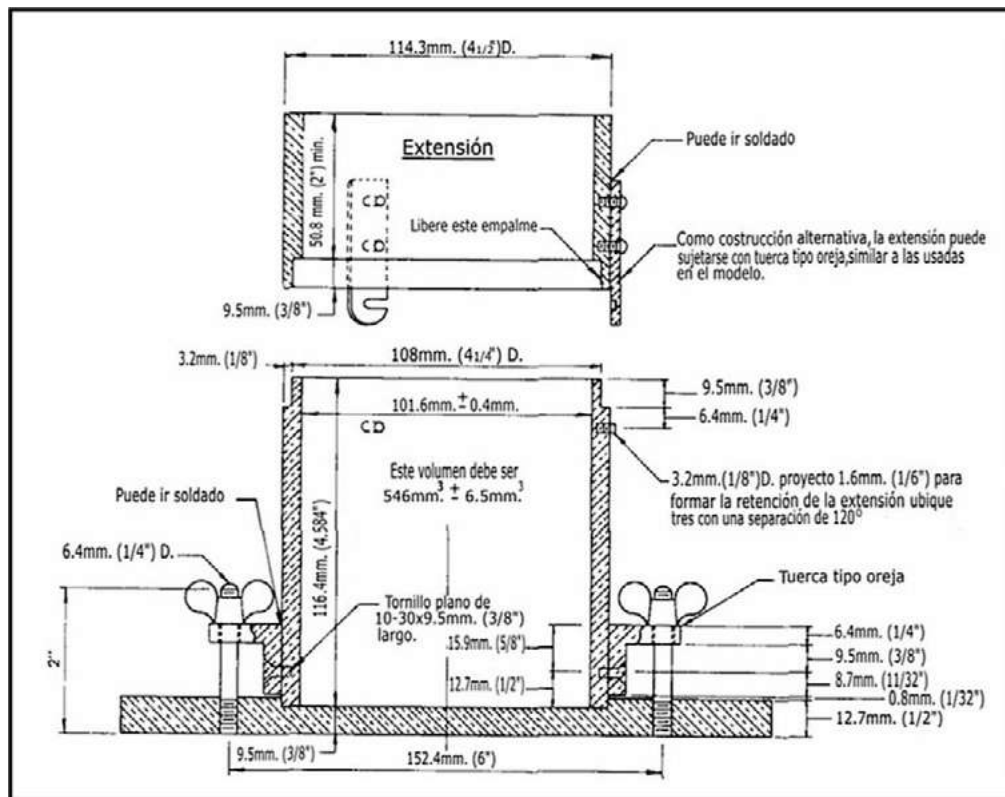


Figura 6.1_226. MOLDE CILÍNDRICO

SECCION 6.1.8.6.

HUMEDECIMIENTO Y SECADO DE MEZCLAS DE SUELO CEMENTO COMPACTADAS (ASTM D559 AASHTO T135)

6.1.8.6.1. OBJETO

Estos métodos de ensayo se refieren a procedimientos para determinar las pérdidas del suelo cemento, los cambios de humedad y de volumen (expansión y contracción) producidos por el humedecimiento y secamiento repetido de especímenes endurecidos de suelo cemento. Los especímenes son compactados en un molde, antes de la hidratación del cemento, hasta peso unitario máximo con el contenido óptimo de humedad, empleando los procedimientos de compactación descritos en el ensayo para la determinación de las relaciones humedad-peso unitario de mezclas de suelo cemento, **Método 6.1.7.5.**

Se prevén dos métodos según la granulometría del suelo, para la preparación del material para moldear los especímenes, aplicando los mismos criterios de los métodos A y B del ensayo del **Método 6.1.7.5.**

6.1.8.6.2. EQUIPOS Y MATERIALES

1. Para el presente ensayo se utilizan los mismos equipos requeridos por el **Método 6.1.7.5 (Ver Figura 6.1_ 226 del Método 6.1.7.5).** Adicionalmente, se necesitan los que se describen a continuación.
2. Un horno termostáticamente controlado que pueda mantener temperaturas de $71^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ($160 \pm 5^{\circ}\text{F}$) para secado de los especímenes compactados.

3. Cámara húmeda

Una cámara húmeda o un recipiente cubierto que pueda mantener una temperatura de $21 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ ($70 \pm 3^{\circ}\text{F}$) con una humedad relativa del 100% para un almacenamiento de 7 días de los especímenes compactados.

4. Baño de agua

Cantidad adecuada para sumergir especímenes compactados en el agua a la temperatura ambiente.

5. Cepillo de cerdas de alambre

Un cepillo de cerdas de alambre calibre 20 de 50 por 1,6 mm (2" por 1/16") compuesto por 50 grupos de 10 cerdas cada uno y montados para que formen 5 filas longitudinales y 10 filas transversales de cerdas sobre un bloque de madera dura de 191 por 64 mm (7½ por 2½").

6. Escarificador

Un punzón o aparato similar para remover el plano liso de la primera y segunda capa del espécimen.

7. Dispositivo de medida

Un dispositivo adecuado para la medición precisa de las alturas y diámetros de los especímenes de ensayo con precisión de 0,25 mm (0.01”).

8. Bandejas y soportes adecuados para el manejo de materiales.
9. Una probeta de vidrio con 250 ml de capacidad para medir agua.

6.1.8.6.3. METODO A, EMPLEANDO MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ DE 4,75 MM (NO.4)

A. PREPARACIÓN DEL MATERIAL PARA EL MOLDEO DE ESPECÍMENES

10. Prepárense las muestras de suelo de acuerdo con los procedimientos descritos en el Método A del ensayo para las relaciones de humedad-peso unitario de mezclas de suelo-cemento **Método 6.1.7.5**.
11. Escójase una cantidad suficiente de suelo preparado como se indicó en el numeral 12 para proporcionar dos muestras compactadas (Nota 1) y las muestras requeridas para determinación de la humedad.

Nota 1: Usualmente sólo un espécimen (identificado con el N°2) se necesita para ensayos de rutina; el otro espécimen (identificado con el N°1) se emplea para investigaciones y ensayos de suelos poco usuales.

12. Agréguese al suelo de acuerdo con el diseño, la cantidad requerida de cemento. Mézclase el cemento y el suelo completamente hasta lograr un color uniforme.
13. Agréguese suficiente agua para llevar la mezcla a su contenido óptimo de humedad en el momento de la compactación y mézclase completamente. Cuando el suelo que se emplea sea de textura arcillosa pesada (grasa), compáctese la mezcla de suelo, cemento y agua en la cazuela plana hasta tener un espesor de alrededor de 50 mm (2”) empleando el martillo del ensayo Próctor estándar o un martillo de mano similar; cúbrase y déjese en reposo entre 5 y 10 minutos para que haya dispersión de la humedad y permitir una absorción más completa. Después, disgréguese completamente la mezcla, sin reducir el tamaño natural de las partículas, hasta cuando a simple vista se note que pase por el tamiz 4,75 mm (N°4) y vuélvase a mezclar.

B. MOLDEO DE ESPECÍMENES

14. Fórmese un espécimen compactando la mezcla de suelo-cemento en el molde (con el collar ajustado), y recórtese la superficie del espécimen de acuerdo con el Método A del **Método 6.1.7.5**; adicionalmente escarifíquense las partes superiores de la primera y segunda capa para romper planos lisos de compactación, antes de colocar y compactar las capas subsiguientes. Esta escarificación deberá formar ranuras en ángulos rectos una de otra de aproximadamente de 3,2 mm (1/8”) de ancho, 3,2 mm (1/8”) de profundidad y de 6,4 mm (¼”) de separación.

Durante la compactación tómesese de una bachada una muestra representativa de la mezcla de suelo cemento, que no pese menos de 100 gramos, pésese inmediatamente y séquese en el horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$) por lo menos durante 12 horas, o hasta peso constante. Calcúlese el porcentaje de humedad como se prescribe en el Método **6.1.7.5** para comprobar que está en el óptimo.

15. Pése el espécimen compactado y el molde, extráigase el espécimen del molde, y calcúlese el peso secado al horno de cada espécimen en kg/m³ (libras por pie cúbico), para comprobar el peso unitario del diseño.
16. Identifíquese el espécimen con un membrete metálico (u otro dispositivo adecuado) como N°1 (Nota 1), juntamente con otras marcas de identificación necesarias, y empléese para obtener datos sobre cambios de humedad y de volumen durante el ensayo.
17. Fórmese un segundo espécimen tan rápidamente como sea posible y determínese el porcentaje de humedad y el peso unitario secado al horno como se describió en los numerales 14 y 15. Identifíquese este espécimen como el N°2 conjuntamente con otras marcas de identificación necesarias y empléese para obtener datos sobre las pérdidas del suelo cemento durante el ensayo.
18. Determínese el diámetro y la altura promedio del espécimen N° 1 y calcúlese su volumen.
19. Colóquense los especímenes en dispositivos adecuados en la cámara húmeda y protéjanse del agua libre durante un período de 7 días. Pése y mídase el espécimen N°1 al final del almacenamiento de 7 días para obtener datos para el cálculo de su contenido de humedad y del volumen (Nota 2).

Nota 2: *Es importante que todas las medidas de altura y diámetro se hagan con precisión de 0,25 mm (0.01") y que sean tomadas en los mismos puntos sobre el espécimen en todo momento.*

C.PROCEDIMIENTO

20. Al final del período de almacenamiento en la cámara húmeda, sumérjanse los especímenes en agua, a temperatura ambiente durante un período de 5 horas. Luego, pése y mídase el espécimen N°1 (cambio de volumen y humedad del espécimen).
21. Colóquense ambos especímenes en un horno a $71 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ($160 \pm 5^{\circ}\text{F}$) durante 42 horas y remuévanse.

Pése y mídase el espécimen N°1. Dése dos pasadas firmes al espécimen N°2 (especimen para la pérdida de suelo cemento) sobre toda su área, con el cepillo de alambre. El cepillo deberá mantenerse con su eje longitudinal paralelo al eje longitudinal del espécimen o paralelo a los bordes, como sea necesario, para cubrir toda su superficie. Aplíquense esas pasadas con un golpe firme que corresponda aproximadamente a 13,3 N (3 lbf) (Nota 5).

Se requerirán de 18 a 20 pasadas verticales con el cepillo para cubrir los lados del espécimen y cuatro pasadas sobre cada extremo.

Nota 3: *Esta presión se mide de la siguiente forma: Colóquese el espécimen en la posición vertical sobre el borde de una balanza de plataforma y póngase la balanza en cero. Aplíquense los golpes de cepillado verticales al espécimen y nótese la fuerza para registrar aproximadamente 13,3 N (3 lb).*

22. Los procedimientos descritos en los numerales 22 y 23 constituyen un ciclo (48 horas) de humedecimiento y secamiento. Sumérjase de nuevo el espécimen en agua y continúese el procedimiento durante 12 ciclos (Nota 4). El espécimen N°1 podrá discontinuarse antes de los 12 ciclos si las medidas llegan a hacerse imprecisas debido a pérdidas de suelo-cemento del espécimen (Nota 5).

Nota 4: Cuando se efectúan investigaciones o estudios especiales, las determinaciones del peso del espécimen N°2 antes y después del cepillado se hace generalmente al final de cada ciclo.

Nota 5: Si no es posible correr ciclos continuamente a causa de Domingos, fiestas o por cualquier otra razón, manténgase el espécimen en el horno durante el tiempo de receso, si fuere posible.

23. Después de los 12 ciclos de ensayo, séquense los especímenes hasta peso constante a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$) y pésense para hallar su peso secado al horno.
24. Los datos recogidos permitirán cálculos de cambios de volumen y peso unitario del espécimen N°1 así como las pérdidas de suelo-cemento del espécimen N°2 después de los ciclos de ensayo.

6.1.8.6.4. METODO B. EMPLEANDO MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ DE 19,0 MM (3/4")

A. PREPARACIÓN DEL MATERIAL PARA EL MOLDEO DE ESPECÍMENES

25. Prepárese la muestra de suelo de acuerdo con el Método B del **Método 6.1.7.5**, del ensayo para las relaciones de humedad-peso unitario de mezclas de suelo-cemento.
26. Escójanse y manténganse separadamente muestras representativas de suelo que pasa tamiz de 4,75 mm (N°4) y de agregado saturado con superficie seca que pasa tamiz de 19 mm (3/4") y queda retenido en el de 4,75 mm (N°4), de manera que la muestra total sea suficiente para proporcionar (**véase la Nota 1**) dos (2) especímenes compactados más las muestras requeridas para determinación de la humedad. El porcentaje en peso secado al horno, del agregado que pasa el tamiz de 19,00 mm (3/4") y que queda retenido en el de 4,75 mm (N°4) deberá ser el mismo que el porcentaje que pasa el tamiz de 75 mm (3") que queda retenido en el de 4,75 mm (N°4) de la muestra original. Una vez efectuado el reemplazo requerido, únense las porciones, formando la mezcla total.
27. Agréguese a la porción de muestra que pasa tamiz de 4,75 mm (N°4), la cantidad de cemento, requerida según diseño, para la muestra total especificada en el numeral 28. Mézclase completamente el cemento y el suelo hasta lograr un color uniforme.
28. Agréguese agua suficiente para llevar la mezcla total de suelo-cemento hasta su contenido óptimo de humedad en el momento de la compactación, facilitándose la dispersión de humedad como se prescribe para el Método A, en el numeral 15.
29. Después de preparada la mezcla como se describió en los numerales 27 a 30, agréguese a la mezcla el agregado grueso saturado, con superficie seca, y mézclase completamente.

B. ESPECÍMENES MOLDEADOS

30. Fórmese un espécimen compactando la mezcla de suelo-cemento en el molde (con el collar ajustado) y recórtese la superficie del espécimen, de acuerdo con el Método B del **Método 6.1.7.5**, pero clavando repetidamente un cuchillo doméstico en cada capa colocada, antes de ser compactada, a fin de obtener una distribución uniforme del material retenido en el tamiz de 4,75 mm (N°4), y escarificando la parte superior de la primera y segunda capa como se describe en el numeral 16 del Método A. Durante la compactación, tómese de una bachada una muestra representativa de suelo cemento que no pese menos de 500 g, pésese inmediatamente, y séquese en un horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$) por un mínimo de 12 horas o hasta peso constante, para determinar la humedad de ensayo y comprobar la humedad de diseño. Fórmese, tan rápidamente como sea posible, un segundo espécimen, de la misma manera que el primero.

31. Pése cada espécimen compactado para verificar la densidad de diseño, identifíquese y mídase el espécimen N°1 (Nota 1), colóquese en el cuarto húmedo, y mídase de nuevo el espécimen N°1 al final del período de almacenamiento de 7 días, como se describe en los numerales 17 a 21. (Nota. 2).

C. PROCEDIMIENTO

32. Procédase como se indicó en el “Procedimiento”, Método A.

6.1.8.6.5. CÁLCULOS

33. Calcúlense los cambios de volumen y humedad y las pérdidas de los especímenes, en la siguiente forma:

- Calcúlese la diferencia entre el volumen del espécimen N°1 en el momento del moldeo y los volúmenes subsiguientes como un porcentaje de volumen original.

- Calcúlese el contenido de humedad del espécimen N°1 en el momento del moldeo y los subsiguientes contenidos de humedad como un porcentaje del peso del espécimen original secado en el horno.

- Corrijase el peso seco al horno del espécimen N°2, obtenido en 25, por el agua que ha reaccionado con el cemento y el suelo durante el ensayo y que es retenida en el espécimen a 110°C (230°F), así:

$$\text{Peso seco al horno corregido} = (A/B) \times 100$$

Donde:

A = Peso secado al horno a 110°C (230°F).

B = Porcentaje de agua retenida en el espécimen + 100.

El porcentaje de agua retenida en el espécimen N°2 después de secamiento a 110°C para emplear en la fórmula de arriba puede suponerse igual al agua retenida en el espécimen N°1.

Cuando no se moldean los especímenes N°1, no se dispone de los datos precedentes y se emplearán los valores promedios prescritos en la **Tabla 6.1_51**.

Tabla 6.1_51. Valores promedio de agua retenida

Clasificación del suelo según AAHTO	Promedio de agua retenida después de secado a 110°C (%)
A-1; A3	1,5
A-2	2,5
A-4; A-5	3,0
A-6; A-7	3,5

Calcúlese la pérdida de suelo-cemento del espécimen N°2 con un porcentaje del peso original del espécimen secado al horno, así:

$$\text{Pérdida de suelo cemento, \%} = \frac{X}{Y} \times 100$$

Donde:

X = Peso original secado al horno calculado menos peso final corregido, secado al horno.

Y = Peso original calculado secado al horno.

6.1.8.6.6. INFORME

El informe debe incluir:

a) Humedad óptima de diseño y peso unitario máximo de los especímenes moldeados.

b) Humedad y peso unitario logrados en los especímenes moldeados.

Nota 6: Una buena práctica de laboratorio permite la tolerancia siguiente entre los factores de diseño y los obtenidos en especímenes moldeados.

c) Humedad $\pm 1\%$.

d) Peso unitario $\pm 48 \text{ kg/m}^3$ (3 lb/pe³).

e) El contenido de cemento de diseño, en porcentaje, en especímenes moldeados.

f) El contenido de cemento, en porcentaje, obtenido en especímenes moldeados.

g) El máximo cambio de volumen, en porcentaje, y el contenido máximo de humedad durante el ensayo del espécimen N°1.

h) La pérdida del suelo cemento, en porcentaje, del espécimen N°2.

SECCION 6.1.8.7.

PREPARACIÓN EN EL LABORATORIO DE PROBETAS DE SUELO CEMENTO (ASTM D1632)

6.1.8.7.1. OBJETO

Este método tiene por objeto establecer el procedimiento para moldear y curar en el laboratorio probetas de suelo-cemento, utilizadas en pruebas de compresión, bajo condiciones precisas de ensayo y de materiales.

6.1.8.7.2. EQUIPOS Y MATERIALES

C.1. Molde

(Figura 6.1_228)- El molde para preparación de la probeta de suelo-cemento debe tener diámetro interior de $71,13 \pm 0,01$ mm ($2.8'' \pm 0.01''$) y altura de 229 mm (9''), para moldear especímenes de 71,1 mm (2.8'') de diámetro y 142,2 mm (5.6'') de altura. Los accesorios del molde deben ser los siguientes: dos pistones (superior e inferior), de acero maquinado, de diámetro menor en 0,13 mm (0.005'') que el del molde; una extensión del molde de 152 mm (6'') de largo; un anillo espaciador; al menos dos discos separadores, de aluminio, de 1,54 mm (1/16'') de espesor y 70,6 (2.78'') de diámetro.

C.2. Tamices

Se utilizarán los tamices de: 50 mm (2''), 19,0 mm (3/4''), 4,75 mm (N°4) y 1,18 mm (N°16).

C.3. Balanzas

Una balanza de 12 Kg. (25 lb.) de capacidad, con precisión de 5 g (0.01 lb) y una balanza de 1000 g de capacidad con precisión de 0,1 g.

C.4. Horno de Secado

Será de control termostático, capaz de mantener una temperatura de aproximadamente $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$).

C.5. Aparato de Compactación

Puede ser una máquina de compresión o un marco de compresión con capacidad suficiente para aplicar 270 kN (60.000 lbf) aproximadamente, o también una máquina de compactación por impacto, con un dispositivo controlador del peso de caída, el cual debe ser de unos 7 kg (15 lb).

C.6. Extractor de la probeta compactada

Está compuesto de pistón, prensa y armazón, necesarios para extraer la muestra compactada, sin dañarla, por extrusión.

C.7. Elementos varios

Palustre, espátula, recipiente de mezcla o mezcladora, recipiente graduado para medir el agua, latas para medición del contenido de humedad, etc.

C.8. Varilla compactadora

Varilla de acero, lisa, de diámetro 12,7 mm ($\frac{1}{2}$ "), longitud de 510 mm (20") y con extremos de corte recto.

C.9. Cámara húmeda

Debe ser capaz de mantener una temperatura de $23,0 \pm 1^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 2.0^\circ\text{F}$) y una humedad relativa no menor del 96% para el curado húmedo de las probetas.

6.1.8.7.3. PREPARACIÓN DE LOS MATERIALES

- a. Colóquense los materiales a la temperatura ambiente, preferiblemente entre 18° y 24°C (65 a 75°F), antes de comenzar la preparación.
- b. Guárdese el cemento en un lugar seco, en recipientes a prueba de humedad, preferiblemente de metal. Mézclase cuidadosamente el cemento con el fin de obtener una muestra homogénea. Pásese el cemento a través del tamiz N°16 (1,18 mm) y descártese el material retenido (terrones, grumos).
- c. El agua de mezcla deberá ser potable.
- d. Séquese la muestra de suelo, si está húmeda, hasta que se note friable al introducir en ella la espátula. El secado debe ser al aire o con un aparato de secado, siempre y cuando la temperatura no exceda de los 60°C (140°F). Desháganse cuidadosamente los grumos de suelo, respetando el tamaño natural de las partículas individuales.
- e. Tamícese una cantidad adecuada de este suelo pulverizado, que sea representativa de él, empleado los tamices de 50 mm (2"), 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ ") y 4,75 mm (N°4).
- f. Descártese cualquier agregado retenido en el tamiz de 50 mm (2"). Remuévase el agregado retenido en el tamiz de 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ "), para reemplazarlo por una cantidad igual, en peso, de material que pasa el tamiz de 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ ") y que es retenido en el tamiz de 4,75 mm (N°4).
- g. Este material de reemplazo debe ser obtenido a partir de la muestra original.

Nota 1: *La probeta de suelo-cemento que se preparará, estará hecha preferiblemente con suelo que tenga un porcentaje retenido en el tamiz de 4,75 mm (N°4) no superior al 35% y un porcentaje retenido en el tamiz de $425\ \mu\text{m}$ (N°40) no superior al 85%.*

- h. Remójese el material que pasa el tamiz de 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ ") y que se retuvo en el tamiz N°4, por espacio de 24 horas, y luego séquese superficialmente. Determinéense sus propiedades de absorción.
- i. Tómese una muestra de 100 g del suelo que pasa el tamiz N°4 y séquese al horno hasta obtener peso constante; determínese el contenido de humedad de la muestra, dato que permitirá calcular la cantidad de agua que deberá ser agregada a la mezcla de suelo-cemento.
- j. Con una porción representativa del material que pasa el tamiz N°4, y otra de la fracción que pasa el tamiz de 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ ") y que es retenida en el N°4, preparadas según los numerales 14, 15 y 16., prepárese una muestra de mezcla total cuyo tamaño sea suficiente para elaborar tres probetas de suelo-cemento.

6.1.8.7.4. PESAJE

Pésense con precisión de 5 g (0.01 lb.), las cantidades diseñadas de suelo que pasa el tamiz N°4 y de suelo comprendido entre los tamices de 19,0 mm (3/4") y N°4. Pésese con precisión de 1 g la cantidad diseñada de cemento y mídase la cantidad diseñada de agua, con precisión de 1 ml.

Nota 2: Las cantidades diseñadas de suelo, cemento y agua se basan usualmente en resultados obtenidos de otros ensayos: el contenido "óptimo" de agua de la mezcla y la "máxima" densidad a la cual la probeta debe ser compactada se determinan mediante el **Método 6.1.7.5**; la cantidad de cemento es usualmente la necesaria para producir suelo-cemento de calidad adecuada para construcción de vías y bases. Esta cantidad de cemento, es indicada por el criterio establecido para interpretar los resultados obtenidos del **Método 6.1.7.6**.

6.1.8.7.5. MEZCLA

A. GENERAL

La mezcla de suelo-cemento, hecha a mano o mediante una mezcladora, debe proporcionar bachadas, cada una con un 10% en exceso de la necesaria para el moldeo de las probetas. Protéjase éste material contra pérdida de humedad; pésese una porción representativa, séquese al horno y determínese la humedad real. Cuando la mezcla de suelo-cemento contenga agregado retenido en el tamiz N°4, la porción para determinar la humedad debe pesar al menos 500 g, con precisión de 1 g; si no tiene agregado retenido en el tamiz N°4, debe pesar al menos 100 g, con precisión de 0,1 g.

B. MEZCLA A MANO

Mézclese la bachada en un recipiente metálico limpio y no absorbente, o sobre una plancha de acero, con ayuda de un palustre, de la siguiente manera:

- a) Mézclese el cemento y el suelo, menos el material retenido en el tamiz N°4, hasta lograr una distribución uniforme.
- b) Agréguese el agua y mézclese, hasta lograr una pasta uniforme.
- c) Añádase el material grueso secado superficialmente y mézclese hasta que se distribuya uniformemente dentro de la pasta.

C. MEZCLA MECÁNICA

Sígase la secuencia especificada para mezcla a mano. Para evitar segregación, deposítase la cantidad así mezclada en un recipiente metálico, limpio y no absorbente, y vuélvase a mezclar, pero manualmente con ayuda del palustre.

Nota 3: La operación de mezcla y compactación de las probetas debe ser continua, y el tiempo transcurrido entre la adición del agua y la compactación final, no debe exceder los 30 minutos.

6.1.8.7.6. TAMAÑO DE LA PROBETA PARA ENSAYO DE COMPRESIÓN

La probeta debe tener forma cilíndrica, con una altura igual al doble del diámetro. En este método se preparan probetas de 71 mm (2.8") de diámetro por 142 mm (5.6") de altura, pero el mismo procedimiento puede ser usado para moldear probetas mayores o menores.

6.1.8.7.7. MOLDEO

- a. Aplíquese una capa delgada de aceite comercial en las paredes interiores del molde y de la extensión, así como en los dos discos separadores. Colóquese el molde en posición vertical, con el anillo espaciador sobre el pistón inferior en forma tal, que éste se introduzca en el molde de 25 mm (1”).
- b. Colóquese un disco separador sobre el pistón inferior y ajústese la extensión del molde. Deposítense en el molde un peso predeterminado de mezcla, que dé un espécimen con el peso unitario de diseño, cuando sea compactado hasta una altura de 142 mm (5.6”) dentro del molde.- Cuando el suelo-cemento contenga agregado retenido en el tamiz N°4 (4,75 mm), distribúyase uniformemente la mezcla dentro del molde con ayuda de la espátula.
- c. Luego compáctese la mezcla con la varilla compactadora, introduciendo su extremo recto dentro de la mezcla, en forma firme y con algo de impacto, hacia arriba y hacia abajo sobre una misma trayectoria, y repitiendo el movimiento en varios puntos uniformemente distribuidos en la sección transversal del cilindro.
- d. Esta operación se debe hacer cuidadosamente para no dejar vacíos en mezclas arcillosas de suelo-cemento. Repítase el proceso hasta que la mezcla se halle compactada hasta una altura de 150 mm (6”) aproximadamente.
- e. Quítense la extensión del molde y colóquese el otro disco separador sobre la mezcla. Remuévase también el anillo espaciador del extremo inferior. Colóquese el pistón superior en posición y aplíquese una carga, sea estacionaria mediante una máquina de compresión o sea dinámica mediante una máquina de impacto, hasta que la mezcla quede comprimida a una altura de 142 mm (5.6”).
- f. Remuévanse los pistones y discos separadores, dejándose la mezcla de suelo-cemento en el molde.

6.1.8.7.8. CURADO

Cúrense las probetas dentro de los moldes en la cámara húmeda, por 12 horas o más si es necesario, para permitir la utilización del extractor de las probetas compactadas. Devuélvanse las probetas luego de extraídas, a la cámara húmeda y evítese que goteen durante el tiempo de curado. Generalmente las probetas son ensayadas a compresión en condición húmeda, inmediatamente después de ser removidas de la cámara.

Nota 4: *Otros procedimientos de acondicionamiento en este punto de la preparación, como operaciones de remojo, secado al aire o al horno, humedecimiento y secado alternado, etc., pueden ser especificados después del curado inicial de la mezcla. Estos procedimientos deben ser indicados con detalle en el informe.*

6.1.8.7.9. REFRENTADO

Antes del ensayo a compresión, deben refrentarse los extremos de las probetas que no se consideren planos (tolerancia de 0,05 mm (0.002”) de separación del plano).

El refrentado puede hacerse con los elementos comunes para ello (Azufre). La capa del refrentado debe ser lo más delgada posible, y aplicarse con suficiente anterioridad para que endurezca y no se fracture cuando la probeta se someta a compresión (tiempo sugerido: 3h. a

23°C). Durante este período de endurecimiento, debe mantenerse constante la humedad de las probetas.

6.1.8.7.10. INFORME

El informe debe incluir los siguientes datos acerca de la mezcla de suelo-cemento:

- Gradación del suelo tal como fue recibido y usado en la elaboración de las probetas.
- Identificación de las probetas.
- Humedad de diseño.
- Peso específico seco (al horno) de diseño.
- Contenido de cemento de diseño.
- Humedad real.
- Peso específico seco (al horno) real.
- Contenido de cemento real.
- Detalles de los procedimientos de curado y de acondicionamiento de las probetas.

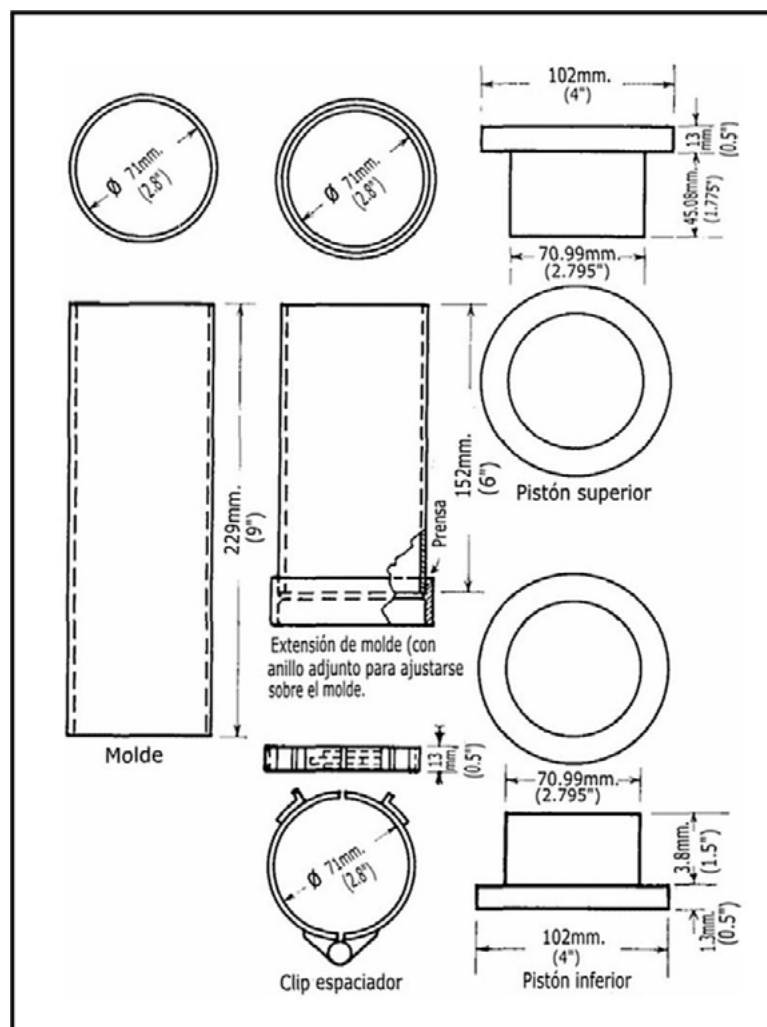


Figura 6.1_227. MOLDE DE CILINDRO DE SUELO CEMENTO

SECCION 6.1.8.8.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS PREPARADOS DE SUELO CEMENTO (ASTM D1633)

6.1.8.8.1. OBJETO

Este método se refiere a la determinación de la resistencia a la compresión del suelo cemento empleando cilindros moldeados como especímenes de ensayo.

Se proporcionan dos procedimientos alternativos:

Método A

Este procedimiento emplea un cilindro de ensayo de 101,6 mm (4.0") de diámetro y de 116,4 mm (4.584") de altura. La relación de la altura al diámetro es de 1,15.

Método B

Este procedimiento emplea un cilindro de ensayo de 71,1 mm (2.8") de diámetro y de 142,2 mm (5.6") de altura. La relación de la altura al diámetro es de 2,0.

Las unidades normales serán kPa y mm.

6.1.8.8.2. USO Y SIGNIFICADO

1. El Método A hace uso del mismo equipo de compactación y moldes comúnmente disponibles en los laboratorios de suelos y empleados para otros ensayos de suelo-cemento. Se considera que este método suministra una medida relativa de la resistencia en lugar de un valor exacto de la resistencia a la compresión. Debido a una menor relación de altura al diámetro (1,15) de los cilindros, la resistencia a la compresión determinada mediante el Método A será normalmente mayor que la del Método B.
2. A causa de la mayor relación de la altura al diámetro (2,00), el Método B da una mejor medida de la resistencia a la compresión desde un punto de vista técnico, ya que reduce condiciones complejas de esfuerzos que pueden presentarse durante el aplastamiento de especímenes del Método A.
3. En la práctica, el Método A ha sido empleado más comúnmente que el Método B. Como consecuencia de esto, ha sido costumbre evaluar o especificar valores de resistencia a la compresión según el Método A.

En el punto "Procedimiento" se da un factor para convertir valores de resistencia a la compresión con base en la relación entre la altura y el diámetro.

6.1.8.8.3. EQUIPOS

4. Máquina para ensayo de compresión

Puede ser de cualquier tipo que tenga capacidad suficiente y adecuado control para proporcionar la tasa de carga prescrita en el numeral 15 y deberá cumplir con las exigencias del numeral 15 de la práctica E-4 de la ASTM.

La máquina de ensayo deberá estar provista de dos superficies de apoyo de acero templado (Véase la Nota N°1), una de las cuales es un bloque de levantamiento asentado esféricamente, el cual normalmente se apoya sobre la superficie superior del espécimen, y el otro un bloque rígido plano sobre el cual descansará el espécimen.

Las superficies de apoyo deberán ser al menos tan grandes como la superficie del espécimen a la cual se aplica la carga. Las superficies de apoyo, cuando nuevas, no deberán apartarse de un plano en más de 0,013 mm (0.0005") en ningún punto, y deberán mantenerse dentro de un límite de variación permisible de 0,02 mm (0.001"). En el bloque asentado esféricamente, el diámetro de la esfera no deberá exceder al del espécimen y el centro de la esfera deberá coincidir con el centro de la superficie de soporte.

La parte móvil de este bloque deberá mantenerse estrechamente ajustada en el asentamiento esférico, pero el diseño deberá ser tal, que la superficie de soporte pueda rotarse libremente e inclinarse en ángulos pequeños en cualquier dirección.

Nota 1: *Es deseable que las superficies de soporte de los bloques empleados para el ensayo de compresión del suelo cemento tengan una dureza no menor de 60 HRC. (Unidades de Dureza Rockwell con punta de diamante) (AASHTO T 80, ASTM E-18, ICONTEC 19)*

- Equipos y moldes de compactación, de acuerdo con los **Métodos** S0706 para el Método A; o con el **Método 6.1.7.7** para el Método B.

6.1.8.8.4. ESPECÍMENES DE ENSAYO

- Moldéense los especímenes de ensayo así:

Método A.-Especímenes de 101,6 mm (4") de diámetro y de 116,4 mm (4.584") de altura y moldeados de acuerdo con el **Método 6.1.7.6**.

Método B.-Especímenes de 71,1 mm (2.8") de diámetro y de 142,2 mm (5.6") de altura y moldeados de acuerdo con el **Método 6.1.7.7**.

Nota 2: *Pueden emplearse estos métodos para ensayar especímenes de otros tamaños. Si la muestra del suelo incluye material retenido en el tamiz de 4,75 mm (N°4), se recomienda emplear el Método A. Especímenes más grandes de 101,6 mm (4") de diámetro y 203,2 mm (8") de altura, se moldean de una manera similar al Método B.*

- Cúrense en húmedo los especímenes de acuerdo con el **Método 6.1.7.7**.
- Al final del período húmedo de curado, sumérjanse por 4 horas los especímenes en agua.
- Remuévanse los especímenes del agua y efectúense los ensayos de compresión tan pronto como sea posible, manteniendo húmedo los especímenes, por medio de cáñamo húmedo o bayetilla de envoltura.

Nota 3: *Otros procedimientos de acondicionamiento, como secado al aire o en el horno, o humedecimiento y secamiento alternativamente, pueden especificarse después de un período inicial*

de curado. Los procedimientos de acondicionamiento y curado, deberán indicarse detalladamente en el informe.

10. Compruébese la tersura de las caras con una hoja recta. Si fuere necesario, refréntense los extremos para que cumplan con las exigencias del aparte sobre refrentado de especímenes, el **Método 6.1.7.7**.

6.1.8.8.5. PROCEDIMIENTO

11. Colóquese el bloque inferior de apoyo sobre la mesa o sobre la plataforma de la máquina de ensayo directamente bajo el bloque de apoyo superior asentado esféricamente.
12. Colóquese el espécimen sobre el bloque inferior de apoyo, asegurándose de que el eje vertical del espécimen esté alineado con el centro de empuje del bloque asentado esféricamente. Como este bloque es llevado a apoyarse sobre el espécimen, rótese suavemente a mano su parte móvil de manera que obtenga asentamiento uniforme.
13. Aplíquese la carga continuamente y sin choques. Puede usarse una máquina de ensayo operada por tornillo aproximadamente a 1 mm (0.05”) por minuto. Con máquinas hidráulicas, ajústese la carga a una tasa constante dentro de los límites de 140 ± 70 kPa/s (20 ± 10 lbs/pulgada²/s) de acuerdo con la resistencia del espécimen. Regístrese la carga total a la falla del espécimen de ensayo con aproximación de 40 N (10 lbs).

6.1.8.8.6. CÁLCULOS

14. Calcúlese la resistencia unitaria a la compresión del espécimen dividiendo la carga máxima por el área de la sección transversal.

Nota 4: Si se desea, establézcanse tolerancias para la relación de altura/diámetro (h/d), multiplicando la resistencia a la compresión de especímenes del Método B por 1,10. Esto convierte la resistencia para una relación h/d de 2,00 a la de una relación de h/d de 1,15 comúnmente empleada en ensayos de resistencia de suelo cemento (Véase “Uso y significado”). Esta conversión ha sido encontrada aplicable para el suelo cemento.

6.1.8.8.7. PRECISIÓN Y TOLERANCIA

15. La precisión y tolerancia de este método de ensayo no ha sido establecida mediante un programa de investigación de varios laboratorios. Sin embargo, con base en los datos de ensayo que están disponibles, lo siguiente puede servir como guía para la variabilidad de los resultados de ensayos de compresión.

Se efectuaron ensayos en un laboratorio sencillo sobre 122 grupos de especímenes dobles, moldeados a partir de 21 materiales diferentes de suelo. La diferencia promedio en la resistencia sobre especímenes, duplicados fue de 8,1% y la diferencia media de 6,2%. Estos valores se expresan como el porcentaje de la resistencia promedio de los dos especímenes, en la siguiente forma:

$$\% \text{ de diferencia} = \frac{\text{Valor alto} - \text{Valor bajo}}{\text{Valor alto} + \text{Valor bajo}} \times 100$$

En la **Figura 6.1_ 229**, se muestra la distribución de la variación. Los datos cubren un rango amplio de contenidos de cemento y de resistencia a la compresión.

6.1.8.8.8. INFORME

El informe deberá incluir:

- a) Número de identificación del espécimen.
- b) Diámetro y altura, mm (pulgada).
- c) Área de la sección transversal, mm² (pulgada²).
- d) Carga máxima, con aproximación a los 40 N (10 lbs) más próximas.
- e) Factor de conversión, si se usó, para la relación de la altura al diámetro (**Véase la Nota N°4**).
- f) Resistencia a la compresión, calculada con aproximación a 35 kPa (5 lbs/pulg²).
- g) Edad del espécimen, y
- h) Detalles de los períodos de curado y acondicionamiento, y contenido de humedad en el momento del ensayo.

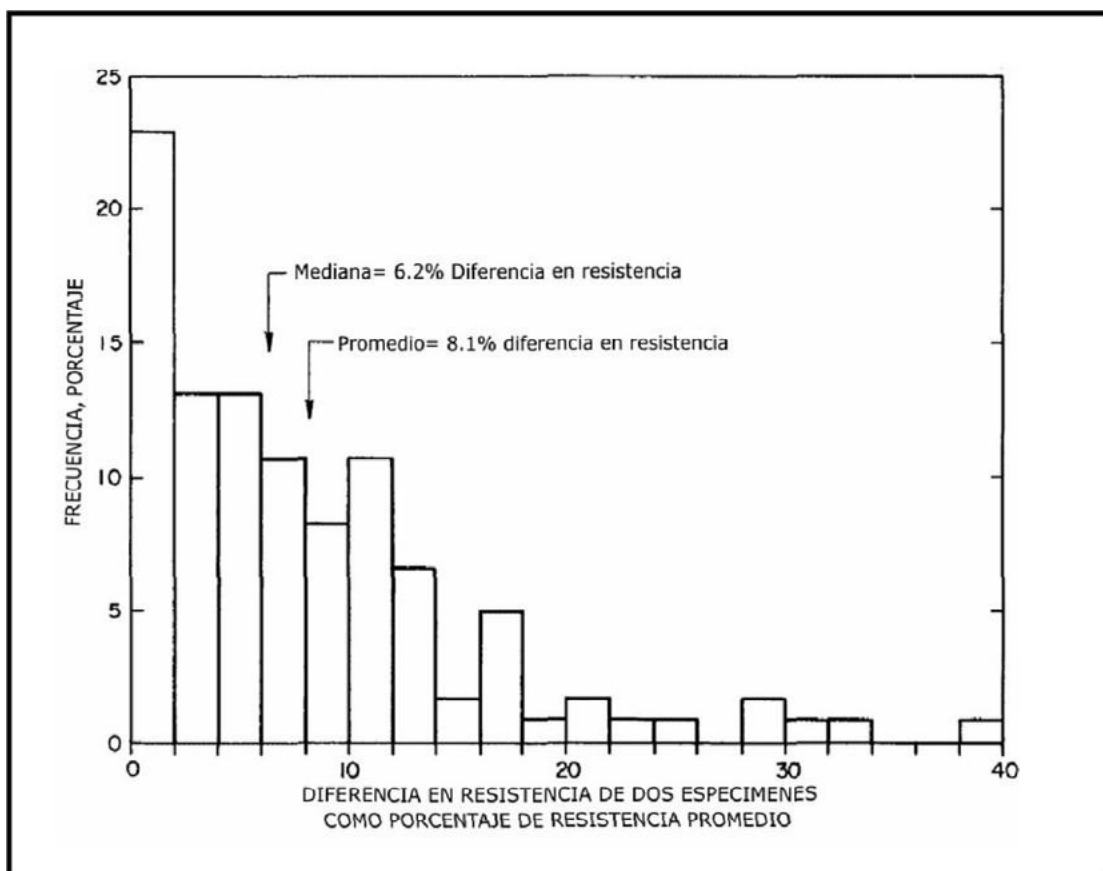


Figura 6.1_228. DISTRIBUCIÓN DE LA VARIACIÓN EN EL RESULTADO DEL ENSAYO EN 122 ESPECÍMENES

SECCION 6.1.8.9.

CONTENIDO DE CEMENTO EN MEZCLAS FRESCAS DE SUELO CEMENTO (ASTM D2901)

6.1.8.9.1. OBJETO

Este método se refiere a la determinación del contenido de cemento en mezclas frescas de suelo cemento con suelos o áridos.

6.1.8.9.2. USO Y SIGNIFICADO

Este método determina el contenido de cemento mediante análisis químico, y fue desarrollado principalmente como un ensayo relativamente rápido para emplear en el sitio de la construcción, con el fin de verificar que las mezclas cumplan con las especificaciones. El método sirve para ensayar los materiales una vez se ha terminado la mezcla.

6.1.8.9.3. EQUIPOS

- Balanza con capacidad de 1000 g o más, y precisión de 0,1 g.

A. ARTEFACTOS DE VIDRIO

Un cilindro graduado de 25 ml y otro de 1000 ml, buretas de 25 ml, pipetas volumétricas de 10 ml, frascos Erlenmeyer de 250 ml, gotero para drogas médicas.

B. ARTEFACTOS DE PLÁSTICO

Recipiente de polietileno de 2 l (2 cuartos de galón) con tapas de cierre instantáneo, embudo de plástico de 300 mm (12") de diámetro, botellas de polietileno de 20 l (5 galones) para el cloruro de amonio y para el agua destilada y desmineralizada.

- Soporte para bureta de 25 ml.
- Agitador magnético y barra de agitación.
- Varilla de agitación de acero inoxidable aproximadamente de 300 mm (12") de largo.
- Se recomienda un medidor de pH, o papel indicador (rango de 10 a 14).

6.1.8.9.4. REACTIVOS

A. PUREZA DE LOS REACTIVOS

Para todos los ensayos deberán emplearse reactivos de grados químicos. A menos que se especifique de manera diferente, se buscará que todos los reactivos cumplan con las especificaciones para reactivos químicos cualitativos de la Sociedad Americana de Química.

Pueden emplearse grados diferentes si se tiene certeza de que el reactivo es de pureza suficientemente alta que permita su empleo sin disminuir la precisión de la determinación.

B. SOLUCIÓN DE CLORURO DE AMONIO (10%)

Transfíranse 1893 g. de cloruro de amonio granular (NH_4Cl) a una botella plástica de 5 galones.

Complétense hasta 5 galones con agua destilada o desmineralizada y mézclense bien (en unidad SI úsese 2000 g. de cloruro de amonio y 20 l de agua).

C. SOLUCIÓN EDTA (0,1 M)

Se halla disponible como una solución previamente preparada en muchos proveedores de productos químicos o también puede prepararse la solución en la siguiente forma: disuélvase 74,45 g. de tetraantato deshidratado de disodio ($\text{Na}_2 \text{C}_{10} \text{H}_{14} \text{N}_2 \text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) en aproximadamente 1 l de agua caliente, destilada o desmineralizada en un vaso de precipitados. Enfríese hasta la temperatura ambiente, transfírase cuantitativamente a un frasco volumétrico de 2 l y dilúyase hasta la marca con agua destilada o desmineralizada. Almacénese en una botella de polietileno.

- Polvo indicador azul indicada de hidroxinaftol

D. SOLUCIÓN DE HIDRÓXIDO DE SODIO (50%)

Se encuentra como un reactivo previamente preparado, bajo en carbonatos. Dilúyase para su empleo con agua destilada 1 + 1. Esta solución puede prepararse así: Agréguese cuidadosamente 500 g de pastillas de hidróxido de sodio (NaOH) a 600 ml de agua destilada o desmineralizada y déjense enfriar a la temperatura ambiente. Dilúyanse hasta 1 L con agua destilada o desmineralizada. Almacénese en una botella plástica. Para su empleo, dilúyase 1 + 1 con agua destilada o desmineralizada.

- Solución buffer con pH de 10, empleada para calibrar el medidor de pH.

6.1.8.9.5. PREPARACIÓN DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN

A partir de los materiales que se van a emplear para la construcción, deben prepararse tres series de muestras por duplicado con la humedad de diseño y con los siguientes contenidos de cemento respecto del valor de diseño: Serie 1, 2 muestras con el 75%; serie 2, 2 muestras con el 100%; serie 3, 2 muestras con el 125%. Para cada muestra se calculan las cantidades de suelo, cemento y agua, así:

$$W_s = \frac{S}{\left(1 + \frac{M}{100}\right)\left(1 + \frac{C}{100}\right)}$$

$$W_r = \frac{R}{100} \times W_s$$

$$W_f = W_s - W_r$$

$$V_w = \frac{M}{100(W_s - W_c)}$$

Donde:

M = Humedad de diseño, % del peso seco.

C = Contenido de cemento, % del peso seco del suelo.

- R = % del material retenido en el tamiz de 4,75 mm (N°4).
- S = Tamaño de la muestra : 300,0 g cuando el 100% del suelo pasa el tamiz de 4,75 mm(N°4), 700,0 g cuando parte del suelo queda retenido en el tamiz de 4,75 mm (N°4), g.
- Ws = Peso total de suelo g.
- Wr = Peso del material retenido en el tamiz de 4,75 mm (N°4).
- Wf = Peso del material que pasa tamiz de 4,75 mm (N°4), g.
- Wc = Peso de cemento, g.
- Vw = Volumen de agua, ml.

Para cada muestra mézclense completamente el cemento y el suelo hasta que se tenga un color uniforme. Agréguese el agua y mézclense completamente.

Nota 1: *El contenido de humedad del suelo secado al aire tendrá un ligero efecto en la precisión de los resultados de la calibración. Esto puede corregirse empleando cantidades de suelo y agua calculadas en la siguiente forma:*

$$W'_f = \left(1 + \frac{M_s}{100}\right) \times W_f$$

$$V'_w = V_w = (W'_f - W_f)$$

Donde:

Ms = Contenido de humedad del suelo secado al aire que pasa tamiz de 4,75 mm (N°4).

Dependiendo de si la muestra contiene material retenido en el tamiz de 4,75 mm (N°4), sígase-cualquiera de los apartes siguientes:

a) Para suelos en los cuales el 100% pasa tamiz de 4,75 mm (N°4), titúlense 3000 g de muestra como se describe en el apartado de “Cálculos”. Después de titular las seis muestras constrúyase un gráfico que muestre mililitros de solución EDTA contra el % de cemento en peso empleando las cifras promedias de pesos de las series 1, 2 y 3.

b) Para suelos con material retenido en el tamiz de 4,75 mm (N°4), tamícense completamente cada fracción de 700 g. de muestra sobre el tamiz hasta cuando todo el material retenido se halle libre de partículas más pequeñas.

Mézclense el material que pasa el tamiz y pése una porción de 300 g. y titúlese como se describe en el apartado de “Cálculos”. Después de titular las seis muestras, dibújese una gráfica que muestre mililitros de solución EDTA empleando cifras promedias de las series 1, 2 y 3, contra gramos de cemento, Wc 300, en una muestra de 300 g. calculados así:

$$W_{c300} = \frac{300}{700 - W_r} \times W_c$$

Vuélvase a calibrar la curva cada vez que se introduzca una nueva bachada de reactivos químicos.

Resultan imprecisiones cuando el contenido de calcio de las muestras de ensayo difiere de las muestras de calibración. Los ensayos de calibración deberán volverse a efectuar siempre que las muestras varíen suficientemente en el contenido de calcio, cuando se han medido mediante ensayo de titulación sobre los suelos naturales (apartado “Procedimiento para la titulación”).

6.1.8.9.6. MUESTREO

Tómense muestras representativas de la mezcla de suelo-cemento a la conclusión de la mezcla.

Inmediatamente ensáyense las muestras o colóquense en recipientes plásticos cubiertos y ensáyense dentro de los 30 minutos a partir de la conclusión de la mezcla. Dependiendo del material retenido en el tamiz de 4,75 mm (N°4), sígase el aparte a) o b):

a) Para suelos en los cuales 100% pasa tamiz de 4,75 mm (N°4), pésese una porción de 300 g. y titúlese como se describe en el apartado “Procedimiento para la titulación”.

b) Para suelos con material retenido en el tamiz de 4,75 mm (N°4), pésese una muestra de 700 g. Tamícese completamente la muestra sobre el tamiz de 4,75 mm (N°4) hasta que el material retenido quede libre de partículas adheridas más pequeñas. Pésese y regístrese como W_{few} el material total que pase el tamiz. Mézclase el material que pasa dicho tamiz y pésese una porción de 300,0 g. y titúlese como se describe en el apartado “Procedimiento para la titulación”.

Nota 2: Si debe efectuarse alguna corrección por variaciones en el contenido de humedad, determínese ésta, M' en una porción separada del material que pasa tamiz de 4,75 mm (N°4). En la Nota 5 se dan los cálculos para la corrección.

6.1.8.9.7. PROCEDIMIENTO PARA LA TITULACIÓN

Colóquense 300 g. de muestra dentro de un recipiente de polietileno de 2 l (2 cuartos de galón) y agréguese 500 ml de solución de $NH_4 Cl$. Colóquese una cubierta sobre el recipiente y agítase la mezcla durante 2 minutos \pm 2 segundos. Déjese asentar la mezcla durante 4 minutos \pm 2 segundos para obtener una sobrenata clara. Llévase con una pipeta una alícuota de 10 ml de la solución de sobrenata a un vaso con vertedero de 250 ml que contenga una barra magnética de agitación, agréguese 100 ml de agua destilada o desmineralizada. Mientras se mezcla completamente en un agitador magnético, agréguese con un gotero gotas de solución de NaOH hasta que se obtenga un pH entre 13,0 y 13,5 determinado en un medidor de pH o sobre un papel indicador. Cuando se emplee este último, úsese una varilla de agitación para transferir gotas de la solución al papel indicador. Después de ajustar el pH, espérense de 20 a 30 segundos para asegurar que el pH no se desvíe por debajo del rango especificado. Agréguese cuatro gotas de solución de trietanolamina y alrededor de 0,2 g del polvo indicador. Continúese agitando la solución en el agitador magnético.

Titúlese con solución EDTA hasta un punto final completamente azul. Regístrense los mililitros de EDTA requeridos para obtener el punto final.

Nota 3: Puede obtenerse un punto final más definido agregando aproximadamente 90% de la cantidad anticipada de solución EDTA antes de la adición de solución de NaOH.

Nota 4: Todo el equipo debe mantenerse escrupulosamente limpio enjuagándolo completamente con agua destilada o desmineralizada. Todos los reactivos deben almacenarse en recipientes de polietileno.

6.1.8.9.8. CÁLCULOS

Dependiendo de la cantidad de muestra retenida sobre un tamiz de 4,75 mm (N°4), síganse cualquiera de los siguientes apartes:

Si el 100% del suelo pasa el tamiz de 4,75 mm (N°4), léase el contenido de cemento mediante el peso seco del suelo (excluido el cemento) directamente de la curva de calibración que corresponda a los resultados de la titulación en mililitros de EDTA para la muestra de ensayo.

Si el suelo contiene material retenido en el tamiz de 4,75 mm (N°4), léanse los gramos de cemento de la curva de calibración que corresponde a los resultados de la titulación en mililitros de EDTA para la muestra de ensayo. Calcúlense A y B en la siguiente forma:

$$A = \frac{W_{fcw}}{300} \times W_c 300$$

$$B = \frac{700}{1 + \frac{M}{100}}$$

Donde:

W_{fcw} : Gramos de suelo que pasan el tamiz de 4,75 mm, descrito en el apartado 18 b).

$W_c 300$: Gramos de cemento leídos de la curva de calibración.

M: Contenido de la humedad de diseño, %.

A: Gramos de cemento en la muestra de 700 g.

B : Gramos de suelo y de cemento en la muestra de 700 g.

Calcúlese luego C, porcentaje de cemento en peso seco de la muestra total (excluido el cemento), en la siguiente forma:

$$C = \frac{A}{B - A} \times 100$$

Nota 5: Las variaciones del contenido de humedad tendrán un efecto ligero en la precisión del ensayo. La corrección por variación de humedad, C' , puede calcularse así:

$$C' = \frac{1 + \frac{M'}{100}}{1 + \frac{V_w}{W_f + W_c}} \times C$$

Donde:

C' = Porcentaje de cemento corregido por variación de la humedad.

C = Porcentaje de cemento determinado a partir de la muestra de ensayo.

R = Porcentaje de material retenido sobre un tamiz de 4,75 mm (N°4) para las muestras de calibración.

M' = Porcentaje de humedad de la muestra de ensayo determinado como se indica en la Nota 2.

V_w, W_f y W_c : Son cantidades calculadas en el apartado “Uso y significado” de la calibración de la serie 2.

6.1.8.9.9. PRECISIÓN

Durante los años de 1967 y 1968 los programas adelantados por parte de varios laboratorios indicaron un error promedio en la determinación del contenido de cemento del 3,6% [(error /

contenido de cemento) x 100] a partir del cual se estimó un coeficiente de variación del 45% sobre especímenes duplicados empleados en el proceso de calibración. La desviación promedia en mililitros de EDTA fue de 2,4% [(desviación en mililitros) / (mililitros promedios) x 100].

SECCION 6.1.8.10.

CONTENIDO DE CEMENTO EN MEZCLAS ENDURECIDAS DE SUELO-CEMENTO (ASTM D806 AASHTO T144)

6.1.8.10.1. OBJETO

Este método se refiere a la determinación, mediante análisis químico, del contenido de cemento en mezclas de suelo-cemento endurecidas.

6.1.8.10.2. EQUIPOS

1. Balanza analítica, con capacidad de 200 g y precisión de 0,001 g.
2. Papeles de filtro, que incluyan Whatman N°1, de 11 y 15 cm. de diámetro; Whatman N°41, de 15 cm. de diámetro; y Whatman N°2, de 11 o 15 cm. de diámetro.
3. **Aparatos misceláneos**

Equipos complementarios, tales como hornos eléctricos, placas de calentamiento, un pequeño cuarteador, un tamiz de 425 μm (N°40) con cazuela de fondo y tapa, un mortero de hierro fundido con mano y molino de bola si fuera posible.

6.1.8.10.3. REACTIVOS

4. Permanganato de Potasio, solución normal (0,1 N).

Prepárese y normalícese una solución 0,1 N de KMnO_4 .

Nota 1: *El empleo de una solución normal 0,1 de KMnO_4 no es necesario cuando las muestras se titulan de acuerdo con el numeral 15 y los resultados se calculan de acuerdo con el numeral 17.*

6.1.8.10.4. MUESTRAS

5. Deberán escogerse para el ensayo muestras de lo siguiente:
 - Suelo original, representativo de la fase de suelo de la mezcla de suelo-cemento.
 - Cemento, representativo de la fase de cemento de la mezcla del suelo-cemento, y
 - Mezcla de suelo-cemento que se va a analizar.
6. La muestra bruta de laboratorio, de cada componente, deberá pesar aproximadamente 200 gramos. Puede lograrse esto reduciendo la muestra en volumen y, si fuere necesario en tamaño de partículas, mediante el empleo de secamiento, cuarteo y pulverización.

6.1.8.10.5. PROCEDIMIENTO

7. Séquese al horno 25 gramos de cada una de las muestras, hasta peso constante, a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$), para remover la humedad libre. Redúzcase la muestra para que pase el tamiz de $425 \mu\text{m}$ (N°40).
8. Pése en la balanza analítica, las siguientes cantidades de las muestras: Suelo original, 5 gramos; mezclas de suelo-cemento 5 gramos; cemento, 1 gramo. Colóquese cada una de las muestras pesadas en un “beaker” o vaso con pico de 250 ml. Agréguese 50 ml. de HCl (1+1) (**Véase nota 2**) a cada muestra y cúbranse. Hiérvanse levemente durante 5 minutos, sobre la placa de calentamiento.

Nota 2: *En el caso de la muestra de cemento, generalmente es preferible agregar primero 40 ml de agua y agitar para obtener una mezcla completa. Se agregan luego 10 ml de HCl (peso específico 1,19) y se hierva levemente durante un tiempo suficiente para obtener la descomposición del cemento. Rara vez es necesario hervir vigorosamente durante un período largo las muestras de suelo o cemento y los resultados frecuentemente se traducen en una filtración mucho más lenta.*

9. Añádanse 25 ml de agua caliente a los vasos, agítense, déjense asentar momentáneamente y entonces decántense los contenidos a través de un papel de filtro Whatman N°1 (**véase Nota 3**), preferiblemente de 15 cm. de diámetro. El filtrado deberá recibirse en un frasco volumétrico de 250 ml. Cuando el líquido haya pasado a través del papel de filtro, lávese una vez y por decantación, el residuo que haya quedado en el beaker, empleando agua caliente. El beaker deberá ser vaciado rápidamente, transfiriendo así el material flojo o suelto, al papel de filtro.
10. El material sobre el filtro deberá lavarse entonces 4 veces adicionales, con un lavado consistente de 10 a 15 ml de agua caliente, dirigida en un chorro proveniente de la botella de lavado. Cantidades muy pequeñas de residuo pasarán ocasionalmente a través del filtro. Ordinariamente, éstas pueden despreciarse.

Nota 3: *En el caso de muestras de suelo y suelo-cemento, el volumen del residuo algunas veces disminuye apreciablemente la filtración. Generalmente no se encuentra ninguna dificultad con las muestras de cemento y, como regla general, las muestras de suelo deben filtrarse y lavarse en menos de 30 minutos. Algunas mezclas de suelo-cemento requieren más tiempo pero, si este período excede 1 hora, la filtración subsiguiente en casos similares puede hacerse más rápida, sustituyendo el papel N°41 por el papel N°1. La filtración lenta en tales casos es causada generalmente por ebullición excesiva, produciéndose gelatinización de la sílice que retarda materialmente la filtración.*

11. Cuando se haya completado el lavado, descártese el filtro y dilúyase el filtrado en el frasco volumétrico de 250 ml con agua fría. La temperatura de la solución deberá estar cerca del punto de calibración del frasco. Agítense el frasco para mezclar los contenidos completamente; remuévase luego un alícuota de 50 ml y transfírase al vaso original de 250 ml (numeral 12) empleando una pipeta de 50 ml. Dilúyase hasta 100 ml. Hágase la solución ligeramente amoniacal (**véase nota 4**), hiérvese hasta 2 minutos y déjense asentar los hidróxidos.

Nota 4: *Si las muestras contienen hierro ferroso, es deseable agregar pocas gotas de HNO_3 antes de la precipitación de los hidróxidos.*

12. Fíltrense los hidróxidos a través del papel de filtro Whatman N°1 de 11 cm. (o N°41), recibiendo el filtrado en un vaso de 600 ml. Lávese una vez el vaso original de 250 ml sobre el filtro con una corriente de solución caliente de NH_4NO_3 (20 g/l) y sígase lavando el hidróxido precipitado, una o dos veces con solución caliente de NH_4NO_3 (20 g/l). Déjese el filtrado a un lado y colóquese el vaso original bajo el embudo. Perfórese el papel con una varilla (véase

nota 5) y lávense los hidróxidos dentro del vaso original, empleando una corriente de solución de NH_4NO_3 (20 g/l) para remover la mayor parte del precipitado del papel de filtro. Trátase el papel de filtro con 20 ml de HCl (1+3) caliente, dirigiendo el ácido sobre el papel con una varilla de vidrio. Lávese varias veces el papel con agua caliente y descártese luego el papel. Dilúyase la solución hasta 75 ml.

Nota 5: *En lugar de perforar el papel de filtro, se puede: transferir el papel y el precipitado al vaso original, disolver los hidróxidos con 20 ml de HCl (1+3) caliente y diluirlos hasta 75 ml con agua, y continuar el procedimiento como se describe en el numeral 12. En este caso, los hidróxidos reprecipitados y la pulpa, son subsiguientemente removidos simultáneamente.*

13. Hágase la solución ligeramente amoniacal y hiérvase 1 o 2 minutos. Déjese que el precipitado se asiente, decántese luego a través de un papel Whatman N°1 como antes, recibiendo el filtrado en el vaso de 600 ml previamente dejado al lado (numeral 11). Lávese y límpiase el vaso en el cual tuvo lugar la precipitación y lávese finalmente el precipitado sobre el filtro, 3 o 4 veces con solución NH_4NO_3 (20 g/l). Descártese el hidróxido precipitado. Agréguese 2 ml de NH_4OH (peso específico de 0,90) al filtrado, el cual tiene ahora un volumen de 250 a 350 ml.

Caliéntese la solución hasta la ebullición y agréguese 10 ml de solución caliente de oxalato saturado de amonio. Manténgase la mezcla cerca de la ebullición hasta que el precipitado se vuelva granular; colóquese luego al lado, sobre una placa de calentamiento tibia, durante 30 minutos o más. Antes de filtrar el oxalato de calcio, verifíquese la conclusión de la precipitación, asegurándose que un ligero exceso de NH_4OH esté presente. Filtrese la mezcla a través de un papel filtrante Whatman N°2 de 11 ó 15 cm o, si se prefiere, un papel Whatman N°42, verificando que todo el precipitado queda retenido.

Límpiese completamente, con un limpiador de caucho, el vaso en el cual tuvo lugar la precipitación, y transfíranse los contenidos al filtro, con una corriente de agua caliente. Lávese el filtro de 8 a 10 veces con agua caliente (no más de 75 ml) (véase nota 6), empleando una corriente de la botella de lavado.

Nota 6: *El filtro puede lavarse 4 veces, cada una con NH_4OH (2+98) y agua caliente, en el orden establecido.*

14. Abrase cuidadosamente el papel de filtro y lávese el precipitado dentro del vaso en el cual se efectúa la precipitación. Dilúyase hasta 200 ml y agréguese 10 ml de H_2SO_4 (1+1). Caliéntese la solución hasta justo antes de la ebullición y dilúyase con la solución estándar KMnO_4 (Nota 7) hasta obtener un color rosado persistente. Agréguese el papel de filtro y macháquese. Continúese la titulación ligeramente hasta que el color rosado persista por 10 segundos.

Nota 7: *La temperatura de la solución estándar KMnO_4 no deberá variar de la temperatura de estandarización en tal magnitud, que pueda causar un serio error en la determinación del CaO. A temperaturas ambientales ordinarias, el volumen del agua pura cambia entre 0,01 y 0,04%, por cada grado Celsius, dependiendo de la temperatura.*

15. Blanco

Hágase una determinación en blanco, siguiendo el mismo procedimiento y empleando la misma cantidad de todos los reactivos.

16. Procedimiento alternativo de titulación

Titúlese como se describió en el numeral 13, excepto que la solución de KMnO_4 no necesita ser una solución 0,1 normal, pero la misma solución deberá usarse para la titulación de todos los componentes. Omítase la determinación en blanco descrita en el numeral 14.

6.1.8.10.6. CÁLCULOS

Calcúlese el contenido de cemento de las mezclas de suelo-cemento en la siguiente forma:

17. Cuando la determinación se haya completado de acuerdo con los numerales 13 y 14, calcúlese:

-Porcentajes de CaO en el suelo, en el cemento y en la mezcla de suelo-cemento de la siguiente forma:

$$\%CaO = \frac{(A - B)C \times 0,028}{D} \times 100$$

Donde:

- A : Mililitros de solución de $KMnO_4$ requerida para la titulación de la muestra.
 - B : Mililitros de la solución de $KMnO_4$ requeridos para la titulación del blanco.
 - C : Normalidad de la solución del $KMnO_4$.
 - D : Gramos de muestra representados por la alícuota titulada (Nota 8).
- 0,028 : Equivalente CaO de 1 ml de solución 1,0 N de $KMnO_4$.

Porcentaje (en peso) de cemento en la mezcla de suelo-cemento como sigue:

$$\%cemento = \frac{G - F}{E - F} \times 100$$

Donde:

- E: % de CaO en el cemento
- F : % de CaO en el suelo natural
- G: % de CaO en la mezcla de suelo-cemento.

Nota 8: Las alícuotas tituladas son equivalentes a 1 g de suelo o de suelo-cemento y a 0,2 g de cemento.

18. Cuando la determinación se ha completado de acuerdo con el numeral 15, calcular el porcentaje en peso de cemento en la mezcla de suelo-cemento, como sigue (Nota 9):

Nota 9: El valor del porcentaje (en peso) de cemento obtenido de acuerdo con los numerales 16 y 17 está en términos de cemento hidratado. Tales valores pueden convertirse a un valor equivalente aproximado de cemento seco, multiplicándolos por el factor 1,04.

CAPITULO 6.1.9.

OTROS MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

SECCION 6.1.9.1.

DOSIFICACIÓN Y ENSAYO DE MEZCLAS DE SUELO-EMULSIÓN (NTL 170)

6.1.9.1.1. OBJETO

Este método describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la absorción de agua, hinchamiento y características de extrusión, sobre las mezclas asfálticas compactadas elaboradas con emulsiones asfálticas.

El método está destinado a la evaluación de los efectos del agua sobre estas mezclas.

Mediante este ensayo se puede determinar el contenido óptimo del material asfáltico necesario para estabilizar un suelo, ensayando series de probetas con contenidos diferentes de ligante.

Este método también es aplicable para la determinación del contenido óptimo de ligante en las mezclas elaboradas con arenas naturales y emulsiones asfálticas.

6.1.9.1.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A. MEZCLADORA MECÁNICA

Para obtener una mezcla íntima y homogénea del suelo, agua y ligante bituminoso. Deberá estar provista de velocidades rápida y lenta. Se puede efectuar el mezclado a mano, pero el tiempo necesario para lograr un cubrimiento satisfactorio es normalmente excesivo y los resultados del ensayo son menos uniformes.

- **Conjunto de compactación**, que está constituido por los siguientes elementos:

a) Molde de compactación

Está formado por un molde cilíndrico de acero endurecido de $50,800 \pm 0,025$ mm de diámetro interior, 133,35 mm de longitud y un diámetro exterior de 63,5 mm como mínimo. Deberá disponerse de algún dispositivo para proteger el borde superior del molde y regular la altura de caída, durante la precompactación.

b) Pistones de compactación

Dos pistones, superior e inferior, terminados ambos en caras circulares de $50,724 \pm 0,025$ mm de diámetro y con longitudes de 139,70 mm y 63,50 mm, respectivamente.

c) Precompactador

Está formado por una hoja de acero, continuada por una varilla alojada en un mango de madera.

Su longitud total es de 368,30 mm; 152,40 mm y 9,52 mm la longitud y diámetro de la varilla; y 34,92 mm el diámetro del mango de madera. La hoja propiamente dicha, de forma plana, de 215,9 mm de longitud, 34,92 mm de ancho junto al mango, y 47,62 mm de su extremo libre. Su espesor es de 15,88 mm desde el borde del mango en una longitud de 165,10 mm, terminando en una zona más delgada de 6,35 mm de espesor y 50,8 mm de longitud y con un extremo redondeado. El peso total del precompactador será de unos 1200 gramos aproximadamente.

B. APARATOS DE ABSORCIÓN DE AGUA

Formados por una cubeta de fondo plano, de unos 51 mm de profundidad, de un material resistente a la corrosión, y una cámara húmeda capaz de mantener una temperatura entre 18 y 27°C con una humedad relativa mínima del 90%.

C. CONJUNTO DE EXTRUSIÓN QUE ESTÁ FORMADO POR LAS SIGUIENTES PARTES:

a) Molde de ensayo

Es un cilindro recto de acero endurecido, de 114,30 mm de longitud y 76 mm de diámetro exterior. Interiormente está formado por una superficie tronco cónica y otra cilíndrica, con un diámetro en la boca superior de $52,58 \pm 0,25$ mm, que se va estrechando a lo largo del molde hasta un valor mínimo de $51,308 \pm 0,025$ mm, a una distancia de 57,15 mm de la boca inferior .

b) Pistón de ensayo

Está formado por un doble cilindro coaxial macizo, de acero endurecido para herramientas, con una longitud total de 152,40 mm. El cilindro mayor tendrá un diámetro de $31,750 \pm 0,127$ mm y una longitud de 101,4 mm, y el cilindro menor, que es el pistón de ensayo propiamente dicho, será de $28,575 \pm 0,025$ mm de diámetro y 51 mm de largo.

c) Guía del pistón de ensayo

Es un cilindro hueco de acero, con diámetro exterior de $51,054 \pm 0,127$ mm, diámetro interior de $32,131 \pm 0,127$ mm y 101,4 mm de longitud.

d) Anillo de ensayo.

Está formado por un disco anular fabricado con acero endurecido, de 6,35 mm de espesor, con un orificio central cilíndrico de $28,575 \pm 0,025$ mm de diámetro y 1,588 mm de altura, que continúa en forma troncocónica con un ángulo aproximado de 30 grados. Coaxialmente con el orificio central, por su parte inferior, irá un resalte circular de $51,257 \pm 0,025$ mm de diámetro y 1,27 mm de altura.

e) Anillo soporte.

Del tipo Hubbard-Field o equivalente, adecuado para su función de soportar el conjunto del aparato de extrusión durante el ensayo de carga.

C.1. Prensa, de unos 4.500 Kgf

De capacidad y capaz de aplicar la carga a una velocidad uniforme de 25 mm/min. Deberá estar provista de medidor continuo de carga e indicador de carga máxima.

C.2. Horno, con regulación termostática

Capaz de mantener una temperatura de $60 \pm 3^\circ\text{C}$.

C.3. Medidor de probetas

Cualquier dispositivo capaz de medir las alturas y diámetros de las probetas, con una precisión de 0,25 mm.

C.4. Balanza, de 2 Kg.

De capacidad y una precisión de 0.1 g y otra de 500 g de capacidad y 0.05 g de precisión.

C.5. Tamices

Un tamiz de 6.3 mm (1/4").

C.6. Material diverso

Recipientes para áridos y material bituminoso, espátulas flexibles, espátulas rígidas, guantes, lápiz de marcar, etc.

6.1.9.1.3. PROCEDIMIENTO

A. TAMAÑO, FORMA Y NÚMERO DE LAS PROBETAS

Las probetas serán de forma cilíndrica de $50,80 \pm 1,27$ mm de altura y $50,800 \pm 0,025$ mm de diámetro.

Se fabricarán por lo menos seis probetas para cada variación en proporción o calidad de los ingredientes de la mezcla.

B. PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS

B.1. Procedimiento

La cantidad de mezcla necesaria para la fabricación de cada probeta se preparará mediante el siguiente procedimiento:

B.2. Preparación del suelo

El suelo secado al aire se pulveriza cuidadosamente para separar sus partículas, evitando reducir las de tamaño. Se toma para el ensayo lo que pasa por el tamiz de 6,35mm (1/4").

B.3. Agua en la mezcla

El agua total en la mezcla se determina por el valor de la humedad óptima del Proctor modificado, efectuado sobre el agregado pétreo sólo.

B.4. Emulsión aniónica

Se considera como agua total en la mezcla, toda el agua que tenga la emulsión más el 100% de ligante que contenga dicha emulsión, es decir, el porcentaje de agua será el mismo que se calcule como porcentaje teórico de emulsión.

B.5. Emulsión catiónica

Sólo se considerará como agua la que realmente tenga la emulsión.

Previamente a la elaboración de la mezcla, se adiciona el agua necesaria para que se complete, como agua total, la correspondiente a la óptima del Proctor modificado.

B.6. Contenido óptimo teórico de emulsión

Se determina mediante el cálculo de la superficie específica.

B.7. Composición de la mezcla

Es necesario fabricar probetas de prueba, cuyo contenido de emulsión sea el óptimo teórico, para tratar de conseguir el tamaño adecuado de 50,8 mm de diámetro y 50,8 mm de altura, corrigiéndose, si fuera necesario, los pesos de cada componente: áridos, agua y emulsión, con el fin de obtener la altura especificada. A veces es necesario fabricar dos o tres probetas de prueba.

Una vez determinada la composición de la probeta patrón, se fabrican series de 6 probetas cada una, con variaciones de uno en uno por ciento de emulsión, de tal manera que se tengan, además del óptimo teórico, por lo menos dos valores por debajo y dos por encima de dicho valor.

La granulometría en todos los casos será pasa 1/4", o sea la obtenida en la fórmula de trabajo.

B.8. Emulsión asfáltica

La cantidad de emulsión asfáltica necesaria para cada mezclada se obtiene después de agitar la emulsión del recipiente de donde se extraiga, de tal manera que sea representativa.

B.9. Fabricación y curado de las probetas.

Cuando se tengan preparados el agregado, el agua y la emulsión, se vierte primero el agregado en el mezclador y se pone éste en marcha lenta, incorporándole luego el agua y agitando hasta la distribución homogénea de la misma. A continuación, se vierte la emulsión, sin parar la agitación, hasta conseguir una mezcla homogénea. Esta última fase se logra en un tiempo mínimo de 5 minutos y un máximo de 10 minutos.

B.10. Compactación de probetas

Obtenida una mezcla homogénea, se coloca el pistón corto de compactación dentro del molde, el cual se mantiene a unos 25 mm de altura mediante los soportes (comúnmente dos). El molde debe sujetarse convenientemente en esa posición durante la compactación inicial.

Se coloca un papel de filtro en la base del molde y a continuación se vierte en él la cantidad de mezcla que corresponda a la briqueta; se compacta inicialmente la mezcla dejando caer sobre ella el precompactador 25 veces, desde una altura de 152 mm medida desde el fondo de la probeta, girándolo sucesivamente después de cada caída.

A continuación, se coloca un papel de filtro antes de proceder a la compactación. Una vez colocado el pistón de compactación largo, y con los soportes manteniendo todavía el molde, se aplica una carga inicial para la superficie total de la probeta de 454 kg (1000 lb) con el objeto de acomodar la mezcla contra las paredes del molde.

Se retiran entonces los soportes que mantenían levantado el molde y se comienza la verdadera compactación, aplicando una carga para la superficie total de la probeta de 2.720 kg (6000 lb) la que, una vez alcanzada, se mantiene constante durante dos minutos.

B.11. Curado de probetas

Terminada la compactación, se extraen las probetas aplicando una ligera carga en la parte superior por medio del pistón, de manera que la probeta se deslice de una manera suave y uniforme, apreciándose este hecho por la ausencia de carga en el manómetro de la prensa.

Con las probetas ya desmoldadas, se inicia el período de curado, llevándolas al horno regulado a la temperatura de $60 \pm 3^\circ\text{C}$, hasta que se haya eliminado de un 80 a 90% de la humedad de compactación, determinando este punto en una probeta elegida como control de las fabricadas.

Una vez finalizado este período de curado, se forman dos grupos de probetas así:

a) *Grupo 1:* Conformado por la mitad de cada serie de probetas, las cuales se mantienen al aire a 25°C durante 7 días.

b) *Grupo 2:* Conformado por la otra mitad de cada serie de probetas, para las cuales se anotan su peso (W1), altura media y diámetro de cada una (D1). Seguidamente se colocan, apoyando la cara que fue inferior durante la compactación, directamente sobre el fondo plano de una cubeta, en la que se echa agua hasta la mitad de su altura, que deberá mantenerse constante, de 25 mm durante 7 días, transcurridos los cuales se sacan las probetas; se seca rápidamente el agua de su superficie y se pesan (W2), midiendo además los diámetros medios de sus caras inferiores sumergidas (D2).

Nota 1: Antes de proceder a la inmersión y posterior rotura de las probetas, se deben hacer ensayos de densidad, sin emplear parafina, utilizando para esta determinación únicamente las probetas del Grupo 2. El ensayo se realiza inmediatamente antes de sumergirlas en el agua.

B.12. Rotura de las probetas

Pasados los 7 días se procede con la prueba de extrusión a las probetas de los dos grupos. Se monta el conjunto del anillo de soporte, anillo de ensayo y molde de ensayo, teniendo cuidado de colocar la cara inferior de compactación de las probetas hacia abajo e introduciéndolas por la boca ancha del molde, deslizándolas a todo lo largo del mismo hasta apoyarlas suavemente sobre el anillo de ensayo. Se monta entonces la guía del pistón y el pistón de ensayo, y se apoyan sobre la cara superior de la probeta.

El conjunto de compactación se coloca centrado entre los platos de la prensa, y se aplica la carga a la probeta a una velocidad constante de 25 mm/min., obteniéndose como resultado de la extrusión, la carga máxima resistida por la probeta en el momento de la rotura.

6.1.9.1.4. CÁLCULOS

Se calculan los siguientes resultados para cada una de las probetas ensayadas:

A. EXTRUSIÓN DE LAS PROBETAS CURADAS AL AIRE Y/O EN AGUA

Se expresa en kg, siendo ésta la carga máxima resistida, según el apartado Fabricación y curado de las probetas.

B. ABSORCIÓN DE AGUA

Se expresa en porcentaje, y se calcula con base en los resultados obtenidos en el apartado Fabricación y curado de las probetas, Grupo 2, para cada probeta, así:

$$\% \text{ Absorción de agua} = \frac{W_2 - W_1}{W} \times 100$$

Donde:

W_1 : Peso de la probeta antes de iniciarse el curado en agua.

W_2 : Peso de la probeta inmediatamente antes de someterla al ensayo de extrusión.

$$W = \frac{W_1}{C_E \times P_E + 100}$$

Fórmula para la cual:

W: Peso calculado del suelo seco de la probeta.

CE: Concentración de asfalto de la emulsión usada.

PE: Porcentaje de emulsión sobre áridos de la probeta.

C. HINCHAMIENTO

Se expresa en porcentaje y se calcula con base en los resultados obtenidos en el apartado

Fabricación y curado de las probetas, Grupo 2, para cada probeta, así:

$$\% \text{ de hinchamiento} = \left[\frac{D^3}{D_1^3} - 1 \right] \times 100$$

Donde:

- D1: Diámetro de la probeta antes del curado (inmersión.)
- D2: Diámetro de la probeta después del curado (inmersión).

D. DENSIDAD

Se expresa en g/cm^3 y es el cociente entre el peso y el volumen de la probeta.

La extrusión tanto de las probetas curadas al aire como de las curadas en agua; absorción, hinchamiento y densidad, se presentan como promedios de los valores obtenidos en cada una de las probetas, para cada grupo de ellas, correspondientes a un determinado porcentaje de emulsión.

BIBLIOGRAFÍA

Para el Desarrollo de las Especificaciones de Materiales de Construcción y Mantenimiento, se realizaron los Estudios como Normas Base al:

MANUAL DE CARRETERAS DE BOLIVIA

Gobierno de Bolivia. Administradora Boliviana de Carreteras
Edición: APIA XXI – Ingenieros y Arquitectos Consultores.
Fecha de Edición: Febrero 2.008

MANUAL Y PLANILLAS DE ENSAYOS DE SUELOS, AGREGADOS, ASFALTO Y CONCRETO DE VENEZUELA.

Gobierno de Venezuela. Ministerio de Infraestructura
Fundación de Laboratorio Nacional de Vialidad
FUNFALANAVIAL- Noviembre 2.003

MANUAL DE ENSAYOS DE MATERIALES PARA OBRAS VIALES (EM-200)

República del Perú. Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción y la Dirección General de Caminos.
ICG – Instituto de la Construcción y Gerencia
Segunda Edición – Lima 2.000

También se revisó las normativas e informes vigentes:

AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials.
Guide for Design of Pavement Structures and 1998 Supplement.

ASTM –American Society for Testing and Materials.
Standards International, USA 2000

Especificaciones Técnicas para la Construcción de Pavimentos de Larga Duración en el Chaco Paraguayo

República del Paraguay. Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC)
Proyecto realizado por: Texas Transportation Institute (TTI) – Universidad Católica de Asunción (UCA) y la Universidad Nacional de Asunción (UNA)
Financiado: USTDA – BID
Mayo 2008

Guías para la Construcción de Pavimentos de Larga Duración en el Chaco Paraguayo (Sección 1 y Sección 2)

República del Paraguay. Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC)
Proyecto realizado por: Texas Transportation Institute (TTI) – Universidad Católica de Asunción (UCA) y la Universidad Nacional de Asunción (UNA)
Financiado: USTDA – BID
Mayo 2008

REFERENCIAS

1. J. SHERARD-V Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones-Buenos Aires-1975.
2. J. SHERARD-“Pinhole-Test for Identifying Dispersive Soils”-Journal of the Geotechnical Division - Vol. 102 N°. GT1 - Junio 1976 - ASCE - 69/85.
3. J. SHERARD et.al - “Identification and Nature of Dispersive Soils” - Journal of the Geotechnical Engineering Division - Vol. 102 N° GT4 - Abril 1976 - ASCE - 287/301.
4. H. de OLIVEIRA - H. NAKAO - F. NAZARIO - S. SHAYANI - Sobradinho Dam on Sao Francisco River: Design and Construction of Earth and Rockfill Embankments. V Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones - Buenos Aires, Argentina - 1975.
5. G. BOURDEAUX - H. NAKAO - H. IMAIZUMI, “Estudios Tecnológicos e de Projeto para a Barragem de terra de Sobradinho considerando as características dispersivas dos solos argilosos”.
6. THOMAS N. McDANIEL et.al - “Dispersive Soil Problem at Los Esteros Dam” - Journal of the Geotechnical Engineering Division - Vol 105 N°GT9 - Setiembre 1979 - ASCE - 1017/1029.
7. Division Specialty Conference - Published by the ASCE - 1982.
8. C. DOUGLAS C.G. ACCIARDI - “Failure of Pore - Water Analyses for Dispersion” - Vol. 110 N° 4 - Abril 1984 - ASCE - 459/472.
9. ICOLD – Comisión Internacional de Grandes Presas. Dispersive soils in embankment dams - Bulletin 77, Paris,1990.
10. RAMÍREZ F - Daños en Pavimentos Asfálticos por erosión de arcillas dispersivas utilizadas en los terraplenes - 9° Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto - Asunción, Paraguay - Noviembre 1997.
11. RAMÍREZ F - CARPINELLI P - Protección Vegetal de Taludes. Una alternativa para sistematizar la protección de terraplenes de gran extensión terraplenes - 9° Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto - Asunción, Paraguay - Noviembre 1997.
12. LOPEZ GOROSTIAGA Y OTROS - “Mapa de Reconocimiento de Suelos de la región Oriental - Ministerio de Agricultura y Ganadería - Dirección de Ordenamiento Ambiental - Asunción, Paraguay - Año 1995.
13. MAG - BGR - Ministerio de Agricultura y Ganadería - Instituto Federal de Geociencias y Recursos (Alemania) - Proyecto Ambiental del Chaco - Asunción, Paraguay, 1988.
14. Ramírez F.”El impacto de los suelos dispersivos en las obras de tierra”. COPAINGE. Asunción, Noviembre 2003.
15. Ramírez F. “Estudio de la erosión y tubificación en terraplenes con suelos dispersivos”. Primer Congreso Paraguayo de Vialidad y Tránsito. Asunción, Octubre de 2014.



TETÁ REMBIAPO
HA MARANDU
Motenondcha

Ministerio
OBRAS PÚBLICAS
Y COMUNICACIONES

 GOBIERNO
NACIONAL

*Paraguay
de la gente*

Manual de Carreteras del Paraguay



UNIDAD

6

ENSAYOS DE MATERIALES
PARA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

Volumen 6.2 - Ensayos de Asfalto


ASOCIACIÓN PARAGUAYA DE CARRETERAS


COMITÉ NACIONAL
PARAGUAYO

Revisión 2019

INDICE

INTRODUCCIÓN	557
GLOSARIO	558
CAPITULO 6.2.1. ENSAYOS RELACIONADOS A LOS CEMENTOS ASFÁLTICOS NO MODIFICADOS.....	572
SECCION 6.2.1.1. MÉTODO DE MUESTREO (ASTM D 140 AASHTO T40-78).....	573
6.2.1.1.1. OBJETO	573
6.2.1.1.2. GENERALIDADES	573
6.2.1.1.3. MUESTREO EN EL LUGAR DE PRODUCCIÓN DE MATERIALES LÍQUIDOS O LICUADOS POR CALENTAMIENTO.....	575
6.2.1.1.4. MUESTREO DESDE VAGONES TANQUES, CAMIONES TANQUES, CAMIONES DISTRIBUIDORES, ESTANQUES DE ALMACENAMIENTOS RECIRCULATORIOS Y CONTENEDORES	576
6.2.1.1.5. MUESTREO DE BARCOS TANQUES O BARCAZAS	577
6.2.1.1.6. MUESTREO DE LÍNEAS DE CAÑERÍAS DURANTE LA CARGA O DESCARGA	577
6.2.1.1.7. MUESTREO DE MATERIALES LÍQUIDOS EN TAMBORES O BARRILES.....	577
6.2.1.1.8. MUESTREO DE MATERIALES SEMISÓLIDOS O SÓLIDOS SIN CHANCAR	577
6.2.1.1.9. MUESTREO DE MATERIALES CHANCADOS O PULVERIZADOS	578
SECCION 6.2.1.2. MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD (ASTM D71-94 AASHTO T229-97).....	584
6.2.1.2.1. OBJETO	584
6.2.1.2.2. EQUIPOS Y MATERIALES.....	584
6.2.1.2.3. CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO	584
6.2.1.2.4. PROCEDIMIENTO	584
6.2.1.2.5. INFORME.....	585
SECCION 6.2.1.3. MÉTODO DE ENSAYO DE PENETRACIÓN (ASTM D5 - AASHTO T49-97).....	587
6.2.1.3.1. OBJETO	587
6.2.1.3.2. EQUIPOS Y MATERIALES.....	587
6.2.1.3.3. CONDICIONES GENERALES	589
6.2.1.3.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....	589
6.2.1.3.5. PROCEDIMIENTO	590
6.2.1.3.6. PRECISIÓN	590
6.2.1.3.7. INFORME	591
SECCION 6.2.1.4. MÉTODO DE ENSAYO DE LA MANCHA (AASHTO T 102-83).....	592
6.2.1.4.1. OBJETO	592
6.2.1.4.2. EQUIPOS Y MATERIALES.....	592
6.2.1.4.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE MUESTRA	593
6.2.1.4.4. PROCEDIMIENTO	593
SECCION 6.2.1.5. MÉTODO PARA DETERMINAR LA DUCTILIDAD (ASTM D 113 AASHTO T51-00).....	596
6.2.1.5.1. OBJETO	596
6.2.1.5.2. EQUIPOS Y MATERIALES.....	596
6.2.1.5.3. PROCEDIMIENTO	597
6.2.1.5.4. INFORME	598

SECCION 6.2.1.6. MÉTODO PARA DETERMINAR LOS PUNTOS DE INFLAMACIÓN Y COMBUSTIÓN MEDIANTE LA COPA ABIERTA DE CLEVELAND (ASTM D92-05 AASHTO T48)	600
6.2.1.6.1. OBJETIVO	600
6.2.1.6.2. EQUIPOS Y MATERIALES	600
6.2.1.6.3. PREPARACIÓN DEL APARATO	600
6.2.1.6.4. PROCEDIMIENTO	601
6.2.1.6.5. CORRECCIÓN POR PRESIÓN BAROMÉTRICA	602
6.2.1.6.6. CÁLCULOS	602
6.2.1.6.7. PRECISIÓN	602
6.2.1.6.8. ANEXO	603
SECCION 6.2.1.7. MÉTODO PARA DETERMINAR LA SOLUBILIDAD EN SOLVENTES ORGÁNICOS (ASTM D 2042 AASHTO T44-97)	606
6.2.1.7.1. OBJETO	606
6.2.1.7.2. EQUIPOS Y MATERIALES	606
6.2.1.7.3. CONDICIONES GENERALES	607
6.2.1.7.4. PROCEDIMIENTO	607
6.2.1.7.5. CÁLCULOS	608
6.2.1.7.6. PRECISIÓN	608
SECCION 6.2.1.8. MÉTODO PARA DETERMINAR LA VISCOSIDAD CINEMÁTICA (ASTM D 2170 AASHTO T201-01)	610
6.2.1.8.1. OBJETO	610
6.2.1.8.2. DEFINICIONES	610
6.2.1.8.3. EQUIPOS Y MATERIALES	611
6.2.1.8.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	612
6.2.1.8.5. PROCEDIMIENTO	612
6.2.1.8.6. CÁLCULOS	613
6.2.1.8.7. PRECISIÓN	613
6.2.1.8.8. INFORME	614
6.2.1.8.9. ANEXOS	614
SECCION 6.2.1.9. MÉTODO PARA DETERMINAR LA VISCOSIDAD ABSOLUTA MEDIANTE VISCOSÍMETROS CAPILARES DE VACÍO (ASTM D 2171 AASHTO T202-91)	623
6.2.1.9.1. OBJETO	623
6.2.1.9.2. DEFINICIONES	623
6.2.1.9.3. EQUIPOS Y MATERIALES	623
6.2.1.9.4. SISTEMA DE VACÍO	624
6.2.1.9.5. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	625
6.2.1.9.6. PROCEDIMIENTO	625
6.2.1.9.7. CÁLCULOS	626
6.2.1.9.8. PRECISIÓN	626
6.2.1.9.9. INFORME	626
6.2.1.9.10. ANEXO	626
SECCION 6.2.1.10. MÉTODO PARA DETERMINAR EL PUNTO DE ABLANDAMIENTO CON EL APARATO DE ANILLO Y BOLA (ASTM D 36 AASHTO T53-96)	632
6.2.1.10.1. OBJETO	632
6.2.1.10.2. GENERALIDADES	632
6.2.1.10.3. DEFINICIONES	632
6.2.1.10.4. EQUIPOS Y MATERIALES	632
6.2.1.10.5. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	633
6.2.1.10.6. PROCEDIMIENTO	633
6.2.1.10.7. PRECISIÓN	634
6.2.1.10.8. INFORME	634

SECCION 6.2.1.11. MÉTODO PARA DETERMINAR EL PUNTO DE FRAGILIDAD FRAASS (IP 80-53)	636
6.2.1.11.1. OBJETO	636
6.2.1.11.2. EQUIPOS Y MATERIALES	636
6.2.1.11.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	637
6.2.1.11.4. PROCEDIMIENTO	638
6.2.1.11.5. CÁLCULOS	639
6.2.1.11.6. PRECISIÓN	639
6.2.1.11.7. OBSERVACIONES	639
SECCION 6.2.1.12. MÉTODO PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA MEDIANTE EL NOMOGRAMA DE HEUKELOM.....	642
6.2.1.12.1. OBJETO	642
6.2.1.12.2. INFORME	643
SECCION 6.2.1.13. MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN DE PROPIEDADES REOLÓGICAS MEDIANTE EL REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO (ASTM D 7175 AASHTO TP5-98)	646
6.2.1.13.1. OBJETO	646
6.2.1.13.2. DEFINICIONES	646
6.2.1.13.3. SIGNIFICADO Y USO	647
6.2.1.13.4. EQUIPOS Y MATERIALES	647
6.2.1.13.5. PRECAUCIONES	649
6.2.1.13.6. PREPARACIÓN DE APARATOS.....	649
6.2.1.13.7. CALIBRACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN	650
6.2.1.13.8. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS	652
6.2.1.13.9. PROCEDIMIENTO	653
6.2.1.13.10. CÁLCULOS	655
6.2.1.13.11. PRECISIÓN	655
6.2.1.13.12. REPETIBILIDAD	655
6.2.1.13.13. REPRODUCIBILIDAD	655
6.2.1.13.14. SESGO.....	656
6.2.1.13.15. INFORME	656
6.2.1.13.16. ANEXO.....	657
SECCION 6.2.1.14. MÉTODO SUPERPAVE DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO DE LIGANTES ASFÁLTICOS EN CÁMARA A PRESIÓN (PAV) ASTM D 6521 AASHTO PP 195-98).....	659
6.2.1.14.1. OBJETO	659
6.2.1.14.2. DEFINICIONES	660
6.2.1.14.3. EQUIPOS Y MATERIALES	660
6.2.1.14.4. PROCEDIMIENTO	662
6.2.1.14.5. PRECISIÓN	665
6.2.1.14.6. INFORME	665
SECCION 6.2.1.15. MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA VISCOSIDAD MEDIANTE EL VISCOSÍMETRO ROTACIONAL BROOKFIELD (ASTM D 4402-06 AASHTO TP 48)	667
6.2.1.15.1. OBJETO	667
6.2.1.15.2. DEFINICIONES	667
6.2.1.15.3. EQUIPOS Y MATERIALES.....	668
6.2.1.15.4. CALIBRACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN	668
6.2.1.15.5. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....	668
6.2.1.15.6. PROCEDIMIENTO.....	669
6.2.1.15.7. CÁLCULOS	670
6.2.1.15.8. INFORME	670
6.2.1.15.9. PRECISIÓN	670

SECCION 6.2.1.16. MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA RIGIDEZ EN FLUENCIA POR FLEXIÓN A BAJAS TEMPERATURAS MEDIANTE REÓMETRO DE VIGA DE FLEXIÓN (ASTM D 6648-01 AASHTO TP1-98)	671
6.2.1.16.1. OBJETO	671
6.2.1.16.2. DEFINICIONES	671
6.2.1.16.3. SIGNIFICADO Y USO	672
6.2.1.16.4. EQUIPOS Y MATERIALES	672
6.2.1.16.5. MATERIALES	675
6.2.1.16.6. PREPARACIÓN DE LOS APARATOS	676
6.2.1.16.7. ESTANDARIZACIÓN	676
6.2.1.16.8. PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS DE ENSAYO	677
6.2.1.16.9. PROCEDIMIENTO	679
6.2.1.16.10. CÁLCULOS	680
6.2.1.16.11. PRECISIÓN	680
6.2.1.16.12. SESGO	681
6.2.1.16.13. INFORME	681
SECCION 6.2.1.17. MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA DEFORMACIÓN A LA ROTURA EN EL ENSAYO DE TRACCIÓN DIRECTA (ASTM D 6723-02 AASHTO TP3-00).....	691
6.2.1.17.1. OBJETO	691
6.2.1.17.2. DEFINICIONES	691
6.2.1.17.3. EQUIPOS Y MATERIALES	692
6.2.1.17.4. CALIBRACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN	696
6.2.1.17.5. CONDICIONES GENERALES	697
6.2.1.17.6. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....	697
6.2.1.17.7. ACONDICIONAMIENTO DE LA PROBETA	699
6.2.1.17.8. PROCEDIMIENTO	699
6.2.1.17.9. CÁLCULOS	701
6.2.1.17.10. PRECISIÓN	701
6.2.1.17.11. SESGO	702
6.2.1.17.12. INFORME	702
SECCION 6.2.1.18. MÉTODO PARA DETERMINAR LA ADHERENCIA AGREGADO – LIGANTE ASFÁLTICO MEDIANTE CARBONATO DE SODIO (RIEDEL – WEBER).....	707
6.2.1.18.1. OBJETO	707
6.2.1.18.2. EQUIPOS Y MATERIALES	707
6.2.1.18.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....	707
6.2.1.18.4. PROCEDIMIENTO	708
6.2.1.18.5. INFORME	709
6.2.1.18.6. PREPARACIÓN DE SOLUCIONES (NOTA A FORMATEAR: TÍTULO ADICIONAL NIVEL1)	709
SECCION 6.2.1.19. MÉTODO DE ENSAYO DE PELÍCULA DELGADA (ASTM D 1754 AASHTO T179-05).....	710
6.2.1.19.1. OBJETO	710
6.2.1.19.2. EQUIPOS Y MATERIALES	710
6.2.1.19.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS	711
6.2.1.19.4. PROCEDIMIENTOS	712
6.2.1.19.5. PRECISIÓN	712
6.2.1.19.6. INFORME	713
SECCION 6.2.1.20. MÉTODO DE ENSAYO DE PELÍCULA DELGADA ROTATORIA(ASTM D 2872 AASHTO T240-06).....	714
6.2.1.20.1. OBJETO	714
6.2.1.20.2. EQUIPOS Y MATERIALES	714
6.2.1.20.3. PREPARACIÓN DEL HORNO	715
6.2.1.20.4. PROCEDIMIENTO	715

6.2.1.20.5. PRECISIÓN	716
6.2.1.20.6. INFORME	717

CAPITULO 6.2.2. ENSAYOS RELACIONADOS A CEMENTOS ASFÁLTICOS MODIFICADOS ... 721

SECCION 6.2.2.1. MÉTODO DE ENSAYO DE RECUPERACIÓN ELÁSTICA PARA ASFALTOS MODIFICADOS (ASTN D 6084-06 AASHTO T301-99)	722
6.2.2.1.1. OBJETO	722
6.2.2.1.2. EQUIPOS Y MATERIALES	722
6.2.2.1.3. PROCEDIMIENTO.....	723
6.2.2.1.4. INFORME.....	723
SECCION 6.2.2.2. MÉTODO PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE PENETRACIÓN EN ASFALTOS MODIFICADOS (UNE 104-281)	725
6.2.2.1.1. OBJETO	725
6.2.2.1.2. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE PENETRACIÓN	725
6.2.2.1.3. INFORME.....	725

CAPITULO 6.2.3. ENSAYOS RELACIONADOS A EMULSIONES ASFÁLTICAS 727

SECCION 6.2.3.1. MÉTODO DE RESIDUO POR DESTILACIÓN (ASTM D6997 AASHTO T59-97).....	728
6.2.3.1.1. OBJETO.....	728
6.2.3.1.2. EQUIPOS Y MATERIALES	728
6.2.3.1.3. PROCEDIMIENTO.....	728
6.2.3.1.4. PRECISIÓN	729
SECCION 6.2.3.2. MÉTODO DE CARGA DE PARTÍCULA DE EMULSIÓN ASFÁLTICA (ASTM D 244 AASHTO T59-97).....	732
6.2.3.2.1. OBJETO.....	732
6.2.3.2.2. EQUIPOS Y MATERIALES	732
6.2.3.2.3. PROCEDIMIENTO.....	732
6.2.3.2.4. INFORME.....	732
SECCION 6.2.3.3. ENSAYO DE VISCOSIDAD (ASTM D 244 AASHTO T59-97)	734
6.2.3.3.1. OBJETO	734
6.2.3.3.2. EQUIPOS Y MATERIALES	734
6.2.3.3.3. PROCEDIMIENTO.....	734
6.2.3.3.4. PRECISIÓN	735
SECCION 6.2.3.4. DEMULSIBILIDAD (ASTM D 6936 AASHTO T59-97)	736
6.2.3.4.1. OBJETO.....	736
6.2.3.4.2. EQUIPOS Y MATERIALES	736
6.2.3.4.3. PROCEDIMIENTO.....	736
6.2.3.4.4. CÁLCULOS.....	737
6.2.3.4.5. PRECISIÓN	737
SECCION 6.2.3.5. SEDIMENTACIÓN (ASTM D 244 AASHTO T59-97).....	738
6.2.3.5.1. EQUIPOS Y MATERIALES	738
6.2.3.5.2. PROCEDIMIENTO.....	738
6.2.3.5.3. CÁLCULOS.....	738
6.2.3.5.4. PRECISIÓN	738
SECCION 6.2.3.6. MEZCLA CEMENTO(ASTM D 6935 AASHTO T59-97)	740
6.2.3.6.1. EQUIPOS Y MATERIALES	740
6.2.3.6.2. PROCEDIMIENTO.....	740

6.2.3.6.3. PRECISIÓN	740
6.2.3.6.4. INFORME	741
SECCION 6.2.3.7. ENSAYO DE TAMIZADO (ASTM D 244 AASHTO T59-97).....	742
6.2.3.7.1. EQUIPOS Y MATERIALES	742
6.2.3.7.2. PROCEDIMIENTO.....	742
6.2.3.7.3. CÁLCULOS.....	742
6.2.3.7.4. PRECISIÓN	742
SECCION 6.2.3.8. ENSAYO DE CONGELAMIENTO (ASTM D 244 AASHTO T59-97)	744
6.2.3.8.1. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	744
SECCION 6.2.3.9. CAPACIDAD DE CUBRIMIENTO Y RESISTENCIA AL AGUA (ASTM D 244 AASHTO T59-97).....	745
6.2.3.9.1. OBJETO	745
6.2.3.9.2. EQUIPOS Y MATERIALES	745
6.2.3.9.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....	746
6.2.3.9.4. PROCEDIMIENTO.....	746
6.2.3.9.5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	747
SECCION 6.2.3.10. CAPACIDAD DE ALMACENAJE DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA (ASTM D 244 AASHTO T59-97).....	749
6.2.3.10.1. OBJETO	749
6.2.3.10.2. SIGNIFICADO	749
6.2.3.10.3. EQUIPOS Y MATERIALES	749
6.2.3.10.4. PROCEDIMIENTO.....	749
6.2.3.10.5. CÁLCULOS.....	750
6.2.3.10.6. PRECISIÓN	750
SECCION 6.2.3.11. EXAMEN DEL RESIDUO (ASTM D 244 AASHTO T59-97)	751
6.2.3.11.1. OBJETO	751
6.2.3.11.2. DENSIDAD	751
6.2.3.11.3. CONTENIDO DE CENIZAS	751
6.2.3.11.4. SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO	751
6.2.3.11.5. PENETRACIÓN	751
6.2.3.11.6. REPETIBILIDAD	751
6.2.3.11.7. REPRODUCIBILIDAD	752
6.2.3.11.8. DUCTILIDAD	752
SECCION 6.2.3.12. MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE AGUA POR DESTILACIÓN (ASTM D 244 AASHTO T59-97).....	753
6.2.3.12.1. OBJETO	753
6.2.3.12.2. EQUIPOS Y MATERIALES	753
6.2.3.12.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE MUESTRA.....	754
6.2.3.12.4. PROCEDIMIENTO.....	755
6.2.3.12.5. CÁLCULOS	756
6.2.3.12.6. PRECISIÓN	756
6.2.3.12.7. INFORME.....	756
SECCION 6.2.3.13. MÉTODO PARA DETERMINAR LA VISCOSIDAD SAYBOLT (ASTM D 244).....	758
6.2.3.13.1. OBJETO	758
6.2.3.13.2. DEFINICIONES	758
6.2.3.13.3. EQUIPOS Y MATERIALES	759
6.2.3.13.4. PROCEDIMIENTO.....	760
6.2.3.13.5. CÁLCULOS.....	762
6.2.3.13.6. PRECISIÓN	762

6.2.3.13.7. INFORME.....	762
SECCION 6.2.3.14. MÉTODO PARA CONVERTIR VISCOSIDAD CINEMÁTICA A SAYBOLT UNIVERSAL Y A SAYBOLT FUROL (ASTM D 244).....	765
6.2.3.14.1. OBJETO	765
6.2.3.14.2. PROCEDIMIENTO.....	765
6.2.3.14.3. CÁLCULOS.....	766
6.2.3.14.4. INFORME.....	767
6.2.3.14.5. ANEXO 1	767
SECCION 6.2.3.15. MÉTODOS DE ENSAYO PARA EMULSIONES MODIFICADAS MEDIANTE PLACA VIALIT (ASTM D 244).....	791
6.2.3.15.1. OBJETO	791
6.2.3.15.2. EQUIPOS Y MATERIALES	791
6.2.3.15.3. PROCEDIMIENTO.....	792
6.2.3.15.4. CÁLCULOS.....	794
6.2.3.15.5. INFORME	794
CAPITULO 6.2.4. ENSAYOS RELACIONADOS A ASFALTOS DILUIDOS	797
SECCION 6.2.4.1. MÉTODO PARA DETERMINAR EL PUNTO DE INFLAMACIÓN MEDIANTE LA COPA CERRADA TAG ASTM D 56 – 05.....	798
6.2.4.1.1. OBJETO	798
6.2.4.1.2. EQUIPOS Y MATERIALES	798
6.2.4.1.3. BAÑOS	798
6.2.4.1.4. PREPARACIÓN DEL APARATO	798
6.2.4.1.5. PROCEDIMIENTO	799
6.2.4.1.6. INFORME	799
6.2.4.1.7. ANEXO	800
SECCION 6.2.4.2. MÉTODO DE ENSAYO DE DESTILACIÓN PARA ASFALTOS CORTADOS (ASTM D 402 AASHTO T78-96)	803
6.2.4.2.1. OBJETO	803
6.2.4.2.2. SIGNIFICADO	803
6.2.4.2.3. EQUIPOS Y MATERIALES	803
6.2.4.2.4. PREPARACIÓN DEL APARATO	804
6.2.4.2.5. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	805
6.2.4.2.6. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	805
6.2.4.2.7. CÁLCULOS E INFORME	807
6.2.4.2.8. PRECISIÓN	808
CAPITULO 6.2.5. ENSAYOS RELACIONADOS CON AGREGADOS EN APLICACIONES ASFÁLTICAS.....	811
SECCION 6.2.5.1. MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE VACÍOS DE ÁRIDOS FINOS NO COMPACTADOS (AASHTO T 304-96).....	812
6.2.5.1.1. OBJETO	812
6.2.5.1.2. SIGNIFICADO Y USO	812
6.2.5.1.3. DEFINICIONES	813
6.2.5.1.4. EQUIPOS Y MATERIALES	813
6.2.5.1.5. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	815
6.2.5.1.6. PROCEDIMIENTO.....	816
6.2.5.1.7. CÁLCULOS.....	817
6.2.5.1.8. PRECISIÓN Y SESGO.....	817
6.2.5.1.9. INFORME.....	818

SECCION 6.2.5.2. MÉTODO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DEL FILLER (ASTM D 113 – 9 AASHTO T 51)	821
6.2.5.2.1. OBJETO	821
6.2.5.2.2. EQUIPOS Y MATERIALES	821
6.2.5.2.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRAS	821
6.2.5.2.4. PROCEDIMIENTO.....	821
6.2.5.2.5. INFORME.....	821
 SECCION 6.2.5.3. MÉTODO PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE LAJAS (AASHTO C 142) 822	
6.2.5.3.1. OBJETO	822
6.2.5.3.2. EQUIPOS Y MATERIALES	822
6.2.5.3.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	822
6.2.5.3.4. PROCEDIMIENTO.....	823
6.2.5.3.5. CÁLCULOS.....	823
6.2.5.3.6. INFORME.....	824
 SECCION 6.2.5.4. MÉTODO PARA EXTRAER Y PREPARAR MUESTRAS (ASTM C75 AASHTO T2-91).....	825
6.2.5.4.1. OBJETO	825
6.2.5.4.2. DEFINICIONES	825
6.2.5.4.3. EQUIPOS Y MATERIALES.....	825
6.2.5.4.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	825
6.2.5.4.5. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS PARA RECONOCIMIENTO DE YACIMIENTOS.....	826
6.2.5.4.6. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DE PRODUCCIÓN	827
6.2.5.4.7. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DE OBRA	827
6.2.5.4.8. PREPARACIÓN DE MUESTRAS	828
6.2.5.4.9. REGISTRO	828
 SECCION 6.2.5.5. MÉTODO PARA EL CUARTEO DE MUESTRAS (ASTM C702)	830
6.2.5.5.1. OBJETO	830
6.2.5.5.2. PROCEDIMIENTO MANUAL	830
6.2.5.5.3. PROCEDIMIENTO CON CUARTEADOR METÁLICO O MECÁNICO.....	831
 SECCION 6.2.5.6. MÉTODO PARA TAMIZAR Y DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA (ASTM E 40 AASHTO T27-99).....	833
6.2.5.6.1.OBJETO	833
6.2.5.6.2. DEFINICIONES	833
6.2.5.6.3. EQUIPOS Y MATERIALES	833
6.2.5.6.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	834
6.2.5.6.5. PROCEDIMIENTO.....	836
6.2.5.6.6. CÁLCULOS.....	837
6.2.5.6.7.EXPRESIÓN GRÁFICA	837
 SECCION 6.2.5.7. MÉTODO PARA DETERMINAR EL MATERIAL FINO MENOR QUE 0,075 MM (ASTM E 117 AASHTO T11-96)	838
6.2.5.7.1. OBJETO	838
6.2.5.7.2. EQUIPOS Y MATERIALES	838
6.2.5.7.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	838
6.2.5.7.4. PROCEDIMIENTO.....	839
6.2.5.7.5. CÁLCULOS.....	839
6.2.5.7.6. INFORME.....	840
 SECCION 6.2.5.8. MÉTODO PARA DETERMINAR LA CUBICIDAD DE LAS PARTÍCULAS (VN -E16 – 67)	841
6.2.5.8.1. OBJETO	841
6.2.5.8.2. EQUIPOS Y MATERIALES	841

6.2.5.8.3. PROCEDIMIENTO.....	841
SECCION 6.2.5.9. MÉTODO PARA DETERMINAR EL EQUIVALENTE DE ARENA (ASTM D 2419 AASHTO T176-00).....	844
6.2.5.9.1. OBJETO	844
6.2.5.9.2. DEFINICIONES	844
6.2.5.9.3. EQUIPOS Y MATERIALES	844
6.2.5.9.4. CONDICIONES GENERALES.....	845
6.2.5.9.5. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	846
6.2.5.9.6. PROCEDIMIENTO.....	846
6.2.5.9.7. CÁLCULOS.....	847
6.2.5.9.8. PRECISIÓN	848
SECCION 6.2.5.10. MÉTODO PARA DETERMINACIÓN DE HUECOS (ASTM C29)	850
6.2.5.10.1. OBJETO	850
6.2.5.10.2. DEFINICIONES	850
6.2.5.10.3. PROCEDIMIENTO.....	850
6.2.5.10.4. CÁLCULOS.....	850
6.2.5.10.5. INFORME.....	850
SECCION 6.2.5.11. MÉTODO PARA DETERMINAR EL DESGASTE MEDIANTE LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES (ASTM C131 AASHTO T96-99)	851
6.2.5.11.1.OBJETO	851
6.2.5.11.2. EQUIPOS Y MATERIALES.....	851
6.2.5.11.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	852
6.2.5.11.4. PROCEDIMIENTO.....	852
6.2.5.11.5. CÁLCULOS.....	853
6.2.5.11.6. INFORME	853
SECCION 6.2.5.12.MÉTODO PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE VOLUMÉTRICO MEDIO DE LOS PÉTREOS GRUESOS	856
6.2.5.12.1. OBJETO	856
6.2.5.12.2. DEFINICIONES	856
6.2.5.12.3. EQUIPOS Y MATERIALES	856
6.2.5.12.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....	856
6.2.5.12.5. PROCEDIMIENTO.....	857
6.2.5.12.6.CÁLCULOS.....	858
6.2.5.12.7. PRECISIÓN	858
6.2.5.12.8. INFORME	858
SECCION 6.2.5.13. MÉTODO PARA DETERMINAR LA SUPERFICIE ESPECÍFICA	860
6.2.5.13.1. OBJETO	860
6.2.5.13.2. DEFINICIONES	860
6.2.5.13.3. FUNDAMENTOS.....	860
6.2.5.13.4. PROCEDIMIENTO.....	862
6.2.5.13.5.INFORME.....	862
SECCION 6.2.5.14. MÉTODO PARA DETERMINAR SALES SOLUBLES	863
6.2.5.14.1. OBJETO	863
6.2.5.14.2. EQUIPOS Y MATERIALES	863
6.2.5.14.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	863
6.2.5.14.4. PROCEDIMIENTO.....	863
6.2.5.14.5. INFORME	864
SECCION 6.2.5.15. MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE PARTÍCULAS DESME-NUZABLES	865
6.2.5.15.1. OBJETO	865

6.2.5.15.2. DEFINICIONES	865
6.2.5.15.3. EQUIPOS Y MATERIALES	865
6.2.5.15.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	865
6.2.5.15.5. PROCEDIMIENTO	866
6.2.5.15.6. CÁLCULOS	867
6.2.5.15.7. INFORME	868
SECCION 6.2.5.16. MÉTODO DE LOS SULFATOS PARA DETERMINAR LA DESINTEGRACIÓN (ASTM C88 AASHTO T104-99)	869
6.2.5.16.1. OBJETO	869
6.2.5.16.2. EQUIPOS Y MATERIALES	869
6.2.5.16.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	870
6.2.5.16.4. CÁLCULOS	873
6.2.5.16.5. INFORME	874
SECCION 6.2.5.17. MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE CLORUROS Y SULFATOS (ASTM D 1411)	875
6.2.5.17.1. OBJETO	875
6.2.5.17.2. EQUIPOS Y MATERIALES	875
6.2.5.17.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	876
6.2.5.17.4. DETERMINACIONES	877
6.2.5.17.5. INFORME	879
SECCION 6.2.5.18. MÉTODOS PARA DETERMINAR LA DENSIDAD APARENTE (ASTM C29 AASHTO T19M-00)	880
6.2.5.18.1. OBJETO	880
6.2.5.18.2. DEFINICIONES	880
6.2.5.18.3. EQUIPOS Y MATERIALES	880
6.2.5.18.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	881
6.2.5.18.5. PROCEDIMIENTO	882
6.2.5.18.6. CÁLCULOS	883
6.2.5.18.7. ACEPTACIÓN DE RESULTADOS	884
6.2.5.18.8. INFORME	884
SECCION 6.2.5.19. MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL, LA DENSIDAD NETA Y LA ABSORCIÓN DE AGUA EN ÁRIDOS GRUESOS (ASTM C 127 AASHTO T85-91)	885
6.2.5.19.1. OBJETO	885
6.2.5.19.2. DEFINICIONES	885
6.2.5.19.3. EQUIPOS Y MATERIALES	886
6.2.5.19.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	886
6.2.5.19.5. PROCEDIMIENTO	887
6.2.5.19.6. CÁLCULOS	888
6.2.5.19.7. PRECISIÓN	889
6.2.5.19.8. INFORME	889
SECCION 6.2.5.20. MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL, LA DENSIDAD NETA Y LA ABSORCIÓN DE AGUA EN ÁRIDOS FINOS (ASTM C 128 AASHTO T84-00)	890
6.2.5.20.1. OBJETO	890
6.2.5.20.2. DEFINICIONES	890
6.2.5.20.3. EQUIPOS Y MATERIALES	891
6.2.5.20.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	891
6.2.5.20.5. PROCEDIMIENTO	892
6.2.5.20.6. CÁLCULOS	893
6.2.5.20.7. PRECISIÓN	895
6.2.5.20.8. INFORME	895

SECCION 6.2.5.21. MÉTODO PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE TRITURACIÓN	896
6.2.5.21.1. OBJETO	896
6.2.5.21.2. INTRODUCCIÓN	896
6.2.5.21.3. EQUIPOS Y MATERIALES	896
6.2.5.21.4. ÍNDICE DE TRITURACIÓN DE LOS ÁRIDOS FINOS.....	897
6.2.5.21.5. EQUIPOS Y MATERIALES	897
6.2.5.21.6. CÁLCULOS.....	898

SECCION 6.2.5.22. MÉTODO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN POR ABRASIÓN DE ÁRIDOS GRUESOS Y FINOS UTILIZANDO EL APARATO MICRODEVAL (ASTM D6928-10 AASHTO TP58-02)	900
6.2.5.22.1. OBJETO	900
6.2.5.22.2. EQUIPOS Y MATERIALES	900
6.2.5.22.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	901
6.2.5.22.4. PROCEDIMIENTO.....	901
6.2.5.22.5. CÁLCULOS.....	903
6.2.5.22.6. USO DE UN AGREGADO DE CONTROL DE LABORATORIO	903
6.2.5.22.7. INFORME	903
6.2.5.22.8. PRECISIÓN	904

CAPITULO 6.2.6. ENSAYOS DE CEMENTO ASFALTICO PARA APLICACIONES EN MEZCLAS EN CALIENTE **907**

SECCION 6.2.6.1. MÉTODO DE MUESTREO DE MEZCLAS (ASTM D 979 AASHTO T168-99).....	908
6.2.6.1.1. OBJETO	908
6.2.6.1.2. EXTRACCIÓN Y PREPRACIÓN DE LA MUESTRA	908

SECCION 6.2.6.2. MÉTODO PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE ÁRIDOS PROVENIENTES DE EXTRACCIÓN (AASHTO T 30).....	910
6.2.6.2.1. OBJETO	910
6.2.6.2.2. EQUIPOS Y MATERIALES	910
6.2.6.2.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	910
6.2.6.2.4. PROCEDIMIENTO.....	910
6.2.6.2.5. CÁLCULOS.....	911
6.2.6.2.6. INFORME.....	911

SECCION 6.2.6.3. MÉTODO ABSON PARA LA RECUPERACIÓN DE ASFALTO (ASTM D 1856 REV A AASHTO T170-00)	912
6.2.6.3.1. OBJETO	912
6.2.6.3.2. EQUIPOS Y MATERIALES	912
6.2.6.3.3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	913
6.2.6.3.4. PROCEDIMIENTO.....	913
6.2.6.3.5. PRECISIÓN Y SESGO.....	914

SECCION 6.2.6.4. MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE LIGANTE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POR CENTRIFUGACIÓN - ENSAYO DE EXTRACCIÓN	917
6.2.6.4.1. OBJETO	917
6.2.6.4.2. EQUIPOS Y MATERIALES	917
6.2.6.4.3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	918
6.2.6.4.4. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD	918
6.2.6.4.5. PROCEDIMIENTO.....	918
6.2.6.4.6. CÁLCULOS.....	919
6.2.6.4.7. INFORME.....	920

SECCION 6.2.6.5. MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD MÁXIMA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SIN COMPACTAR (ASTM D 2041)	923
6.2.6.5.1. OBJETO	923
6.2.6.5.2. EQUIPOS Y MATERIALES	923
6.2.6.5.3. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO.....	924
6.2.6.5.4. PROCEDIMIENTO.....	925
6.2.6.5.5. CÁLCULOS.....	926
6.2.6.5.6. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO PARA MEZCLAS QUE CONTIENEN AGREGADOS POROSOS NO CUBIERTOS COMPLETAMENTE.....	926
6.2.6.5.7. EXPRESIÓN DE RESULTADOS	927
6.2.6.5.8. PRECISIÓN	927
6.2.6.5.9. INFORME.....	927
SECCION 6.2.6.6. MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS	928
6.2.6.6.1. OBJETO	928
6.2.6.6.2. DEFINICIONES	928
6.2.6.6.3. EQUIPOS Y MATERIALES	928
6.2.6.6.4. MUESTRAS DE ENSAYO.....	928
6.2.6.6.5. MÉTODO A: PROBETAS CUBIERTAS CON PARAFINA	929
6.2.6.6.6. CÁLCULOS	929
6.2.6.6.7. MÉTODO B: PROBETAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA	930
6.2.6.6.8. CÁLCULOS	930
6.2.6.6.9. MÉTODO C: GEOMÉTRICO (SÓLO PARA MEZCLAS DE GRADUACIÓN ABIERTA; PORCENTAJE DE HUECOS SUPERIOR A 15)	930
SECCION 6.2.6.7. MÉTODO PARA DETERMINAR LA HUMEDAD O VOLÁTILES EN MEZCLAS ASFÁLTICAS (ASTM D 1461 AASHTO T110-94)	931
6.2.6.7.1. OBJETO	931
6.2.6.7.2. EQUIPOS Y MATERIALES	931
6.2.6.7.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....	932
6.2.6.7.4. PROCEDIMIENTO.....	932
6.2.6.7.5. CÁLCULOS.....	933
6.2.6.7.6. INFORME.....	933
6.2.6.7.7. PRECISIÓN	933
SECCION 6.2.6.8. MÉTODO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN PLÁSTICA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS UTILIZANDO EL APARATO MARSHALL (AASHTO T 245-97).....	936
6.2.6.8.1. OBJETO	936
6.2.6.8.2. EQUIPO Y MATERIALES.....	936
6.2.6.8.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....	937
6.2.6.8.4. PROCEDIMIENTO.....	939
6.2.6.8.5. INFORME.....	939
SECCION 6.2.6.9. MÉTODO PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE MUESTRAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS (ASTM D 3549).....	944
6.2.6.9.1. OBJETO	944
6.2.6.9.2. EQUIPO Y MATERIALES.....	944
6.2.6.9.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....	944
6.2.6.9.4. PROCEDIMIENTO.....	945
6.2.6.9.5. INFORME.....	945
SECCION 6.2.6.10. MÉTODO PARA DETERMINAR LA DEFORMACIÓN EN MEZCLAS ASFÁLTICAS UTILIZANDO LA MÁQUINA DE AHUELLAMIENTO(AASHTO TP63-07).....	946
6.2.6.10.1. OBJETO	946

6.2.6.10.2. EQUIPO Y MATERIALES.....	946
6.2.6.10.3. PROCEDIMIENTO.....	948
6.2.6.10.4. CÁLCULOS.....	950
6.2.6.10.5. 2 INFORME.....	951
SECCION 6.2.6.11. MÉTODO SCHULZE-BREUER Y RUCK PARA DETERMINAR LA COMPATIBILIDAD FILLER LIGANTE ASFÁLTICO.....	960
6.2.6.11.1. OBJETO	960
6.2.6.11.2. EQUIPOS Y MATERIALES.....	960
6.2.6.11.3. PREPARACIÓN DE LA MEZCLA	961
6.2.6.11.4.2 PROCEDIMIENTO.....	961
6.2.6.11.5. INFORME.....	962
SECCION 6.2.6.12. MÉTODO PARA DETERMINAR IN SITU LA PERMEABILIDAD DE PAVIMENTOS DRENANTES	963
6.2.6.12.1. OBJETO	963
6.2.6.12.2. EQUIPOS Y MATERIALES.....	963
6.2.6.12.3. PROCEDIMIENTO.....	963
6.2.6.12.4. CÁLCULOS.....	964
6.2.6.12.5. INFORME.....	964
SECCION 6.2.6.13. MÉTODO DE DISEÑO MARSHALL	965
6.2.6.13.1. OBJETO	965
6.2.6.13.2. DETERMINACIONES PREVIAS	965
6.2.6.13.3. CÁLCULOS.....	965
6.2.6.13.4. INFORME.....	969
SECCION 6.2.6.14. MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS (AASHTO R12-85).....	971
6.2.6.14.1. OBJETO	971
6.2.6.14.2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	971
6.2.6.14.3. PROCEDIMIENTO	971
6.2.6.14.4. CÁLCULOS	973
6.2.6.14.5. PRECISIÓN	973
6.2.6.14.6. INFORME	974
SECCION 6.2.6.15. MÉTODO PARA CARACTERIZACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYO CANTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE.....	975
6.2.6.15.1. OBJETO	975
6.2.6.15.2. EQUIPOS Y MATERIALES	975
6.2.6.15.3. PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS	976
6.2.6.15.4. PROCEDIMIENTO	976
6.2.6.15.5. CÁLCULOS	977
SECCION 6.2.6.16. MÉTODO PARA DETERMINAR EL EFECTO DEL AGUA SOBRE LA COHESIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ABIERTA, MEDIANTE EL ENSAYO CANTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE (AASHTO T165-97).....	978
6.2.6.16.1. OBJETO	978
6.2.6.16.2. EQUIPOS Y MATERIALES	978
6.2.6.16.3. FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS	979
6.2.6.16.4. PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS	979
6.2.6.16.5. DENSIDAD Y ANÁLISIS DE HUECOS.....	981
6.2.6.16.6. PROCEDIMIENTO	981
6.2.6.16.7. CÁLCULOS	982

SECCION 6.2.6.17. MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE ASFALTO POR IGNICIÓN (AASHTO T 308-97)	984
6.2.6.17.1. OBJETO	984
6.2.6.17.2. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	984
6.2.6.17.3. CALIBRACIÓN	985
6.2.6.17.4. MÉTODO DE ENSAYO A	986
6.2.6.17.5. MÉTODO DE ENSAYO B.....	988
6.2.6.17.6. GRADUACIÓN	990
6.2.6.17.7. INFORME.....	990
6.2.6.17.8. PRECISIÓN Y SESGO.....	991

SECCION 6.2.6.18. MÉTODO DE RECUPERACIÓN DEL LIGANTE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA SU CARACTERIZACIÓN	992
6.2.6.18.1. OBJETO	992
6.2.6.18.2. MÉTODO CON COLUMNA DE FRACCIONAMIENTO - PRINCIPIO DEL MÉTODO	992
6.2.6.18.3. APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS	992
6.2.6.18.4. PROCEDIMIENTO.....	994
6.2.6.18.5. CÁLCULOS.....	996
6.2.6.18.6. PRECISIÓN	996
6.2.6.18.7. MÉTODO CON EL DESTILADOR ROTATORIO - PRINCIPIO DEL MÉTODO	997
6.2.6.18.8. EQUIPO Y MATERIALES.....	997
6.2.6.18.9. PROCEDIMIENTO.....	998
6.2.6.18.10. CÁLCULOS.....	1000
6.2.6.18.11. PRECISIÓN	1000

CAPITULO 6.2.7. ENSAYOS RELACIONADOS A APLICACIONES DE EMULSIONES EN MEZCLAS EN FRÍO Y SELLOS..... 1002

SECCION 6.2.7.1. MÉTODO ESTÁTICO PARA DETERMINAR LA ADHERENCIA ÁRIDO – LIGANTE ASFÁLTICO (ASTM D 1664)	1003
6.2.7.1.1. OBJETO	1003
6.2.7.1.2. EQUIPOS Y MATERIALES	1003
6.2.7.1.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	1003
6.2.7.1.4. PROCEDIMIENTO.....	1004
6.2.7.1.5. CÁLCULOS.....	1005

SECCION 6.2.7.2. MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE LIGANTE MEDIANTE EL EQUIVALENTE CENTRÍFUGO DE KEROSENE (ECK)	1006
6.2.7.2.1. OBJETO	1006
6.2.7.2.2. DEFINICIONES	1006
6.2.7.2.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1007
6.2.7.2.4. REACTIVOS	1007
6.2.7.2.5. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	1008
6.2.7.2.6. PROCEDIMIENTO.....	1008
6.2.7.2.7. CÁLCULOS.....	1009

SECCION 6.2.7.3. MÉTODO THOMAS DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO	1012
6.2.7.3.1. OBJETO	1012
6.2.7.3.2. PROCEDIMIENTO.....	1012
6.2.7.3.3. CÁLCULOS.....	1012
6.2.7.3.4. INFORME.....	1013

SECCION 6.2.7.4. MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO CON EMULSIÓN.....	1015
6.2.7.4.1. OBJETO	1015
6.2.7.4.2. EQUIPOS Y MATERIALES	1015
6.2.7.4.3. PROCEDIMIENTO.....	1015

6.2.7.4.4. TEST DE CUBRIMIENTO Y ADHESIÓN	1016
6.2.7.4.5. CONTENIDO ÓPTIMO DE AGUA DE COMPACTACIÓN	1018
6.2.7.4.6. VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE ASFALTO RESIDUAL	1020
6.2.7.4.7. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO INICIAL DE EMULSIÓN	1020
6.2.7.4.8. CÁLCULOS.....	1022
6.2.7.4.9. INFORME.....	1023
SECCION 6.2.7.5. MÉTODO DE DISEÑO DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.....	1025
6.2.7.5.1. OBJETO	1025
6.2.7.5.2. DEFINICIONES	1025
6.2.7.5.3. DETERMINACIONES PREVIAS	1025
6.2.7.5.4. CÁLCULOS.....	1028
6.2.7.5.5. INFORME.....	1029
SECCION 6.2.7.6. MÉTODO DE DISEÑO DE LECHADAS ASFÁLTICAS	1030
6.2.7.6.1. OBJETO	1030
6.2.7.6.2. DETERMINACIONES PREVIAS	1030
6.2.7.6.3. PROCEDIMIENTO.....	1030
6.2.7.6.4. CÁLCULOS.....	1032
6.2.7.6.5. INFORME.....	1033
SECCION 6.2.7.7. MÉTODO PARA DETERMINAR EL PORCENTAJE MÁXIMO DE LIGANTE EN LECHADAS ASFÁLTICAS USANDO LA RUEDA DE CARGA	1035
6.2.7.7.1. OBJETO	1035
6.2.7.7.2. EQUIPO Y MATERIALES.....	1035
6.2.7.7.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	1036
6.2.7.7.4. PROCEDIMIENTO.....	1037
6.2.7.7.5. CÁLCULOS.....	1038
6.2.7.7.6. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS	1038
6.2.7.7.7. INFORME.....	1038
SECCION 6.2.7.8. MÉTODO PARA DETERMINAR LA CONSISTENCIA DE LECHADAS ASFÁLTICAS (ASTM D 3910)	1040
6.2.7.8.1. OBJETO	1040
6.2.7.8.2. EQUIPOS Y MATERIALES	1040
6.2.7.8.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	1040
6.2.7.8.4. PROCEDIMIENTO.....	1041
6.2.7.8.5. CÁLCULOS.....	1041
6.2.7.8.6. INFORME.....	1041
SECCION 6.2.7.9. MÉTODO DE ABRASIÓN EN MEDIO HÚMEDO PARA LECHADAS ASFÁLTICAS (ASTM D 3910)	1043
6.2.7.9.1. OBJETO	1043
6.2.7.9.2. EQUIPO Y MATERIALES.....	1043
6.2.7.9.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	1044
6.2.7.9.4. PROCEDIMIENTO.....	1044
6.2.7.9.5. CÁLCULOS.....	1045
6.2.7.9.6. INFORME.....	1046
CAPITULO 6.2.8.	1048
SECCION 6.2.8.1. MÉTODO PARA DETERMINAR LA RUGOSIDAD DE LOS PAVIMENTOS MEDIANTE PERFILOMETRÍA LONGITUDINAL.....	1049
6.2.8.1.1. OBJETO	1049
6.2.8.1.2. DEFINICIONES	1049
6.2.8.1.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1049
6.2.8.1.4. CONDICIONES GENERALES.....	1050

6.2.8.1.5. PROCEDIMIENTO.....	1050
6.2.8.1.6. PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN.....	1050
6.2.8.1.7. CÁLCULOS.....	1051
6.2.8.1.8. INFORME.....	1051
SECCION 6.2.8.2. MÉTODO PARA DETERMINAR LAS IRREGULARIDADES SUPERFICIALES DE LOS PAVIMENTOS MEDIANTE HILO	1054
6.2.8.2.1. OBJETO	1054
6.2.8.2.2. EQUIPOS Y MATERIALES	1054
6.2.8.2.3. CONDICIONES GENERALES.....	1055
6.2.8.2.4. MANTENIMIENTO Y TRANSPORTE	1056
6.2.8.2.5. PROCEDIMIENTO.....	1056
6.2.8.2.6. INFORME.....	1058
SECCION 6.2.8.3. MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO MEDIANTE PERFILOMETRÍA LÁSER (ASTM 1845)	1063
6.2.8.3.1. OBJETO	1063
6.2.8.3.2. DEFINICIONES	1063
6.2.8.3.3. EQUIPO Y MATERIALES.....	1064
6.2.8.3.4. CONDICIONES GENERALES.....	1064
6.2.8.3.5. PROCEDIMIENTO.....	1065
6.2.8.3.6. PRECISIÓN	1067
SECCION 6.2.8.4. MÉTODO PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DES- LIZAMIENTO EN EL PAVIMENTO CON PÉNDULO BRITÁNICO (TRRL) (ASTM E 303 AASHTO T278-90).....	1068
6.2.8.4.1. OBJETO	1068
6.2.8.4.2. DEFINICIONES	1068
6.2.8.4.3. EQUIPO Y MATERIALES.....	1069
6.2.8.4.4. MATERIAL AUXILIAR	1070
6.2.8.4.5. CONDICIONES GENERALES.....	1070
6.2.8.4.6. PROCEDIMIENTO.....	1071
6.2.8.4.7. CÁLCULOS.....	1074
SECCION 6.2.8.5. MÉTODO PARA DETERMINAR LA TEXTURA SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO MEDIANTE ENSAYO DEL CÍRCULO DE ARENA (ASTM E 965)	1082
6.2.8.5.1. OBJETO	1082
6.2.8.5.2. SIGNIFICADO Y USO	1082
6.2.8.5.3. DEFINICIONES	1082
6.2.8.5.4. EQUIPO Y MATERIALES.....	1083
6.2.8.5.5. CONDICIONES GENERALES.....	1083
6.2.8.5.6. PROCEDIMIENTO.....	1084
6.2.8.5.7. CÁLCULOS.....	1084
6.2.8.5.8. INFORME.....	1085
SECCION 6.2.8.6. MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN TRANSVERSAL DEL PAVIMENTO CON SCRIM (NTL 336)	1087
6.2.8.6.1. OBJETO	1087
6.2.8.6.2. DEFINICIONES	1087
6.2.8.6.3. EQUIPOS Y MATERIALES.....	1088
6.2.8.6.4. CONDICIONES GENERALES.....	1088
6.2.8.6.5. PROCEDIMIENTO.....	1089
SECCION 6.2.8.7. MÉTODO PARA DETERMINAR EL AHUELLAMIENTO.....	1091
6.2.8.7.1. OBJETO	1091
6.2.8.7.2. EQUIPOS Y MATERIALES	1091
6.2.8.7.3. CONDICIONES GENERALES.....	1091

6.2.8.7.4. PROCEDIMIENTO.....	1092
6.2.8.7.5. INFORME.....	1092

**CAPITULO 6.2.9. ENSAYOS PARA LA EVALUACIÓN DE CONDICIONES ESTRUCTURALES DE PAVI-
MENTOS ASFÁLTICOS..... 1095**

SECCION 6.2.9.1. MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE TESTIGOS.....	1096
6.2.9.1.1. OBJETO	1096
6.2.9.1.2. DEFINICIONES	1096
6.2.9.1.3. EQUIPOS Y MATERIALES.....	1097
6.2.9.1.4. CONDICIONES GENERALES.....	1097
6.2.9.1.5. PROCEDIMIENTO.....	1097

SECCION 6.2.9.2. MÉTODO NUCLEAR PARA DETERMINAR IN SITU LA DENSIDAD DE SUELOS (MEDICIÓN SUPERFICIAL) (AASHTO T238).....	1101
6.2.9.2.1. OBJETO	1101
6.2.9.2.2. CONDICIONES GENERALES.....	1102
6.2.9.2.3. PRECISIÓN	1103
6.2.9.2.4. PROCEDIMIENTO.....	1104
6.2.9.2.5. PROCEDIMIENTO B, TRANSMISIÓN DIRECTA	1106
6.2.9.2.6. PROCEDIMIENTO C, COLCHÓN DE AIRE	1107

SECCION 6.2.9.3. MÉTODO NUCLEAR PARA DETERMINAR IN SITU LA HUMEDAD DE SUE- LOS (MEDICIÓN SUPERFICIAL) (ASTM D 3017).....	1111
6.2.9.3.1. OBJETO	1111
6.2.9.3.2. EQUIPOS Y MATERIALES.....	1111
6.2.9.3.3. CONDICIONES GENERALES.....	1112
6.2.9.3.4. PRECAUCIONES DE SEGURIDAD	1113
6.2.9.3.5. PROCEDIMIENTO.....	1114
6.2.9.3.6. CÁLCULOS.....	1115
6.2.9.3.7. PRECISIÓN	1115
6.2.9.3.8. INFORME.....	1116

SECCION 6.2.9.4. MÉTODO PARA MEDIR DEFLEXIONES MEDIANTE EL DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO (FWD)(ASTM D 4694).....	1117
6.2.9.4.1.OBJETO	1117
6.2.9.4.2. DEFINICIONES	1118
6.2.9.4.3. EQUIPOS Y MATERIALES.....	1118
6.2.9.4.4. CONDICIONES GENERALES.....	1119
6.2.9.4.5. MAGNITUD DE LA CARGA POR APLICAR	1119
6.2.9.4.6. LUGARES DE ENSAYO	1120
6.2.9.4.7. RENDIMIENTO	1121
6.2.9.4.8. PROCEDIMIENTO.....	1121
6.2.9.4.9. INFORMACIÓN Y RESULTADOS	1122

SECCION 6.2.9.5. MÉTODO PARA CALCULAR LAS PROPIEDADES ELÁSTICAS DE LOS PAVI- MENTOS A PARTIR DE LA DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO (FWD)	1124
6.2.9.5.1. OBJETO	1124
6.2.9.5.2. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO	1124
6.2.9.5.3. ANÁLISIS DE LAS DEFLEXIONES	1124
6.2.9.5.4. ANÁLISIS DE DEFLEXIONES EN RECAPADOS	1128

SECCION 6.2.9.6. MÉTODO PARA DETERMINAR SI DOS MUESTRAS DE DEFLEXIÓN CORRES- PONDEN A LA MISMA POBLACIÓN	1131
6.2.9.6.1. OBJETO	1131

6.2.9.6.2. DEFINICIONES	1131
6.2.9.6.3. MÉTODOS ESTADÍSTICOS	1131
SECCION 6.2.9.7. MÉTODO NUCLEAR PARA DETERMINAR IN SITU LA DENSIDAD DE CAPAS ASFÁLTICAS(ASTM D 2950).....	1138
6.2.9.7.1. OBJETO	1138
6.2.9.7.2. EQUIPOS Y MATERIALES.....	1138
6.2.9.7.3. CONDICIONES GENERALES.....	1139
6.2.9.7.4. ELECCIÓN Y PREPARACIÓN DEL SITIO DE ENSAYO	1140
6.2.9.7.5. PROCEDIMIENTO.....	1140
6.2.9.7.6. PRECISIÓN	1140
6.2.9.7.7. INFORME.....	1141
SECCION 6.2.9.8. MÉTODO NUCLEAR PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE ASFALTO DE UNA MEZCLA (ASTM D 4125 AASHTO T287-97)	1142
6.2.9.8.1. OBJETO	1142
6.2.9.8.2. EQUIPOS Y MATERIALES.....	1142
6.2.9.8.3. CONDICIONES GENERALES.....	1143
6.2.9.8.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....	1143
6.2.9.8.5. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA A ENSAYAR	1144
6.2.9.8.6. CURVA DE CALIBRACIÓN	1144
6.2.9.8.7. NORMALIZACIÓN	1145
6.2.9.8.8. INFORME.....	1146
BIBLIOGRAFÍA	1214

INDICE DE TABLAS

Tabla 6.2_1. Indicaciones para muestreo según tipo de asfalto.....	574
Tabla 6.2_2. Tipos de envases para muestreo.....	574
Tabla 6.2_3. Unidades por extraer según tamaño del lote.....	578
Tabla 6.2_4. Tipos de termómetros.....	589
Tabla 6.2_5. Condiciones para ensayos especiales.....	589
Tabla 6.2_6. Criterios de precisión.....	591
Tabla 6.2_7. Diferencia máxima entre mediciones.....	591
Tabla 6.2_8. Valores de corrección del punto de inflamación y punto de combustión.....	602
Tabla 6.2_9. Aceptabilidad de resultados de ensayo para viscosidad cinemática.....	613
Tabla 6.2_10. Viscosidad de aceites normales.....	616
Tabla 6.2_11. Tamaño de viscosímetros normales, factores de calibración aproximado k, y rangos de viscosidad para viscosímetros capilares de vacío cannon – manning.....	629
Tabla 6.2_12. Tamaño viscosímetros normales, radio del capilar, factores de calibración aproximado k, y rangos de viscosidades para viscosímetros capilares de vacío koppers modificado.....	630
Tabla 6.2_13. Viscosidad normal.....	630
Tabla 6.2_14. Requerimientos del sistema de control y adquisición de datos.....	649
Tabla 6.2_15. Valores de deformación.....	654
Tabla 6.2_16. Niveles objetivos de tensión.....	654
Tabla 6.2_17. Precisiones estimadas.....	656
Tabla 6.2_18. Precisión estimada.....	680
Tabla 6.2_19. Soluciones de carbonato de sodio y sus grados de adherencia.....	709
Tabla 6.2_20. Precisión.....	713
Tabla 6.2_21. Precisión.....	717
Tabla 6.2_22.....	735
Tabla 6.2_23.....	735
Tabla 6.2_24.....	737
Tabla 6.2_25.....	737
Tabla 6.2_26.....	739
Tabla 6.2_27.....	739
Tabla 6.2_28.....	741
Tabla 6.2_29.....	741
Tabla 6.2_30.....	743
Tabla 6.2_31.....	743
Tabla 6.2_32.....	750
Tabla 6.2_33. Límites permitidos.....	754
Tabla 6.2_34. Tipos de solventes líquido transportados.....	755
Tabla 6.2_35. Termómetros astm para viscosidades saybolt.....	758
Tabla 6.2_36. Temperatura de ensayo del baño.....	762
Tabla 6.2_37. Viscosidad cinemática a viscosidad saybolt universal.....	769
Tabla 6.2_38. Factores de conversión de viscosidad cinemática a viscosidad saybolt universal	785
Tabla 6.2_39. Viscosidad cinemática a viscosidad saybolt furol.....	786
Tabla 6.2_40. Cantidad de ligante residual (kg/m ²).....	792
Tabla 6.2_41. Temperatura corregida para fracciones de destilado a distintas altitudes....	806
Tabla 6.2_42. Factor para calcular correcciones de temperatura.....	806
Tabla 6.2_43. Cantidad mínima de muestra de ensayo.....	822
Tabla 6.2_44. Serie de tamices escogidos.....	834
Tabla 6.2_45. Tamaño de la muestra de ensayo del árido fino.....	835
Tabla 6.2_46. Tamaño de la muestra de ensayo del árido grueso.....	835
Tabla 6.2_47. Tamaño de la muestra de ensayo.....	839
Tabla 6.2_48. Cantidad mínima de muestra de ensayo.....	842

Tabla 6.2_49. Grados de ensayo (definidos por sus rangos de tamaño, en mm)	854
Tabla 6.2_50. Tamaño mínimo de la muestra de ensayo	857
Tabla 6.2_51. Superficie específica según tamaño de partículas	861
Tabla 6.2_52. Cantidad y aforo de la muestra.	863
Tabla 6.2_53. Tamaño mínimo de la muestra de ensayo	866
Tabla 6.2_54. Tamices para separar residuos	867
Tabla 6.2_55. Tamaño de la muestra de ensayo árido fino	870
Tabla 6.2_56. Pétreo grueso	871
Tabla 6.2_57. Serie de tamices para examen cuantitativo	873
Tabla 6.2_58. Tamaño mínimo de la muestra y aforo	876
Tabla 6.2_59. Dimensiones de las medidas	881
Tabla 6.2_60. Cantidad mínima de muestra según tamaño máximo nominal del árido	887
Tabla 6.2_61. Cortes de las granulometrías	896
Tabla 6.2_62.	901
Tabla 6.2_63. Tiempo indicado para cada graduación	902
Tabla 6.2_64. Graduación de árido fino combinado	902
Tabla 6.2_65. Precisión multilaboratorio	904
Tabla 6.2_66. Tamaño de la muestra bituminosa	908
Tabla 6.2_67. Tamaño de la muestra de ensayo	918
Tabla 6.2_68. Tamaño de la muestra de ensayo	925
Tabla 6.2_69. Densidad del agua a distintas temperaturas	926
Tabla 6.2_70. Factores de corrección por altura para estabilidad marshall	940
Tabla 6.2_71. Graduación de árido para ensayo schulze-breuer and ruck	961
Tabla 6.2_72. Sistema de clasificación filler – asfalto.	962
Tabla 6.2_73. Requerimientos al tamaño de la muestra de ensayo	985
Tabla 6.2_74. Precisión del método para determinar el contenido de asfalto por ignición	991
Tabla 6.2_75. Factores de área superficial	1006
Tabla 6.2_76. Contenido de asfalto de diseño	1013
Tabla 6.2_77. Criterios de diseño para mezclas asfálticas en frío con emulsión	1023
Tabla 6.2_78. Factor de desperdicio	1027
Tabla 6.2_79. Factor de tránsito	1027
Tabla 6.2_80. Corrección por textura superficial	1027
Tabla 6.2_81. Distribución de la dosis total de ligante, en capas individuales	1029
Tabla 6.2_82. Valores máximos admisibles para adhesión de arena	1032
Tabla 6.2_83. Granulometría de la arena calibrada	1036
Tabla 6.2_84. Registro de mediciones con péndulo británico	1074
Tabla 6.2_85. Solución tabular para el método de diferencia acumulada	1132
Tabla 6.2_86. Aplicación método de sectorización por diferencias acumuladas	1133
Tabla 6.2_87. Tramos homogéneos en deflexión	1134
Tabla 6.2_88. Prueba t: valores críticos de t para distintos niveles de significación	1136
Tabla 6.2_89. Datos de deflexiones	1137

INDICE DE FIGURAS

Figura 6.2_1. Tubo para muestreo.....	579
Figura 6.2_2. Muestreador de envase desechable.....	580
Figura 6.2_3. Depósito típicos sumergidos de muestreo de asfalto.....	581
Figura 6.2_4. Muestreador de inmersión.....	582
Figura 6.2_5. Depósito típico para muestra de asfalto líquidos de los transportes.....	583
Figura 6.2_6. Picnómetros.....	586
Figura 6.2_7. Aguja para ensayo de penetración.....	588
Figura 6.2_8. Figura 1- molde para ductilidad de muestra de ensayo,.....	599
Figura 6.2_9. Copa abierta de cleveland.....	604
Figura 6.2_10. Figura 1- placa de calentamiento,.....	605
Figura 6.2_11. Aparato de filtración.....	609
Figura 6.2_12. Cannon fenske opaque viscosímetro para líquidos opacos y transparentes.....	619
Figura 6.2_13. Zeifuchs cross-arm viscosímetro para líquidos opacos y transparentes.....	620
Figura 6.2_14. Lantz- zetzuchs tipo flujo reverso viscosímetro para líquidos opacos.....	621
Figura 6.2_15. Be/ip/rf u. Tubo flujo reverso viscosímetro para líquidos opacos.....	622
Figura 6.2_16. Fig.1 Sistema esencial de vacío,.....	631
Figura 6.2_17. Anillo, porta-anillo, guía para centrar la bola y ensamble del aparato mostrando dos anillos.....	635
Figura 6.2_18. Aparato fraas.....	640
Figura 6.2_19. Mecanismo de flexión.....	641
Figura 6.2_20. Nomograma de heukelom.....	644
Figura 6.2_21. Representación de los tipos de ligante en el nomograma de heukelom.....	645
Figura 6.2_22. Ensayo de barrido.....	658
Figura 6.2_23. Esquema de la configuración típica de un sistema de ensayo de envejecimiento acelerado de cámara de presión pav.....	666
Figura 6.2_24. Diagrama que muestra la ubicación de las bandejas y rtd dentro de la cámara de presión.....	666
Figura 6.2_25. Esquema del reómetro de viga de flexión.....	686
Figura 6.2_26. Dimensiones y especificación para los moldes de aluminio.....	687
Figura 6.2_27. Estándar de espesores típicos, usados para calibrar el sensor de deflexión.....	688
Figura 6.2_28. Test información.....	689
Figura 6.2_29. Ensayo de creep en flexión a bajas temperaturas.....	690
Figura 6.2_30. Geometría de ensayo de tracción directa.....	703
Figura 6.2_31. Tracción directa.....	704
Figura 6.2_32. Tracción directa.....	705
Figura 6.2_33. Molde para probeta, ensayo de tracción directa.....	706
Figura 6.2_34. Vista de frente y de perfil del portador metálico circular y vista de perfil del orificio y tubo de cobre de línea de aire.....	718
Figura 6.2_35. Medidor de flujo, cerro circular metálico.....	719
Figura 6.2_36. Frasco contenedor de vidrio.....	720
Figura 6.2_37. Figura 1- molde para ensayo de recuperación elástica,.....	724
Figura 6.2_38. Nomograma de hukelom bitumen test date charl.....	726
Figura 6.2_39. Destilador.....	730
Figura 6.2_40. Figura 1- anillo quemador de un di de 125 mm,.....	731
Figura 6.2_41. Figura 1- ensayadores carga de partículas,.....	733
Figura 6.2_42. 1- Estanque de flujo con carga hidrostática constante,.....	748
Figura 6.2_43. Figura 1-ensambles típico con matraz de vidrio,.....	757
Figura 6.2_44. Viscosímetro saybolt con orificio universal y furol.....	763
Figura 6.2_45. Figura1-tubo succionador para usar con viscosímetro saybolt,.....	764
Figura 6.2_46. Rodillo de compactación.....	795
Figura 6.2_47. Dispositivo para el ensayo con placa vialit.....	796
Figura 6.2_48. Copa abierta tag para puntos de inflamación.....	801

Figura 6.2_49. Figura 1- copa para ensayo de vidrio	802
Figura 6.2_50. Figura 1- matraz destilador	809
Figura 6.2_51. Figura 1- aparato de destilación	810
Figura 6.2_52. Medida cilíndrica-100 ml nominal	819
Figura 6.2_53. Dispositivo de soporte apropiado para el embudo con la medida	820
Figura 6.2_54. Cuarteo de muestras	831
Figura 6.2_55. Cuarteador	832
Figura 6.2_57. Figura 1- probeta graduada,	849
Figura 6.2_58. Máquina de los ángeles	855
Figura 6.2_59. Figura 1. -Cilindro de acero para áridos gruesos.....	899
Figura 6.2_60. Máquina de abrasión micro - deval y tiesto.....	905
Figura 6.2_61. Carta de tendencia para control de agregado de referencia	906
Figura 6.2_62. Equipo de destilación para recuperar asfalto	916
Figura 6.2_63. Bol tipo para extracción	921
Figura 6.2_64. Extracción de asfaltos	922
Figura 6.2_65. Trampas para determinas las fracciones volátiles del bitumen	935
Figura 6.2_66. Aparato de marshall. Figura 1 - molde de compactación.	942
Figura 6.2_67. Aparato de marshall. Mordaza	943
Figura 6.2_68. Molde	952
Figura 6.2_69. Angulares y collarín	953
Figura 6.2_70. Base de compactación	954
Figura 6.2_71. Elemento compactador	955
Figura 6.2_72. Aparatos de extensión y enrase.....	956
Figura 6.2_73. Máquina de ensayo	957
Figura 6.2_74. Máquina de ensayo	958
Figura 6.2_75. Cámara termoestabilizada.....	959
Figura 6.2_76. Permeámetro I.C.S.....	964
Figura 6.2_77. Esquema aparato de destilación mediante columna de fraccionamiento...	1001
Figura 6.2_78. Esquema aparato de destilación mediante destilador rotatorio	1001
Figura 6.2_79. Figura 1- ábaco para calcular kf a partir de eck,	1010
Figura 6.2_80. Figura 3- ábaco para combinar kf y kc para determinar km.	1011
Figura 6.2_81. Mh en función del porcentaje de emulsión para un contenido de agua total constante	1031
Figura 6.2_82. Curva tipo: arena adherida en función del porcentaje de emulsión para un contenido de agua total constante.....	1032
Figura 6.2_83. Máquina de ensayo de rueda cargada.....	1039
Figura 6.2_84. Placa de encubrimiento para el ensayo de consistencia.....	1042
Figura 6.2_85. Conjunto de abrasión.	1047
Figura 6.2_86. Formulario tipo: informe de control de iri mediante perfilómetro	1053
Figura 6.2_87. Detector hi-lo.....	1059
Figura 6.2_88. Formulario tipo de auscultación. Cálculo de áreas con fallas de lisura.....	1060
Figura 6.2_89. Formulario tipo de informe. Control de lisura mediante hilo para pavimentos asfálticos	1061
Figura 6.2_90. Formulario tipo de informe. Control de lisura mediante hilo para pavimentos de hormigón.....	1062
Figura 6.2_91. Procedimiento de cálculo de la profundidad media del segmento	1067
Figura 6.2_92. Péndulo del TRRL.	1076
Figura 6.2_93. Detalle del brazo del péndulo.....	1076
Figura 6.2_94. Detalle de la disposición de la zapata de goma.	1077
Figura 6.2_95. Zapata de goma.	1078
Figura 6.2_96. Detalle del dispositivo de desplazamiento vertical del péndulo.....	1079
Figura 6.2_97. Detalle del mecanismo de suspensión del péndulo.	1080
Figura 6.2_98. Regla graduada para ajustar la longitud de medida sobre la superficie de ensayo	1080

Figura 6.2_99. Corrección a aplicar al coeficiente de resistencia al deslizamiento a distintas temperaturas para obtener el valor correspondiente a 20 ac.	1081
Figura 6.2_100. Aparato para medir profundidad de macrotextura de la superficie del pavimento.	1086
Figura 6.2_101. Esquema gráfico para determinar el ahuellamiento	1091
Figura 6.2_102. Formulario tipo de informe de control de ahuellamiento	1094
Figura 6.2_103. Esquema general de una testiguera de alto rendimiento.....	1099
Figura 6.2_104. Testiguera portátil.....	1100
Figura 6.2_105. Soporte metálico típico 25x25x3 mm.	1110
Figura 6.2_106. Características de los ensayos según tipo de pavimento y objetivos del estudio.....	1122
Figura 6.2_107. Ejemplo: gráfica de zx (diferencias acumuladas) como función de la distancia	1132
Figura 6.2_108. Gráfico kilometraje vs. Zx.....	1133
Figura 6.2_109. Distribución t, confiabilidad 90%.....	1135

INTRODUCCIÓN

El presente Volumen está referido a **Asfalto y otros materiales bituminosos**, dentro del tomo II de Especificaciones Técnicas de Materiales de Construcción y Mantenimiento, correspondiente a las normas y requisitos esenciales para la determinación de los materiales a incorporar como parte de los diferentes elementos que son utilizados en obras viales encaradas por el Ministerio de Obras Publicas y Comunicaciones, en la República del Paraguay, así como a los sistemas para diseñar mezclas de materiales para que cumplan con esos requisitos, a los procedimientos a que se debe ajustar la extracción de muestras representativas, a los métodos que se deben seguir para ensayarlas en el laboratorio y a los métodos para determinar “in situ” las propiedades y características de los materiales y de las obras a ser ejecutadas y del glosario de términos más comunes.

El contenido de este volumen está constituido por normas y procedimientos que no deben cambiarse bajo ninguna circunstancia. En especial, los ensayos de laboratorio deben ajustarse exactamente a procedimientos y criterios que se indican. Cualquier alteración de los mismos obliga, a anular el resultado obtenido, pues imposibilita su comparación con otras especificaciones y resultados obtenidos de otros ensayos.

Las normas están referidas en capítulos que abarcan todas las condiciones de utilización del asfalto; **ensayos relacionados a cementos asfálticos modificados y no modificados, emulsiones asfálticas y asfaltos diluidos, agregados componentes a aplicaciones asfálticas, cementos asfálticos en mezclas en caliente y en frío, así como la evaluación de las condiciones superficiales y de las condiciones estructurales y diseño de pavimentos asfálticos**. El contenido de este manual es una recopilación de normas ya establecidas y desarrolladas por organismos especializados. En el título de cada método se incluyó el nombre de las normas base.

Cada norma de ensayo correspondiente incluye detalles del **objeto, equipos y materiales, extracción y preparación de la muestra, procedimientos, cálculos, precisión – repetibilidad y reproducibilidad – observaciones, sesgo, figuras y notas**. Algunos ensayos más importantes también cuenta con detalles específicos en la parte final de este volumen.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

A

Abrasión.- Proceso de desgaste producido en una superficie por pérdidas de material causadas por agentes externos.

Absorción de Agua.- Masa de agua necesaria para llevar un material pétreo del estado seco al estado saturado superficialmente seco. Se expresa como porcentaje referido a la masa del pétreo seco.

Acopio.- Acumulación planificada de materiales destinados a la construcción de una obra.

Aditivos (asfaltos modificados).- Productos, normalmente polímeros, que se agregan a un cemento asfáltico, resultando un ligante de características reológicas mejoradas.

Ahuellamiento (pavimento flexible).- Depresión longitudinal del pavimento que coincide con la zona donde pasan con mayor frecuencia las ruedas de los vehículos (huella).

Alargamiento de una Partícula.- Es la relación entre el largo y el ancho de una partícula de suelo.

Aparato Marshall.- Aparato eléctrico, diseñado para aplicar carga a las probetas durante el ensayo, a una velocidad de deformación de 50 ± 1 mm/min. Está equipada con un anillo de prueba calibrado para determinar la carga aplicada, de una capacidad superior a 25 kN y una sensibilidad de 45N con un dial graduado de 0,0025 mm y un medidor de flujo con una precisión de 0,01 mm, para determinar la deformación que se produce en la carga máxima. Se puede emplear también esta máquina equipada con sensor y registrador de estabilidad v/s fluencia.

Arcilla.- Suelo de granos finos (compuesto por partículas menores a 5 micrones), que posee al-taplasticidad dentro de ciertos límites de contenido de humedad y que, secado al aire, adquiere una resistencia importante.

Arena.- Material resultante de la desintegración, molienda o trituración de la roca, cuyas partículas pasan por el tamiz de 5 mm y son retenidas por el de 0,08 mm.

Árido.- Material pétreo compuesto de partículas duras, de forma y tamaño estables.

Árido Combinado.- Árido resultante de la combinación de árido fino y árido grueso en proporciones definidas por el estudio de dosificación y que ha de emplearse en la fabricación de un hormigón.

Árido Fino.- Árido que pasa por el tamiz de abertura nominal 5 mm (hormigón) y 2,5 mm (asfalto) y es retenido en el de 0,75 mm.

Árido Grueso.- Árido retenido en el tamiz de abertura nominal 5 mm cuando se emplea en hormigón y 2,5 mm cuando se utiliza en asfalto.

Árido Integral.- Árido grueso y árido fino mezclados en proporción no definida.

Árido Natural.- Árido procedente de yacimientos pétreos y que no ha sido sometido a tratamiento alguno.

Árido Tratado.- Árido que ha sido sometido a tratamiento de trituración, clasificación por tamaños y/o lavado, en operaciones mecánicas controladas.

Asfaltenos.- Componentes de los asfaltos, solubles en tricloroetileno, pero insolubles en ciertos hidrocarburos parafínicos livianos. Le confieren la propiedad de dureza a los asfaltos.

Asfalto Cortado.- Cemento asfáltico fluidificado con disolventes de petróleo. Su volatilidad depende del tipo de disolvente utilizado.

Asfalto Modificado.- Material que se obtiene al modificar un cemento asfáltico con un polímero, resultando un ligante de características reológicas mejoradas.

Asociación Molecular.- Se refiere a la asociación que ocurre entre las moléculas de ligante asfáltico durante el almacenamiento a temperatura ambiente. El efecto de la asociación molecular es específico de cada asfalto y puede presentarse incluso después de pocas horas de almacenamiento.

B

Bache.- Hoyos de diversos tamaños que se producen en la superficie de rodadura por desintegración local.

Base Abierta Ligada.- Los materiales deberán cumplir con los requisitos del punto 2 y con la banda granulométrica TM-40a. Las partículas deben ser 100% chancadas y tener una resistencia al desgaste, medida por el ensayo de Los Ángeles, no mayor que 35%.

Base Asfáltica.- Capa conformada por una mezcla de agregados pétreos ligados con un producto asfáltico y que cumple con ciertos requisitos (generalmente se usa una granulometría gruesa).

Base Granular.- Ver Base no Ligada.

Base no Ligada. Base conformada exclusivamente por una mezcla de suelos, que habitualmente cumplen con ciertos requisitos en cuanto a granulometría, límites de Atterberg, capacidad de soporte y otros.

Base Tratada con Cemento. - Los materiales para BTC deberán cumplir con lo establecido en 6, a excepción de las partículas chancadas, cuyo porcentaje deberá ser mayor que 50% y de la resistencia a la compresión, que debe ser de 4,5 MPa, con una dosis mínima de 5% de cemento.

Binder Asfáltico (capa intermedia).- Capa conformada por agregados pétreos, ligados con un producto asfáltico y que cumple con ciertos requisitos (generalmente se coloca entre la capa asfáltica de rodadura y la base asfáltica).

C

Calamina.- Ondulaciones de la superficie del camino que tienen su origen en un movimiento plástico de los suelos que la conforman, causadas por las ruedas de los vehículos. El fenómeno puede deberse a varias razones pero, con mayor frecuencia, se produce en capas conformadas por partículas de tamaño relativamente grande ligadas con un suelo fino y sin o con pocos tamaños intermedios, es decir, suelos que tienen una granulometría discontinua.

Capa Asfáltica de Protección.- Tratamiento asfáltico que se le hace a la superficie de un camino para crear una superficie de rodadura económica, prevenir la penetración de aguas o minimizar la pérdida de agregados de una capa asfáltica.

Capa Asfáltica Estructural.- Mezcla conformada por agregados pétreos ligados con un producto asfáltico y que cumple con los requisitos para soportar las sollicitaciones que genera el tránsito.

Capa de Rodadura.- Capa superficial de un camino que recibe directamente la acción del tránsito. Debe ser resistente al deslizamiento, a la abrasión y a la desintegración por efectos ambientales.

Carga en Eje Doble.- Fuerza ejercida sobre un dispositivo que la distribuye en un tándem conformado por dos ejes generalmente de doble rueda.

Carga en Eje Simple.- Fuerza ejercida sobre un dispositivo que la distribuye en un eje de rueda doble o simple.

Capa Asfáltica.- Capa compuesta de una mezcla de agregados pétreos ligados con asfalto y apoyada sobre capas de sustentación.

Cemento Asfáltico.- Material obtenido por refinación de residuos de petróleo y que debe satisfacer los requerimientos establecidos para su uso en la construcción de pavimentos.

Clínquer .- Producto constituido en su mayor parte por silicatos de calcio hidráulico, que se obtiene por calcinación hasta la fusión (1400 – 1500 °C) de una mezcla proporcionada de minerales calizos y arcillosos.

Coefficiente Volumétrico de una Partícula.- Cociente entre el volumen real de una partícula y el volumen de una esfera de diámetro igual a la mayor dimensión de esa partícula.

Coefficiente Volumétrico Medio.- Cociente entre la suma de los volúmenes reales de las partículas que constituyen un pétreo y la suma de los volúmenes de las respectivas esferas circunscritas.

Compactación (asfalto).- Operación mecanizada para lograr en una capa de mezcla asfáltica a la densidad deseada.

Comportamiento Estructural.- Variación de la respuesta estructural de un pavimento con el tiempo.

Contenido Optimo de Asfalto.- Porcentaje de asfalto de una mezcla, determinado de acuerdo a la **Sección 6.2.6.13**.

Creep en Flexión.- Para medir la rigidez de un ligante asfáltico a bajas temperaturas, se usa un ensayo de creep en flexión, en el cual una viga simplemente apoyada es solicitada bajo carga constante en su punto medio, midiéndose la deflexión de la viga con respecto al tiempo de carga. Cualquier propiedad que sea determinada a partir de los datos registrados en un ensayo como el descrito, es una propiedad en creep.

Cuarteo.- Procedimiento empleado para reducir el tamaño original de una muestra de suelo o agregado pétreo, cuyo objetivo es obtener una muestra representativa del material y de un tamaño acorde a los requerimientos del ensayo a realizar.

Cuenco de Deflexiones.- Conjunto de deflexiones, que reflejan la deformada de la superficie de un pavimento, registradas por todos los sensores de un deflectómetro de impacto (FWD) en el momento del ensayo.

Chancado .- Partícula pétreo que tiene dos o más caras fracturadas y que por ello posee al menos una arista. No se consideran como chancado aquellas partículas que aún teniendo dos o más caras fracturadas, presenten cantos redondeados.

D

Deflectómetro de Impacto: Equipo de ensayo no destructivo que simula mediante un impacto vertical la carga de un vehículo pesado sobre un pavimento, midiendo la deformación vertical elástica a diferentes distancias del punto de impacto.

Deflectómetro Transitivo: Equipo autopropulsado de ensayo no destructivo que utiliza una Viga Benkelman para medir la deflexión del pavimento ante la presencia de una carga móvil proporcionada por el mismo vehículo. Dispone de un mecanismo computacional que registra las deflexiones y mueve automáticamente la viga a su siguiente posición de lectura sin detenerse.

Deflexión (auscultaciones).- Deformación elástica (recuperable) que sufren los pavimentos al ser solicitados por las cargas que impone el tránsito. La deflexión que presenta un pavimento en un determinado momento es un buen indicador para estimar su vida útil remanente. Se mide tanto en centésimas de milímetro como en micrones (μm).

Deflexión Elástica.- La recuperación de la deformación vertical que tiene lugar cuando la carga se retira de la superficie.

Deflexión Residual.- La diferencia entre el nivel original de una superficie y su posición final, como consecuencia de la aplicación y retiro de una o más cargas en la superficie.

Densidad (pétreos).- Cociente entre la masa y el volumen de un material pétreo a una temperatura determinada. Se expresa normalmente en kg/m^3 .

Densidad Aparente (Densidad a Granel o Densidad Bruta).- Densidad que considera el volumen macizo de las partículas de un pétreo más el volumen de los poros y de los huecos. Corresponde a la capacidad de la medida que lo contiene.

Densidad Aparente Compactada.- Densidad aparente del pétreo compactado en la medida que lo contiene, según procedimientos normalizados.

Densidad Aparente Suelta.- Densidad aparente del pétreo vaciado en la medida que lo contiene, según procedimientos normalizados.

Densidad Efectiva (Mezclas asfálticas).-Cociente entre la masa del agregado pétreo y su volumen, a una temperatura especificada. Se expresa en kg/m^3 . Considera el volumen que excluye los poros permeables al asfalto.

Densidad Marshall.- Ver **Sección 6.2.6.13**.

Densidad Neta.- Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material pétreo más el volumen de los poros inaccesibles.

Densidad Real.- Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material pétreo, más el volumen de los poros accesibles e inaccesibles de esas partículas.

Densidad Real Saturada Superficialmente Seca.- Densidad real en que se considera la masa del pétreo seco más la masa del agua que llena los poros accesibles.

Densidad Real Seca.- Densidad real en que se considera solamente la masa del pétreo seco.

Destilación.- Operación destinada a separar por medio del calor, en alambiques u otros vasos, una sustancia volátil de otras menos volátiles, basada en sus diferentes temperaturas de ebullición.

Detector Hi-Lo.- Regla rodante destinada a medir las irregularidades superficiales de un pavimento.

Consta de una viga metálica indeformable que se traslada sobre tres ruedas; la rueda detectora dispuesta al centro de la viga se desplaza verticalmente por las irregularidades de la superficie, las que son amplificadas en una escala graduada en milímetros.

Dimensión Mínima Promedio de un Pétreo (Tratamientos Superficiales).- La dimensión mínima promedio (DMP) corresponde al promedio de la dimensión mínima de todas las partículas que componen el agregado. Se calcula conociendo el Tamaño Medio del agregado y su Índice de Lajas, mediante la ecuación indicada en la **Sección 6.2.7.5**.

E

Eje Equivalente (Factor de).- Razón entre el número de ejes de cierto peso que causan una determinada pérdida de serviciabilidad y el número de ejes de 80 kN que causan la misma pérdida de serviciabilidad.

Elastómero.- Material natural o artificial que, como el caucho, tiene gran elasticidad. Se utiliza para mejorar las características reológicas de los asfaltos.

Embebido (Tratamientos Superficiales).- Porcentaje del volumen de huecos en el agregado, que es ocupado por el ligante residual utilizado en el sello o tratamiento. El embebido es una propiedad que se define en el momento en que el agregado del tratamiento se ha asentado y ha alcanzado su posición definitiva.

Emulsión Aniónica.- Partículas de asfalto con carga eléctrica negativa dispersas en agua por medio de un emulsificante, que emigran hacia el ánodo al pasar una corriente eléctrica.

Emulsión Asfáltica.- Dispersión por medios mecánicos de asfalto en agua, a la cual se incorpora un emulsificador (producto necesario para la preparación de una emulsión y para mantener estable la dispersión).

Emulsión Catiónica.- Partículas de asfalto con carga eléctrica positiva dispersas en agua por medio de un emulsificante, que emigran hacia el cátodo al pasar una corriente eléctrica.

Endurecimiento Físico (del ligante asfáltico).- Rigidización tiempo – dependiente que sufren los ligantes asfálticos, que resulta del incremento retardado de rigidez cuando el asfalto es almacenado a bajas temperaturas.

Equivalente de Arena.- Porcentaje de arena propiamente tal con respecto al total de arena y de impurezas coloidales floculadas, particularmente arcillosas, húmicas y eventualmente ferruginosas, presentes en un pétreo fino (bajo tamiz 5 mm).

Esponjamiento (arenas).- Aumento aparente de un volumen dado de arena cuando aumenta su humedad libre.

Estabilidad (mezcla asfáltica).- Carga máxima que soporta la probeta cuando se somete al ensayo Marshall.

Exudación (asfalto).- Afloramiento superficial del exceso de ligante de un tratamiento o mezcla asfáltica.

F

Factor de Carga Equivalente.- Es un número que convierte las solicitaciones de un eje o configuraciones de ejes, en la sollicitación equivalente de un eje normalizado (80 kN) (Ver Eje Equivalente).

Factor de Tránsito (Tratamientos Superficiales).- Factor que permite ajustar las dosis de asfalto de diseño en función del volumen de tránsito (TPDA) del camino a tratar. Ver **Sección 6.2.7.5**.

Filler.- Polvo mineral fino que podrá ser cemento hidráulico, cal u otro material inerte, libre de materia orgánica y partículas de arcilla. Debe cumplir la siguiente granulometría: Para tamices de 0,630, 0,315 y 0,080 el porcentaje que pasa en peso es de 100, 95 a 100 y 70 a 100 % respectivamente.

Fisura (asfaltos).- Quiebre o rotura que afecta a las capas estructurales del pavimento, de variados orígenes, y cuyo ancho superficial es igual o menor que 3 mm.

Fluidez o Fluencia (mezcla asfáltica).- Deformación correspondiente a la carga máxima de rotura de una probeta en el ensayo Marshall.

G

Grado de saturación.- Se dice que un suelo está saturado cuando el agua ocupa la totalidad de sus huecos. El grado de saturación es el cociente entre el volumen de agua y el volumen total de vacío. Se expresa en porcentaje.

Granulometría de un Árido.- Distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un árido, determinada de acuerdo con el **A0506**.

Grieta (asfaltos).- Quiebre o rotura que afecta a las capas estructurales del pavimento, de variados orígenes, y cuyo ancho superficial es mayor que 3 mm.

Grieta de Reflexión.- Grieta de una capa asfáltica, colocada sobre un pavimento de hormigón o base rígida, que coincide con las juntas y grietas del hormigón o la base. Se presenta generalmente en repavimentaciones asfálticas sobre pavimentos de hormigón agrietados, a los cuales no se les aplicó previamente un sello de juntas y grietas.

Grieta Piel de Cocodrilo.- Ver Grietas por Fatigamiento.

Grietas por Fatigamiento (pavimento asfáltico).- Falla que se conoce también como “piel de cocodrilo”. Serie de fisuras o grietas conectadas entre sí que forman trozos de ángulos agudos, normalmente de dimensiones inferiores a 300 mm.

H

Hidroplaneo.- Pérdida de fricción entre el neumático y el pavimento causada por una película de agua que se forma bajo el neumático, que evita que entre en contacto con el pavimento.

Huecos.- Espacios vacíos entre las partículas de un pétreo.

I

Imprimación Reforzada. Imprimación convencional sobre una superficie de material granular, seguida de un riego de ligante y posterior aplicación de una capa de arena uniformemente distribuida.

Imprimación.- Operación consistente en extender asfalto en estado líquido sobre una capa de base granular para sellar e impermeabilizar su superficie, cohesionar las partículas superficiales de la base y facilitar la adherencia entre ésta y cualquier tratamiento o pavimento asfáltico que se vaya a realizar sobre su superficie.

Índice de Lajas.- Porcentaje en peso de partículas que tienen un espesor (dimensión mínima) inferior a 0,6 veces la dimensión media de la fracción de agregado considerada.

Índice de Penetración.- Índice que se obtiene a partir de los valores de la penetración y del punto de ablandamiento anillo y bola de ligantes asfálticos modificados. Sirve como criterio de medida de la susceptibilidad de un asfalto modificado a los cambios de temperatura y de su comportamiento reológico.

Índice de Pfeiffer.- Ver Índice de Penetración.

Índice de Serviciabilidad.- Es un número, en una escala de 0 a 5, que indica la condición de un pavimento en un determinado momento, para proveer un manejo seguro y confortable a los usuarios.

Índice de Servicio Actual.- Índice que estima la serviciabilidad en un determinado momento de la vida útil de un pavimento, a partir de medidas de su condición superficial.

IRI.- Sigla que corresponde al Índice de Rugosidad Internacional. Ver **Sección 6.2.9.5**.

Irregularidad Superficial.- Ver **Secciones 6.2.8.2 y 6.2.9.5**.

L

Laja.- Partícula pétreo en que la razón o cociente entre las dimensiones máximas y mínima, referida a un prisma rectangular circunscrito, es mayor que 5.

Lechada Asfáltica.- Mezcla de emulsión asfáltica de quiebre lento, áridos finos, filler y agua en la cantidad necesaria para obtener una consistencia de pasta.

Ligante Asfáltico.- Cemento basado en asfalto producido a partir de residuos de petróleo, ya sea con o sin adición de modificadores orgánicos no particulados.

Limo.- Suelo de grano fino con poca o ninguna plasticidad que en estado seco tiene apenas la cohesión necesaria para formar terrones fácilmente friables. El tamaño de sus partículas está comprendido entre 0,005 mm y 0,08 mm.

M

Maltenos.- Componentes de los asfaltos, solubles en sulfuro de carbono, tetracloruro de carbono e hidrocarburos parafínicos livianos, que le confieren la propiedad de cohesividad o ligazón a los asfaltos.

Matapolvo.- Tratamiento que se le da a una capa de rodadura no ligada, con el propósito de estabilizarla y evitar que el tránsito de vehículos desprenda partículas finas.

Mezcla Abierta.- Aglomerado de un ligante y áridos de granulometría abierta o discontinua (aquella en la que aparecen las partículas, en su mayoría, distribuidas entre dos tamaños extremos, con una proporción relativamente baja en los demás tamaños), o sea aquellos que carecen o tienen muy poco polvo mineral, y en los cuales los vacíos en los áridos una vez compactados son relativamente altos.

Mezcla Cerrada.- Aglomerado de un ligante con áridos de granulometría cerrada, que son aquellos uniformemente graduados desde el tamaño máximo hasta el polvo mineral, con un bajo contenido de vacíos una vez compactados.

Mezcla de Graduación Abierta.- Mezcla asfáltica conformada por áridos cuya graduación presenta un bajo contenido de finos bajo el tamiz de 2,5 mm.

Mezcla Drenante.- Capa asfáltica de rodadura dosificada de manera de lograr un gran número de huecos interconectados, que permitan absorber el agua de las lluvias y evacuarla hacia fuera de la calzada. Eliminan el agua superficial.

Mezcla en Caliente.- Mezcla asfáltica fabricada, extendida y compactada en caliente.

Mezcla en Frío.- Mezcla asfáltica que puede fabricarse, extenderse y compactarse a la temperatura ambiente.

Mezcla en Sitio.- Mezcla asfáltica confeccionada en el mismo lugar donde ha de emplearse.

Módulo de Finura.- Uno de los índices que sirven para clasificar los agregados en función de su granulometría.

Monografía.- (en caminos). Descripción esquemática gráfica de una determinada característica de la obra, indicando la ubicación (kilometraje). Se utiliza para indicar avance físico de la obra, controles realizados, etc.

Muestra de Obra.- Muestra representativa de un pétreo que se encuentra en una obra, ya sea sobre un vehículo de transporte o almacenado.

Muestra de Producción.- Muestra representativa de un pétreo removido de su depósito natural y sometido a cualquier tratamiento como trituración, lavado o clasificación y que se encuentra sobre cintas transportadoras o almacenado junto al lugar de extracción o tratamiento.

Muestra de Terreno.- Muestra representativa de un pétreo tomada en la obra y reducida por cuarteo hasta alcanzar un tamaño mínimo equivalente al doble de la muestra de laboratorio.

Muestra de Yacimiento.- Muestra representativa del pétreo en su sitio de depósito natural, no sometido a tratamiento alguno.

Muestras Gemelas.- Conjunto de dos o más fracciones de muestras separadas por cuarteo según **Sección 6.2.5.5**. Dichas muestras pueden emplearse para verificar el efecto de los procedimientos de ensayo en la dispersión de resultados.

N

Nido de Piedra.- Acumulación o concentración de agregado pétreo grueso (piedras) no rodeado por suelos finos, en zonas localizadas de extensión variable.

Nivel de Servicio.- Es el grado de comodidad y seguridad que experimentan los usuarios al circular por un pavimento a la velocidad de diseño.

Nomograma de Heukelom.- Ver **A0112**.

Número Estructural.- Número que evalúa la calidad del paquete estructural de un pavimento. Se determina como la suma ponderada de los espesores por los coeficientes estructurales, determinados experimentalmente. Los coeficientes estructurales son correlacionables con los módulos de las capas estructurales.

O

Obra Básica.- La sección de una carretera comprendida entre la subrasante y el terreno natural, que se prepara como fundación del pavimento. Comprende los movimientos de tierras, las alcantarillas y las obras de drenaje que evitan que las aguas afecten las obras de tierra.

Open Graded.- Ver Mezcla de Graduación Abierta.

Operaciones de Restauración.- Intervenciones destinadas a recuperar un pavimento deteriorado, en una parte o la totalidad del camino, a su condición inicial y, a veces, reforzarlo sin alterar la estructura subyacente, con el objetivo de evitar su destrucción, preservar la calidad de rodadura y asegurar la integridad estructural. Típicamente en esta categoría se encuentran la restauración de pavimentos, los reemplazos de puentes y otras estructuras, etc.

P

Partículas Desmenuzables.- Partículas contenidas en los pétreos que pueden desmenuzarse con la presión de los dedos.

Pavimento Asfáltico.- Pavimento flexible compuesto por una o más capas de mezclas asfálticas que pueden o no apoyarse sobre una base granular y una subbase.

Pavimento Flexible.- Ver Pavimento Asfáltico.

Pavimento.- Estructura formada por una o más capas de materiales seleccionados y eventualmente tratados, que se colocan sobre la subrasante con el objetivo de proveer una superficie de rodadura adecuada y segura bajo diferentes condiciones ambientales y que soporta las sollicitaciones que impone el tránsito.

Pedraplén.- Relleno conformado por suelos gruesos con alto contenido de bolones y escaso contenido de finos y que se construye en forma similar a un terraplén.

Péndulo de Fricción.- Equipo portátil de ensayo no destructivo que permite medir la resistencia al deslizamiento de un pavimento. Para ello utiliza un brazo oscilante en cuyo extremo se ubica un patín de goma con amortiguador que se deja oscilar libremente y que toma contacto con la superficie del pavimento mojado en una longitud normalizada. Se mide la pérdida de energía producto del roce, a través de la altura que alcanza después del contacto con el pavimento.

Pérdida de Áridos (pavimento asfáltico).- Falla que se caracteriza por un desgaste superficial provocado por la pérdida del ligante seguido, progresivamente, por el árido. Tiene su origen en una mala adherencia entre el ligante y el árido.

Perfilómetro.- Equipo para medir las irregularidades del perfil longitudinal de un pavimento con el máximo nivel de precisión. Ver **Sección 6.2.9.5**.

Peso Específico.- Cociente entre la masa de un material y la masa de un volumen igual de agua a 4°C. Es adimensional.

Pitch Asfáltico.- Residuo que se obtiene de la destilación del petróleo y del cual se producen los diferentes tipos de asfalto.

Poros Accesible.- Poro permeable o abierto.

Poros Inaccesible.- Poro impermeable o cerrado.

Poros.- Espacios vacíos interiores de una partícula de pétreo.

Punto de Fragilidad Fraass.- Temperatura a la cual una película de material bituminoso muestra la primera fisura o rotura en su superficie, debido a la consistencia adquirida tras ser sometida en condiciones especificadas, a ciclos sucesivos de flexión a temperaturas decrecientes.

Punto de Inflamación.- Menor temperatura de calentamiento de un hidrocarburo, a la cual, la aplicación de una llama sobre la muestra de ensayo, provoca un destello de los vapores en la superficie del líquido.

Punto de Inflamación (en vaso cerrado).- La temperatura más baja en ° C y a una presión atmosférica de 101,3 kPa (kN/m²), a la que los vapores emitidos por el producto sometido a ensayo contenido en un vaso cerrado, dan lugar a una mezcla aire - vapor inflamable por la acción de una fuente calórica externa, en las condiciones del ensayo.

R

Ranurado del Pavimento (Grooving).- Cortes sobre la superficie del pavimento, ejecutado mediante discos diamantados en una profundidad de 10 mm aproximadamente y un ancho de 2 mm, con un espaciamiento del orden de los 50 mm a 100 mm. El objetivo es mejorar la macro-textura superficial, facilitando el contacto neumático pavimento en situaciones de pavimento muy sellado que puedan provocar hidroneo.

Rasante.- Plano que define la superficie de una carretera.

Redondez de una Partícula.- Es la medida de la agudeza de sus vértices y se define como el cociente entre el radio promedio de los vértices y aristas y el radio de la esfera máxima inscrita.

Rendimiento Funcional.- Variación del Nivel de Servicio con el tiempo.

Repavimentación (Recapado).- Técnica de restauración que consiste en reemplazar o sobreponer una capa de pavimento, sin alterar significativamente la geometría ni las condiciones estructurales del camino.

Reposición de Pavimentos.- Se refiere a cualquiera de las técnicas destinadas a reforzarse estructuralmente un pavimento de manera que esté en condiciones de soportar el tránsito previsto.

Residuo Asfáltico.- Es el residuo obtenido de la destilación o evaporación de los asfaltos cortados y emulsiones.

Resistencia al Deslizamiento (coeficiente de fricción).- La fuerza que se desarrolla en la superficie de contacto entre neumático y pavimento y que resiste el deslizamiento cuando el vehículo frena.

Riego Asfáltico.- Aplicación delgada y uniforme de ligante asfáltico sobre bases granulares, capas asfálticas o pavimentos existentes.

Riego de Liga.- Aplicación de un ligante asfáltico en estado líquido sobre la superficie de una capa de mezcla asfáltica, a fin de producir su adherencia con la capa inmediatamente superior.

Roca Ignea.- Rocas de origen profundo, resultado del enfriamiento y cristalización de la masa fundida, el magma.

Roca Metamórfica.- Tienen su origen en rocas ya existentes que, sometidas a transformaciones químicas o al calor y la presión en el interior de la corteza terrestre, han sufrido una metamorfosis química, mineralógica o física.

Roca Sedimentaria.- Rocas procedentes de productos de erosión que se han depositado en capas generalmente muy compactas (sedimentos) sobre el suelo o, más comúnmente, en el fondo del mar.

Rugosidad (pavimento).- Irregularidad superficial de una capa de rodadura. Es el parámetro de estado más característico de la condición funcional de ésta y el que incide directamente en los costos de operación de los vehículos. Se mide a través del Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

S

Secado hasta Masa constante.- Límite de secado en que dos pesadas sucesivas, separadas por 1 hora de secado al horno, difieren en un porcentaje igual o inferior al 0,1% de la menor masa determinada.

Sedimentación.- Formación de sedimentos a partir de partículas suspendidas en el agua.

Segregación.- Separación de ciertas partículas de un material o mezcla, durante su transporte o colocación.

Sello de agregados.- Tratamiento de mantenimiento, aplicado sobre un pavimento asfáltico, consistente en la aplicación de un riego de ligante asfáltico seguido de una cobertura de agregado pétreo. También es posible aplicar sellos de agregados dobles.

Sello Negro.-Aplicación ligera de un asfalto líquido sobre una capa asfáltica antigua con el fin de rejuvenecerla y sellar pequeñas grietas y poros superficiales. También se emplea para sellar superficies de capas nuevas y en los tratamientos superficiales dobles recién confeccionados, mejorando la retención de los áridos y dando al tratamiento un color negro uniforme.

Serviciabilidad.- La capacidad que tiene en un determinado momento el pavimento para servir al tránsito que lo utilizará.

Solubilidad.- Propiedad de una sustancia que le permite disolverse en un líquido.

Subbase Granular.-Capa constituida por un material de calidad y espesor determinados y que se coloca entre la subrasante y la base.

Subrasante.- Plano superior del movimiento de tierras, que se ajusta a requerimientos específicos de geometría y que ha sido conformada para resistir los efectos del medio ambiente y las sollicitaciones que genera el tránsito. Sobre la subrasante se construye el pavimento y las banquetas.

Suelo bien Graduado.- Suelo conformado por partículas de diferentes tamaños y cuya curva granulométrica es continua y suave.

Superficie Específica.- Cuociente entre el área superficial o superficie externa de un agregado y su volumen; se expresa en m⁻¹. Ver **Sección 6.2.5.13**.

Superpave.- Pavimento asfáltico diseñado según los procedimientos y ensayos originados en el programa de investigación denominado SHRP.

T

Talud.- Tangente del ángulo que forma el paramento de un corte con respecto a la vertical.

Tamaño Máximo Absoluto de un Árido.- Corresponde a la abertura del menor tamiz de la serie establecida en el *Método A 0506*, que deja pasar el 100% de la masa del árido.

Tamaño Máximo Nominal de un Árido.- Corresponde a la abertura del tamiz inmediatamente menor al Tamaño Máximo Absoluto, cuando por dicho tamiz pasa el 90% o más de la masa del árido. Cuando pasa menos del 90%, el Tamaño Máximo Nominal se considera igual al Tamaño Máximo Absoluto.

Tamaño Medio (de un agregado pétreo).- Corresponde a la abertura teórica de tamiz (mm) por donde pasa el 50% del material. Se obtiene a partir de la granulometría por interpolación semilogarítmica.

Tamizado.- Operación que consiste en separar por tamaño las partículas de un agregado, mediante tamices.

Temperatura de Seguridad de Calentamiento.- La temperatura más alta a la cual un producto sellador puede ser calentado sin dejar de cumplir con los requisitos de flujo. Normalmente es proporcionada por el fabricante del producto sellador y se muestra en los envases.

Tensión Capilar.- Fuerza originada por la tensión superficial de un líquido y que hace que ascienda por un tubo capilar.

Tensión Superficial.- Si sobre la superficie de un líquido se traza una línea cualquiera, la tensión superficial es la fuerza superficial normal a dicha línea por unidad de longitud. La tensión superficial explica el fenómeno de ascensión de un líquido en tubos capilares. Se expresa en dina/cm o erg/cm².

Terraplén.- Obra construida empleando suelos apropiados, debidamente compactados, para establecer la fundación de un pavimento.

Testigo.- Muestra cilíndrica aserrada, extraída de pavimentos de hormigón o de asfaltos terminados y/o de elementos de hormigón estructural, cuyo propósito es verificar que los diferentes parámetros de diseño (densidad, espesor, resistencia, etc.) cumplan con las especificaciones de la obra.

Testiguera.- Aparato para extraer testigos.

Textura (pavimentos).- El aspecto o característica de la superficie del pavimento que depende del tamaño, forma, disposición y distribución del árido y del agente ligante. Una mezcla densa que da una superficie suave tendrá una textura fina; una superficie abierta tendrá una textura gruesa. Las irregularidades de la superficie, tales como baches, escalonamientos de juntas y otras, no definen la textura, la que se encuentra relacionada con irregularidades de longitudes de onda inferiores que 50 mm.

Textura de una Partícula de Pétreo.- Características secundarias de la superficie de la partícula, independiente de la forma y tamaño. Para su descripción se emplean los términos opaca, brillante, suave, áspera, estriada, etc.

Trabazón.- Disposición o acomodo de las partículas gruesas de un agregado que da forma a una estructura estable.

Tratamiento Superficial Asfáltico.- Una o más aplicaciones alternadas de ligante asfáltico y agregado pétreo sobre una base granular. Un tratamiento superficial doble o triple consiste de dos o tres tratamientos aplicados consecutivamente, uno sobre otro.

V

Vacíos en el Agregado Mineral.- Es el volumen de vacíos entre las partículas de agregado de una mezcla compactada; incluye los huecos de aire y el contenido de asfalto efectivo, expresado como porcentaje del volumen total.

Velocidad de Quiebre.- Rapidez con que los agentes emulsificantes permiten que una emulsión se rompa, llevando a las partículas de asfalto a unirse a la superficie de un agregado pétreo.

Viscosidad Cinemática.- Se define como la relación entre el coeficiente de viscosidad (M) de un determinado viscosímetro, dividido por la densidad del líquido (ρ) que se analiza. La unidad de viscosidad cinemática en el sistema cgs es $\text{cm}^2/\text{seg.}$, llamada Stoke (St); la unidad SI de viscosidad cinemática es $\text{m}^2/\text{seg.}$ y es equivalente a 104 St. Comúnmente, se usa el centistoke ($1 \text{ cSt} = 10^{-2} \text{ St}$).

Viscosidad Saybolt Furol.- El tiempo de flujo en segundos de 60 ml de muestra que fluye a través del orificio Furol, calibrado bajo condiciones especificadas. La viscosidad Furol es aproximadamente un décimo de la viscosidad Universal y se recomienda para productos del petróleo que tienen viscosidad mayores que 1000 seg. (Saybolt Universal) tales como combustible, aceites y otros materiales residuales. La palabra "Furol" es una contracción de fuel and road oils.

Viscosidad Saybolt Universal.- El tiempo de flujo en segundos de 60 ml de mezcla que fluyen por un orificio Universal, calibrado bajo condiciones especificadas.

Viscosidad.- Se denomina coeficiente de viscosidad a la razón entre el esfuerzo de corte aplicado y la tasa de corte; es una medida de la resistencia del líquido a fluir y, comúnmente, se denomina viscosidad.

En el Sistema Internacional, la unidad de viscosidad es el pascal segundo (Pa s); en el sistema CGS, la unidad de viscosidad es el poise (dinas/cm^2) y equivale a 0,1 Pa s. Frecuentemente, se usa como unidad de viscosidad el centipoise, que equivale a un milipascal segundo (1 m Pa s).

CAPITULO 6.2.1.

ENSAYOS RELACIONADOS A LOS CEMENTOS ASFÁLTICOS NO MODIFICADOS

SECCION 6.2.1.1.

MÉTODO DE MUESTREO (ASTM D 140 AASHTO T40-78)

6.2.1.1.1. OBJETO

Esta norma indica los procedimientos requeridos para obtener muestras de asfaltos líquidos, semisólidos o sólidos, utilizados normalmente en obras de pavimentación; se puede realizar en el lugar de producción del material, en la terminal de abastecimiento o en el lugar de acopio o entrega del producto.

El método de muestreo es tan importante como el ensayo, por lo que se deben adoptar las precauciones necesarias para obtener muestras que representen la verdadera naturaleza y condición de los materiales. Las muestras se deben tomar por los métodos que se describen más adelante, de modo que permitan cumplir los siguientes propósitos:

- Representatividad de la muestra.
- Indicación de la variación máxima de las características principales del material.

Debido a los numerosos tipos y grados de materiales bituminosos que se despachan y almacenan alternativamente en los mismos envases o similares, siempre existe la posibilidad que esos envases se encuentren contaminados con residuos, precipitados y/o solventes limpiadores.

En muchas ocasiones las muestras no representan estrictamente el material o se contaminan después de obtenidas; es de responsabilidad tanto del que produce, como del transportista, del usuario como de la metodología de muestreo, tomar las debidas precauciones.

6.2.1.1.2. GENERALIDADES

A.MUESTREO

El muestreo y despacho de asfalto al laboratorio debe realizarse, en lo posible, en el momento de la descarga, inmediatamente después de recepcionado en la planta, en el lugar de almacenamiento o en el sitio de obra.

A.1.Despachos por muestrear

De cada entrega de material asfáltico a obra se debe tomar el número de muestras requeridas. En el caso de entregas de reducido tamaño las muestras deben ser representativas de una cantidad máxima de 40m³ de material.

A.2.Extracción de la muestra

Se debe efectuar el muestreo por uno de los tres procedimientos siguientes:

- a) De acuerdo con 7 c).
- b) Por sangría a través de una llave o válvula de muestreo inserta en la línea de transferencia, durante la descarga del tercio central de la carga.
- c) Por medio de un dispositivo de muestreo inserto en un nivel aproximado al tercio central de la carga o del tanque.

- d) Las pruebas para aceptación del material se deben practicar sobre las muestras tomadas.

Cuando éstas no cumplan con las especificaciones, se debe analizar la muestra testigo para confirmar los resultados.

B.MUESTREO DE MATERIALES ASFÁLTICOS

B.1.Número de Muestras

El número mínimo de muestras para análisis y la masa o volumen de cada una de ellas deben ser los que se indican en la **Tabla 6.2_1** para cada tipo de asfalto. El lugar de extracción de la muestra debe ser el señalado en la misma tabla.

Tabla 6.2_1.INDICACIONES PARA MUESTREO SEGÚN TIPO DE ASFALTO.

Tipo de asfalto	Procedencia	Numero de muestras	Cantidad de cada muestra	Nivel de extracción
Cemento asfáltico	Camión transportador	3	1 Kg	Inicio, mitad y término del vaciado
	Estanque de almacenamiento	3	1 Kg	Superior, intermedio e inferior
	Barriles o tambores	1 por cada unidad seleccionada (Tabla 6.2_3)	2 Kg	Núcleo
Asfalto cortado	Camion transportador	3	1 L	Inicio, mitad y término del vaciado
	Estanque de almacenamiento	3	1 L	Superior, intermedio e inferior
	Barriles o tambores	1 por cada unidad seleccionada (Tabla 6.2_3)	2 L	Núcleo
Emulsión	Camión Transportador	3	1 L	Inicio, mitad y término del vaciado
	Estanque de almacenamiento	3	1 L	Superior, intermedio e inferior.
	Barriles o tambores	1 por cada unidad seleccionada (Tabla 6.2_3)	2 L	Núcleo
Sellante de fisuras	Barriles o tambores	1 por cada unidad seleccionada (Tabla 6.2_3)	2 kg	Núcleo

Nota: Las indicaciones de la Tabla son también aplicables a los materiales asfálticos modificados.

B.2.Envases para muestras

El envase que se utilice para tomar la muestra debe ser, según tipo de asfalto, del tipo que se indica en la **Tabla 6.2_2**.

Tabla 6.2_2. TIPOS DE ENVASES PARA MUESTREO

TIPO DE ASFALTO	TIPO DE ENVASE
CEMENTO ASFALTICO	LATA DE BOCA ANCHA CON TAPA A PRESIÓN
ASFALTO CORTADO	LATA DE BOCA ANGOSTA CON TAPA ROSCA
EMULSIÓN	RECIPIENTE PLÁSTICO DE BOCA ANCHA CON TAPA ROSCA
SELLANTE DE FISURAS	LATA DE BOCA ANCHA CON TAPA A PRESIÓN

B.3. Protección y preservación de las muestras

- a) Los envases para muestras deben ser nuevos. No los lave, no enjuague ni seque con telas engrasadas. No use envases que presenten evidencias de fundente de soldadura o que no estén limpios y secos. La tapa debe cerrar herméticamente.
- b) Inmediatamente después de llenar los recipientes, cierre herméticamente. No debe sumergir en solvente el envase lleno con la muestra, ni secarlo con un paño saturado en él; si es necesario limpiarlo, use un paño limpio y seco.
- c) Rotule los envases mediante marcas indelebles colocadas sobre el recipiente mismo y no sobre la tapa, o mediante etiquetas firmemente adheridas al envase. Tanto las marcas como las etiquetas deben llevar la siguiente información:
 - Nombre de la obra.
 - Nombre de la empresa contratista.
 - Proveedor y/o procedencia del asfalto.
 - Número y fecha de la Guía de Despacho.
 - Tipo de asfalto.
 - Sistema de acopio.
 - Número y nivel de extracción de la muestra.
 - Fecha y hora del muestreo.
 - Nombre y firma del responsable del muestreo.
- d) Las muestras de emulsión deben protegerse del congelamiento mediante un embalaje adecuado.
- e) No traspase las muestras de un envase a otro, excepto cuando el procedimiento de muestreo así lo establezca, ya que sus características pueden alterarse o sufrir contaminación.

6.2.1.1.3. MUESTREO EN EL LUGAR DE PRODUCCIÓN DE MATERIALES LÍQUIDOS O LICUADOS POR CALENTAMIENTO

A. DE ESTANQUES DE ALMACENAMIENTO A GRANEL, NO EQUIPADOS CON AGITADORES MECÁNICOS (1)

Durante el muestreo, todas las entradas y salidas del estanque se deben mantener cerradas.

- a) Mediante válvulas o perforaciones en la parte superior, intermedia e inferior del estanque, extraiga de 1 a 2 kg de muestra en cada punto, después de drenar un mínimo de 4 l de material desde cada uno de ellos.
- b) Mediante un tubo muestreador (no apropiado para cementos asfálticos) que se haga descender dentro del material tome las muestras en el nivel superior, intermedio e inferior del estanque. En la **Figura 6.2_1** se muestra un tipo de tubo apropiado, con instrucciones para su uso.

El tubo muestreador descrito en la **Figura 6.2_1** se puede usar para muestreo repetitivo porque, al estar abierto en ambos extremos, la contaminación de las muestras se elimina por la auto limpieza que da la acción de pasar el material a través de él. Se recomienda la práctica de levantar y bajar el muestreador 3 ó 4 veces a través de una distancia de varios centímetros en la profundidad a muestrear.

- c) Mediante envases desechables, tome las muestras en el nivel superior, intermedio e inferior del estanque, bajando un dispositivo de retención y peso adecuado dentro del material. En la **Figura 6.2_2** se muestra un modelo apropiado de dispositivo y las instrucciones para su uso. La característica esencial de este procedimiento es el uso de un recipiente limpio cada vez que se toma una muestra, la que se vacía en otro envase limpio desechando el envase utilizado para extraer la muestra.
- d) Ensaye separadamente las tres muestras extraídas del estanque, para detectar posibles estratificaciones en el material, o se pueden combinar mezclándolas rigurosamente para tomar una muestra de 1 a 2 kg, esto último, cuando se requiera determinar las características promedio del material.

B.DE ESTANQUES DE ALMACENAMIENTO A GRANEL EQUIPADOS CON AGITADORES MECÁNICOS.

Cuando el estanque esté equipado con agitadores de mando mecánico o si por la escotilla de observación se observa un contenido homogéneo, puede ser suficiente tomar sólo una muestra.

La extracción debe efectuarse de acuerdo a uno de los procedimientos descritos en 7 a), b) y c).

6.2.1.1.4. MUESTREO DESDE VAGONES TANQUES, CAMIONES TANQUES, CAMIONES DISTRIBUIDORES, ESTANQUES DE ALMACENAMIENTOS RECIRCULATORIOS Y CONTENEDORES

Todos los vehículos que suministren material asfáltico deben estar equipados con una válvula de muestreo de diseño similar a las que se muestran en la **Figura 6.2_3**, que debe instalarse al menos a 30 cm. del casco y estar claramente indicada como "válvula de muestreo". Antes de extraer la muestra desde la válvula de muestreo, deje fluir desechando un mínimo de 4 l.

Siempre que el usuario lo permita, se pueden utilizar los siguientes métodos para obtener muestras representativas:

- a) Extraiga las muestras de materiales líquidos o licuados por calentamiento, mediante una lata limpia, de boca ancha o angosta, sujeta con una abrazadera apropiada (**Figura 6.2_4**). Use un recipiente limpio para cada muestra y traspase el material muestreado a dos recipientes nuevos y limpios, dejando uno para ensayo y el otro como testigo (3).

Nota 3. Se entenderá como testigo, para estos efectos, la muestra gemela que queda en el laboratorio para verificación posterior.

- b) Insertar en la línea de descarga un dispositivo desmontable, de diseño similar al que se muestra en la **Figura 6.2_5**. Antes de tomar la muestra deje escurrir desechando un mínimo de 4 L.

6.2.1.1.5. MUESTREO DE BARCOS TANQUES O BARCAZAS

De materiales líquidos. Tome muestras de la parte superior, intermedia e inferior del estanque, utilizando uno de los métodos descritos en 7.

De materiales licuados por calentamiento. Tome sólo una muestra desde la parte superior del estanque mediante el método de inmersión, utilizando un envase desechable según procedimiento descrito en 7 c).

6.2.1.1.6. MUESTREO DE LÍNEAS DE CAÑERÍAS DURANTE LA CARGA O DESCARGA

Durante la carga o descarga de buques tanques o barcas, tome muestras desde la tubería por donde fluye el material. Para ello inserte un dispositivo de muestreo (*Figura 6.2_5*) en la descarga de la bomba o en una línea completamente llena, por la que el material escurra por gravedad. Ubique el dispositivo de muestreo frente al escurrimiento del líquido; debe estar provisto de una válvula o llave macho y descargar en un recipiente receptor de muestras. Tome al menos tres muestras de 2 Kg. cada una, a intervalos regulares durante toda la carga o descarga. Al finalizar la carga o descarga, junte y mezcle rigurosamente las muestras individuales sin alterar las características; luego extraiga una muestra de 2 Kg. de la mezcla.

Cuando obtenga muestras de barcos tanques o barcas de capacidades inferiores a 4.000 m³, tome por lo menos 5 muestras de 2 Kg. a intervalos regulares durante toda la carga o descarga; para capacidades superiores a 4.000 m³ tome al menos diez muestras de 2 Kg. cada una. Al término de la carga o descarga, junte y mezcle rigurosamente las muestras individuales, sin alterar sus características; luego extraiga una muestra de 2 Kg. de la mezcla.

6.2.1.1.7. MUESTREO DE MATERIALES LÍQUIDOS EN TAMBORES O BARRILES

Para muestrear materiales bituminosos líquidos almacenados en tambores o barriles, determine el tamaño de la muestra de acuerdo a la *Tabla 6.2_3*; luego seleccione los tambores o barriles mediante procedimientos de extracción al azar. Mezcle rigurosamente el contenido de cada tambor o barril seleccionado y luego extraiga una muestra individual de 2 Kg., usando un tubo de muestreo.

6.2.1.1.8. MUESTREO DE MATERIALES SEMISÓLIDOS O SÓLIDOS SIN CHANCAR

B.1. Envases tipo tambores, barriles, cajas de cartón o bolsas

- a) Cuando el lote de material por muestrear proviene de una sola partida de producción, seleccione una unidad al azar y extraiga una muestra como se describe más adelante.
- b) Cuando el lote de material a muestrear proviene de más de una partida de producción o cuando la muestra única seleccionada en 15 a) no cumple con las especificaciones, extraiga, según se especifica en la *Tabla 6.2_3*, el número de unidades que corresponda al tamaño del lote, que corresponderá a la raíz cúbica del número total de unidades del lote.

Tome las muestras por lo menos a 80 mm bajo la superficie y a 80 mm del costado del envase; puede usar un hacha pequeña si el material está duro o una espátula ancha si está blando. Cada muestra individual debe pesar, como mínimo, 1 Kg. Cuando el material proviene de una misma partida de producción, funda y mezcle bien las muestras individuales, extrayendo una muestra

de 1 Kg. del material combinado. En caso de más de una partida de producción, claramente identificables, las muestras individuales extraídas de cada partida se funden y mezclan, tomándose de dicha mezcla una muestra de 1 Kg. Cuando no sea posible diferenciar entre las diversas partidas, examine separadamente cada muestra individual.

Tabla 6.2_3. UNIDADES POR EXTRAER SEGÚN TAMAÑO DEL LOTE

Tamaño del Lote (N° de Unidades)	N° de Unidades por extraer
2 a 8	2
9 a 27	3
28 a 64	4
65 a 125	5
126 a 216	6
217 a 343	7
344 a 512	8
513 a 729	9
730 a 1.000	10
1.001 a 1.331	11

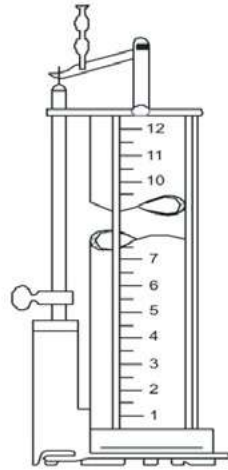
6.2.1.1.9. MUESTREO DE MATERIALES CHANCADOS O PULVERIZADOS

A. ALMACENAMIENTO A GRANEL

Los materiales bituminosos sólidos, chancados o pulverizados, se deben muestrear de acuerdo a la norma ASTM D 346. La muestra total no debe ser menor que 25 Kg. y de ella se debe extraer 1 Kg. para ensayo.

B. TAMBORES, BARRILES, BOLSAS Y CAJAS DE CARTÓN

Cuando el material, chancado o pulverizado, está en barriles, tambores o sacos, se selecciona al azar el número de unidades que corresponda según **Tabla 6.2_3**. Extraiga de cada unidad una muestra mínima de 1 kg, lo más cerca posible del centro del envase, para obtener una muestra total no inferior a 25 Kg. De ésta seleccione una muestra de aproximadamente 1 Kg. para ensayo, de acuerdo con la norma **ASTM D 345**.



Nota: Este tipo de muestreador se sumerge dentro del estanque con la válvula inferior abierta (no hay ningún cierre superior) Cuando se alcanza la profundidad deseada se da un tirón instantáneo a la cadena de descenso que cierra la válvula inferior. Luego el muestreador se retira del estanque y el contenido se traspasa al envase de muestra. Este muestreador se puede usar para muestreos repetitivos en el mismo estanque.

Figura 6.2_1. TUBO PARA MUESTREO

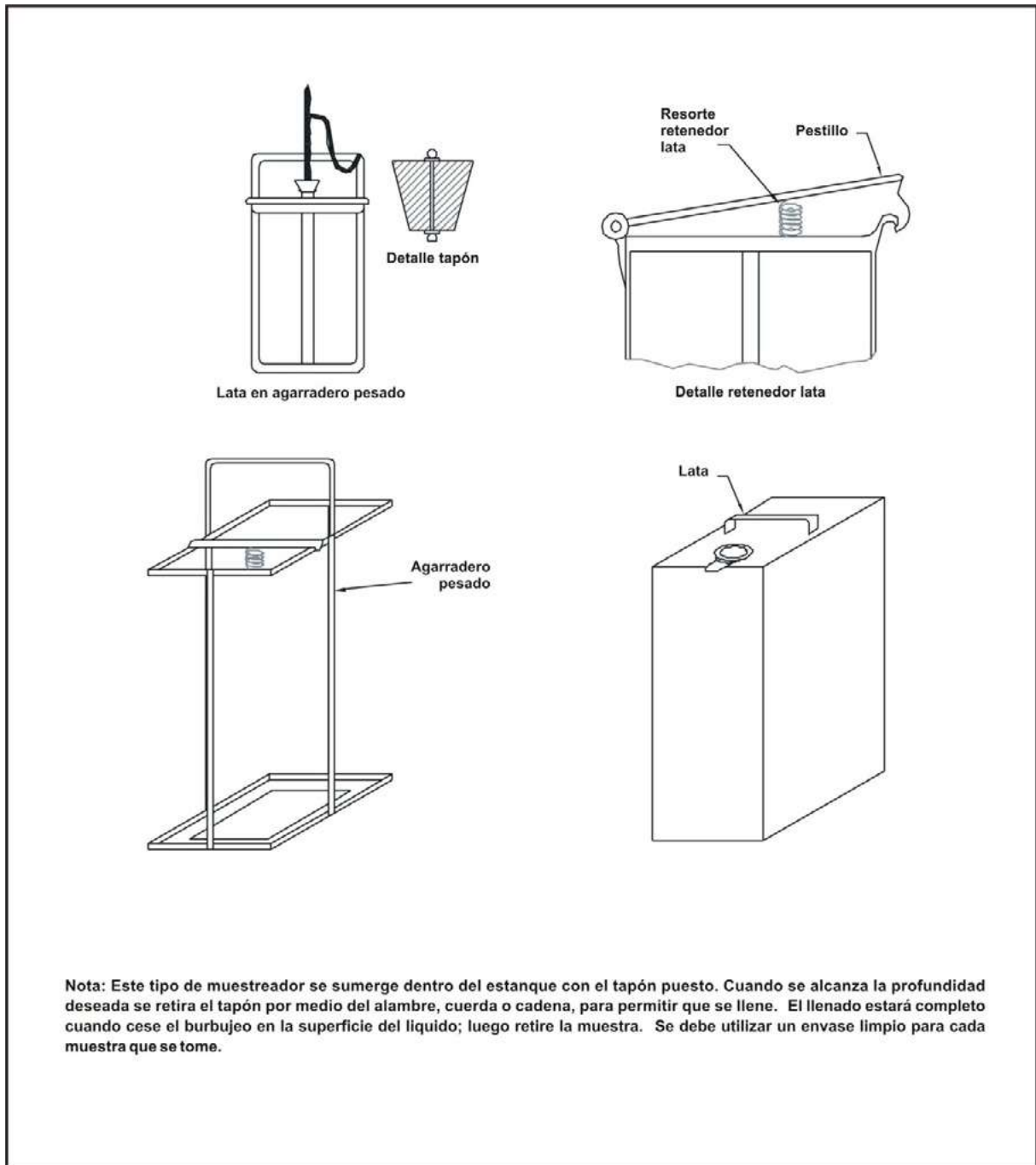


Figura 6.2_2. MUESTREADOR DE ENVASE DESECHABLE

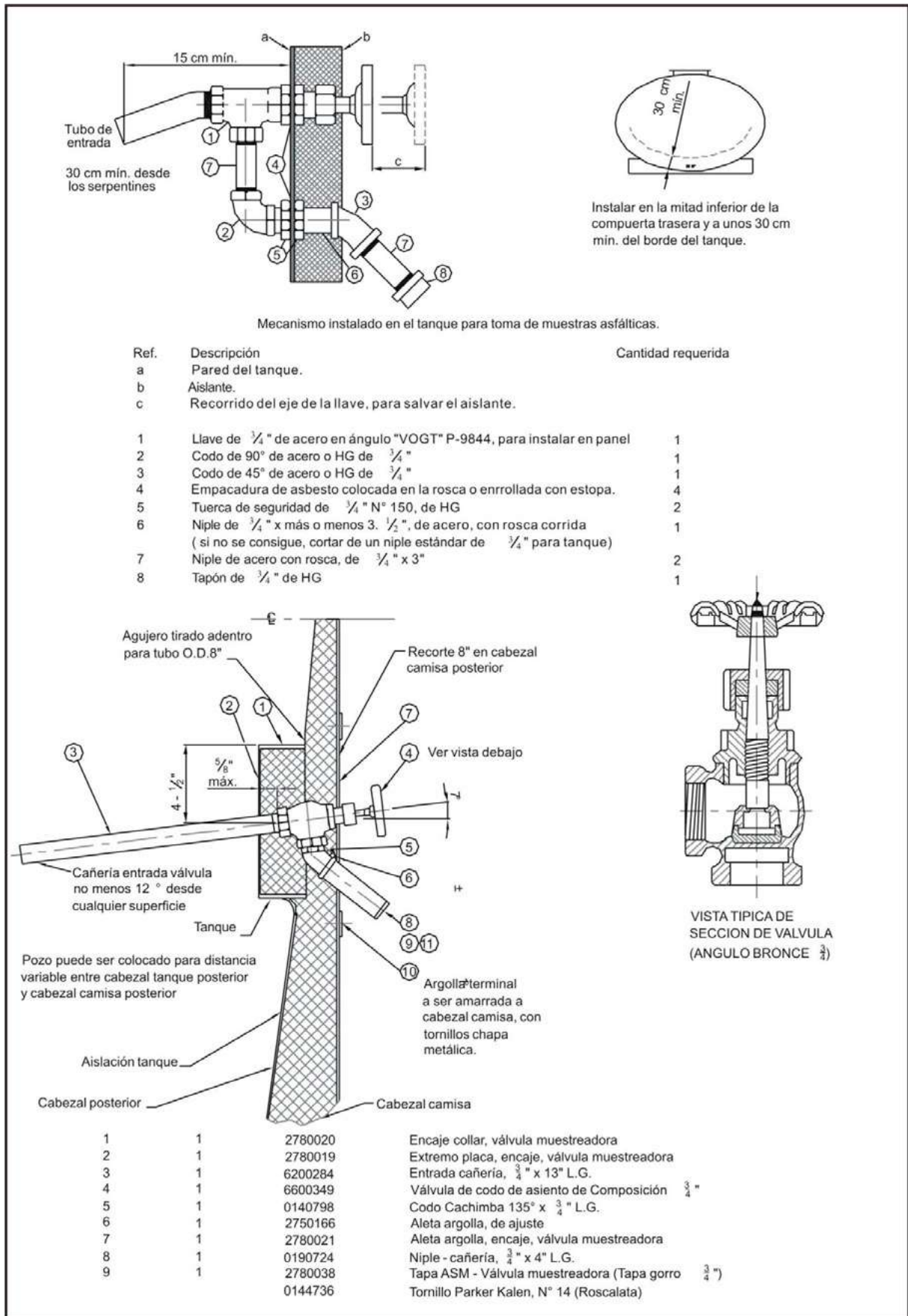


Figura 6.2_3. DEPÓSITO TÍPICOS SUMERGIDOS DE MUESTREO DE ASFALTO

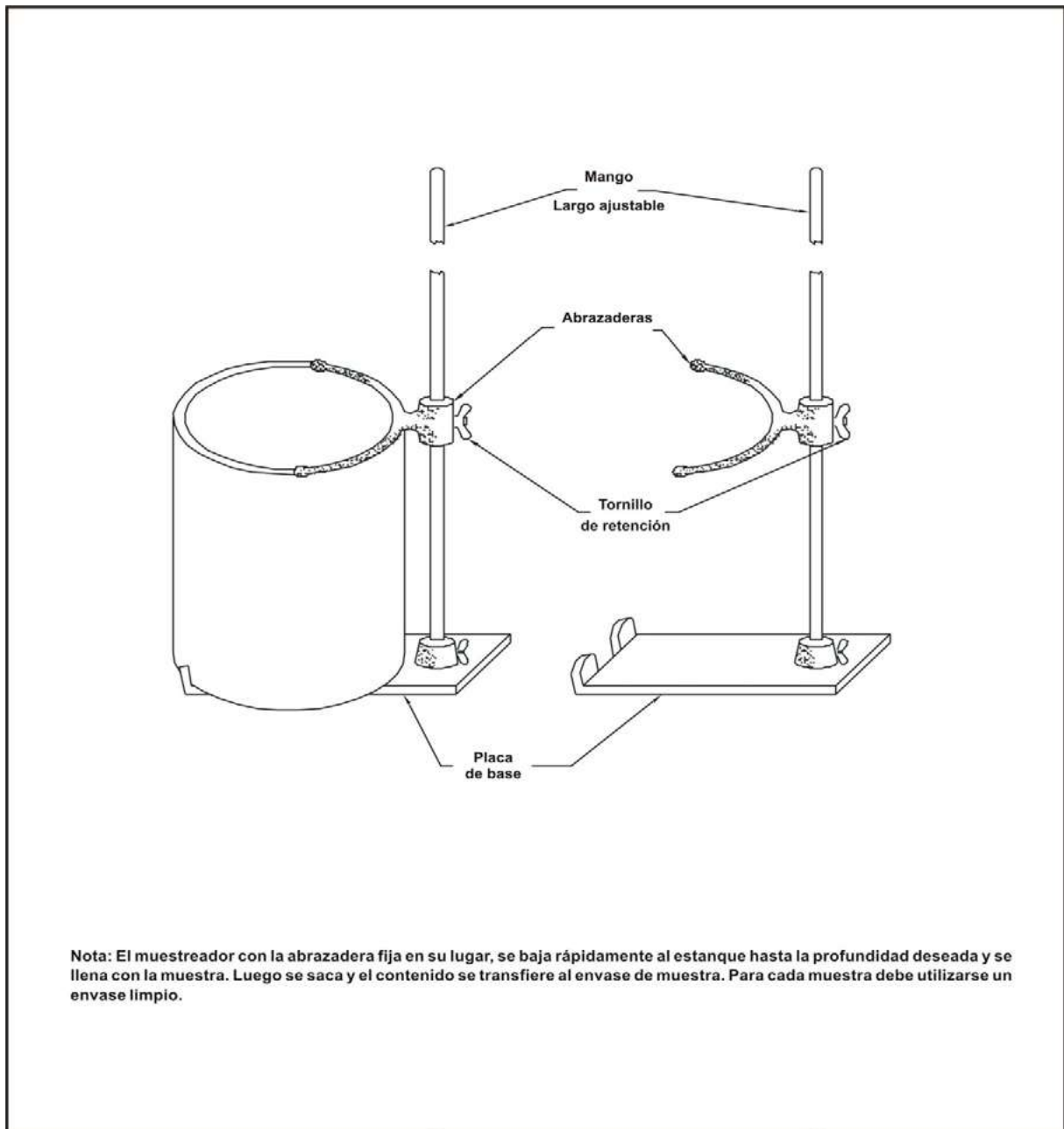


Figura 6.2_4. MUESTREADOR DE INMERSIÓN

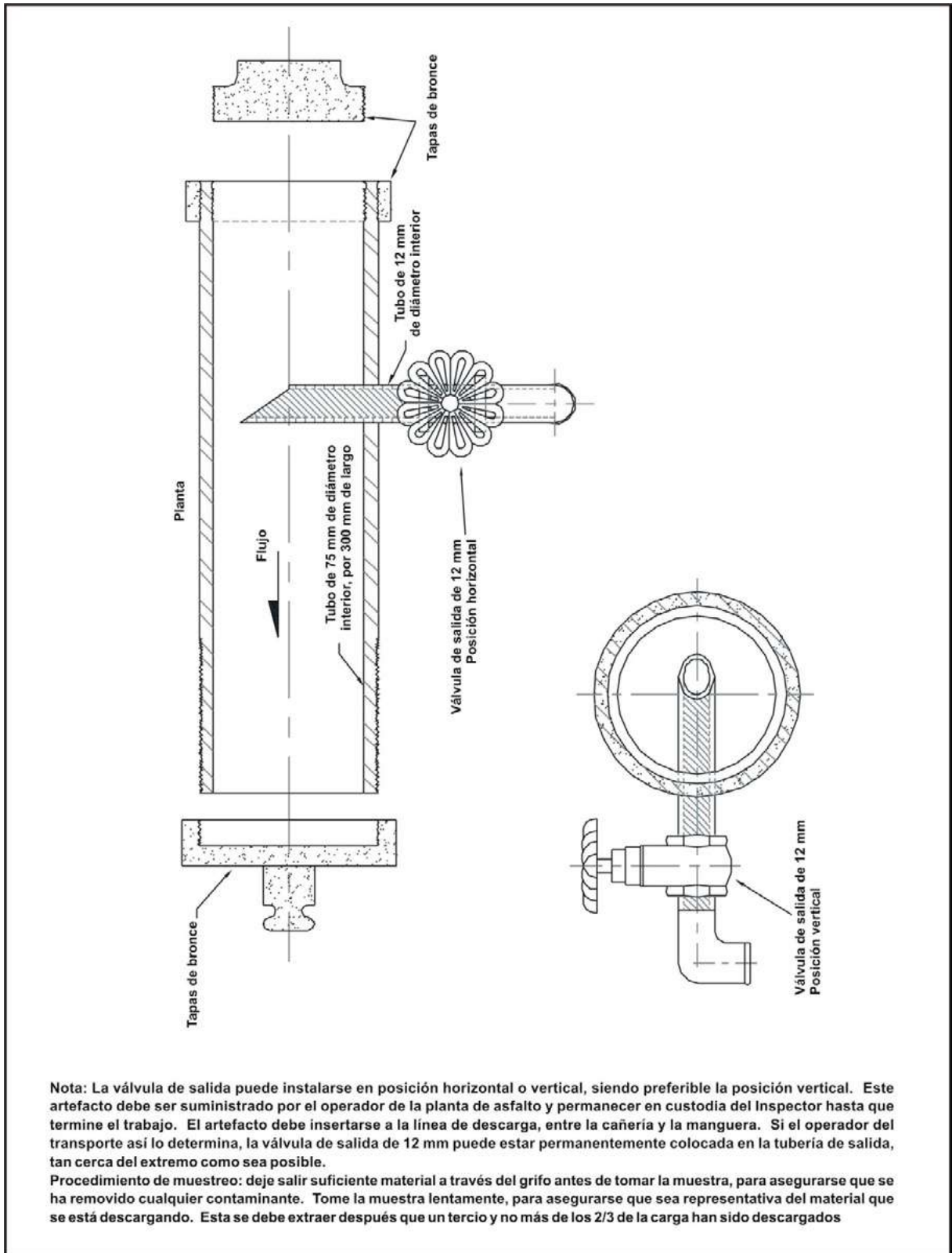


Figura 6.2_5. DEPÓSITO TÍPICO PARA MUESTRA DE ASFALTO LÍQUIDOS DE LOS TRANSPORTES

SECCION 6.2.1.2.

MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD (ASTM D71-94 AASHTO T229-97)

6.2.1.2.1.OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar la densidad de los asfaltos, mediante el uso del picnómetro a la temperatura requerida. **ANEXO DETALLES ESPECIFICOS AO 102**

6.2.1.2.2.EQUIPOS Y MATERIALES

- a) Picnómetro, de 24 a 30 ml de capacidad (ver Figura 6.2_6)
- b) Balanza analítica
- c) Baño termostático capaz de mantener la temperatura requerida en un rango de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$
- d) Termómetro de -8 a 32°C , con una precisión de $0,1^{\circ}\text{C}$
- e) Agua destilada

6.2.1.2.3.CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO

- a. Determine la masa del picnómetro limpio y seco con su tapa, y désignela como A, aproximando a 0,01 g.
- b. Llene el picnómetro con agua destilada y ajuste firmemente la tapa girándola. Sumerja totalmente el picnómetro en un vaso con agua destilada. Coloque el vaso con el picnómetro en el baño de agua de forma que el agua del baño quede al mismo nivel que la del vaso. Manténgalos en el baño como mínimo 30 min. a temperatura de ensayo. Retire el picnómetro y seque rápida y cuidadosamente toda humedad superficial, determine la masa y désignela como B, aproximando a 0,01 g.

Nota 1: Se deben tomar las precauciones necesarias para que los equipos y agua estén a la temperatura de ensayo, y para evitar derrames del picnómetro.

Nota 2: La temperatura de ensayo debe ser igual a la temperatura de calibración del picnómetro.

6.2.1.2.4.PROCEDIMIENTO

A.PROCEDIMIENTO PARA ASFALTOS LÍQUIDOS DE BAJA VISCOSIDAD

- a. Caliente el material asfáltico a la temperatura requerida y viértalo dentro del picnómetro hasta llenarlo, evitando la inclusión de burbujas de aire. Inserte la tapa firmemente en el picnómetro y limpie con un paño el exceso de material que se hubiere derramado

por el orificio. Determine la masa del picnómetro y su contenido y designela como C, aproximando a 0,01 g.

- b. Calcule la densidad del asfalto como:

$$\rho_h = \frac{C - A}{B - A} \times \rho_w \times 1.000$$

Donde:

ρ_w : Densidad del agua a la temperatura de ensayo (g/cm³).

ρ_b : Densidad del asfalto a la temperatura de ensayo (Kg/m³).

- c. Si la viscosidad impide seguir el procedimiento descrito, aplique lo que se señala en Procedimientos para Cementos Asfálticos.

B.PROCEDIMIENTOS PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS

- a. Caliente una pequeña cantidad de material hasta una condición fluida, mediante la aplicación de calor en forma suave; debe prevenir la pérdida por evaporación. Una vez que la muestra esté suficientemente fluida viértala dentro del picnómetro, limpio y seco, hasta aproximadamente la mitad.

Es conveniente calentar ligeramente el picnómetro antes de vaciar el material. Se deben tomar precauciones para evitar que el material toque las paredes del picnómetro por encima de su nivel final, y evite la inclusión de burbujas de aire, aplicando ligeramente la llama de un mechero a la superficie del picnómetro y del asfalto. Enfríe el picnómetro y su contenido a temperatura ambiente y determine la masa con la tapa incluida. Designe esta masa como C, aproximadamente a 0,01 g.

- b. Termine de llenar con agua destilada, inserte la tapa firmemente, sumérjalo completamente en un vaso lleno de agua destilada y colóquelo en el baño, de acuerdo a lo indicado en 2, a la temperatura de ensayo por unos 30 min. Retire el picnómetro del vaso y séquelo con un paño. Determine la masa y designela como D, aproximando a 0,01 g.

- c. Determine la densidad del asfalto de acuerdo a la fórmula:

$$\rho_b = \frac{C - A}{(B - A) - (D - C)} \rho_w \times 1.000$$

Donde:

ρ_b : Densidad del asfalto agua a la temperatura de ensayo (g/cm³).

ρ_w : Densidad del agua a la temperatura de ensayo (kg/m³).

6.2.1.2.5.INFORME

El informe debe incluir:

- La densidad, aproximada a 1 (Kg. /m³)
- La temperatura de ensayo.

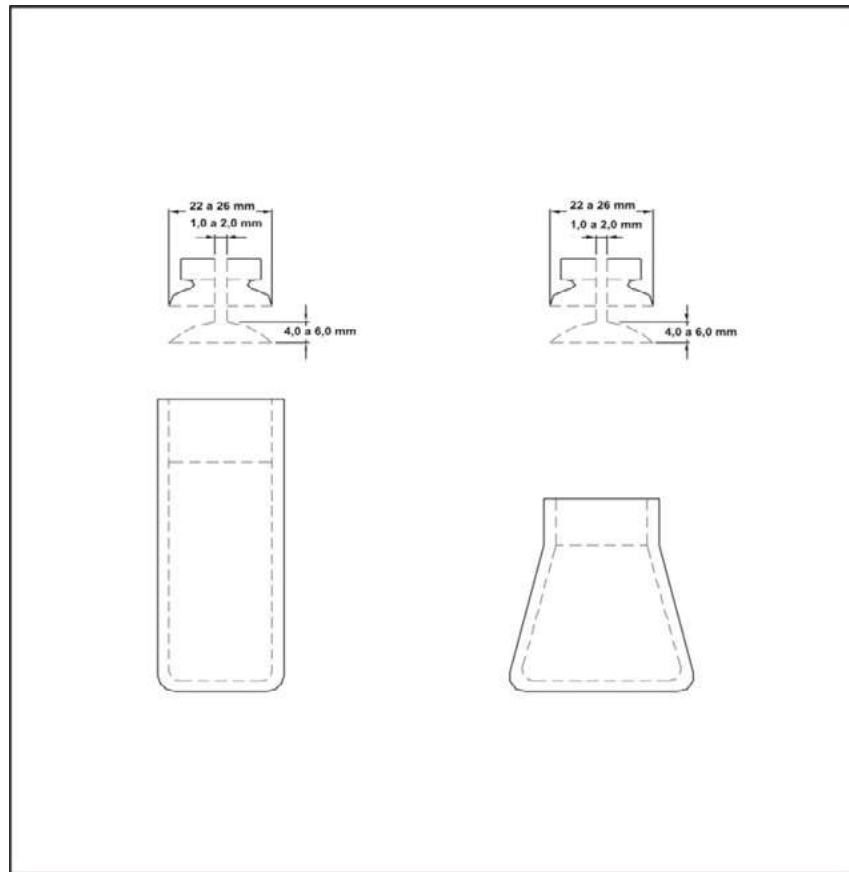


Figura 6.2_6. PICNÓMETROS

SECCION 6.2.1.3.

MÉTODO DE ENSAYO DE PENETRACIÓN (ASTM D5 - AASHTO T49-97)

6.2.1.3.1. OBJETO

Este método describe un procedimiento para determinar la dureza, mediante penetración, de materiales bituminosos sólidos y semisólidos. **ANEXO DETALLES ESPECIFICOS AO 103**

El ensayo de penetración se usa como una medida de consistencia; valores altos de penetración indican consistencias más blandas.

6.2.1.3.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A. PENETRÓMETRO

Cualquier equipo que permita el movimiento vertical sin fricción apreciable del vástago sostenedor de la aguja, y que sea capaz de indicar la profundidad de la penetración con una precisión de 0,1 mm. El peso del vástago será de $47,5 \pm 0,05$ g. El peso total de la aguja y el vástago será de $50,0 \pm 0,05$ g. Para cargas totales de 100 g y 200 g, dependiendo de las condiciones en que se aplique el ensayo, se estipulan pesas de $50,0 \pm 0,05$ g y $100,0 \pm 0,05$ g.

La superficie sobre la que se apoya la cápsula que contiene la muestra será lisa y el eje del émbolo deberá estar aproximadamente a 90° de esta superficie. El vástago deberá ser fácilmente desmontable para comprobar su peso.

B. AGUJA DE PENETRACIÓN

La aguja (ver **Figura 6.2_7**) es de acero inoxidable templado y duro, grado 440-C o equivalente, HRC 54 a 60; debe tener aproximadamente 50 mm de largo y su diámetro entre 1,00 y 1,02 mm.

Será simétricamente afilada en forma cónica, con un ángulo entre $8,7$ y $9,7^\circ$ con respecto al largo total del cono, el que debe ser coaxial con el cuerpo recto de la aguja. La variación total axial de la intersección del cono y la superficie recta no debe exceder de 0,2 mm. La punta truncada del cono debe tener un diámetro entre 0,14 y 0,16 mm y en ángulo recto al eje de la aguja con una tolerancia de 2° .

El filo de la superficie de la punta truncada debe ser bien formado y libre de rugosidad. Cuando la textura de la superficie se mide de acuerdo con la **American National Standard B 46.1 o ISO468**, la aspereza superficial (Ra) del cono aguzado debe estar entre 0,2 y 0,3 μm como promedio aritmético.

La aspereza superficial (Ra) del eje de la aguja debe estar entre 0,025 y 0,125 micrones.

La aguja debe montarse en un casquete de metal no corrosivo, que tenga un diámetro de $3,2 \pm 0,05$ mm y una longitud de 38 ± 1 mm. La longitud expuesta de la aguja estándar debe estar comprendida entre 40 y 45 mm.

La aguja debe estar rígidamente montada en el casquete. La carrera (lectura del indicador de penetración total) de la punta de la aguja y cualquier porción de la aguja relativa al eje del casquete, no deberá exceder de 1 mm.

La masa del conjunto casquete - aguja será de $2,50 \pm 0,05$ g (se puede perforar con taladro o limar el casquete, para controlar el peso). Coloque marcas de identificación individual en el casquete de cada aguja; las mismas marcas no deberían repetirse por un mismo fabricante dentro de un período de tres años.

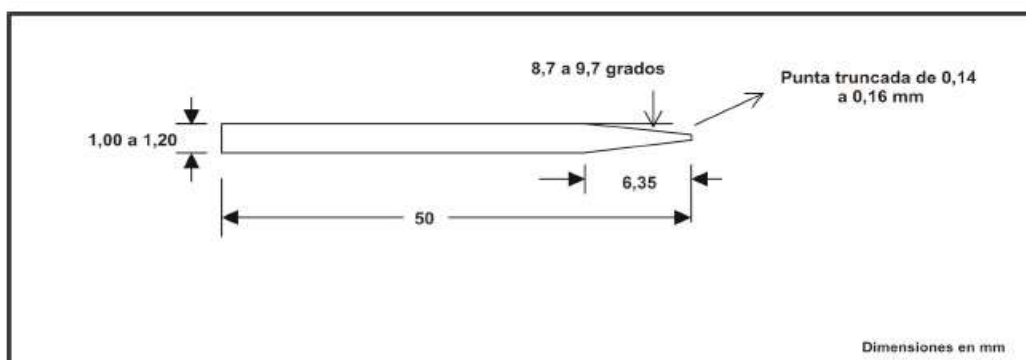


Figura 6.2_7. AGUJA PARA ENSAYO DE PENETRACIÓN

C.CÁPSULAS

Las cápsulas deben ser de metal o vidrio, de forma cilíndrica y con fondo plano. Sus dimensiones son las siguientes:

- Para penetraciones bajo 200. Diámetro (mm) 55 Profundidad (mm) 35.
- Para penetraciones entre 200 y 350: Diámetro (mm) 55 Profundidad (mm) 70.

D.BAÑO DE AGUA

Tendrá una capacidad mínima de 10l. y un sistema apto para mantener la temperatura a 25°C , o cualquiera de ensayo, con una tolerancia de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$; tendrá, además, una bandeja perforada ubicada a no menos de 50 mm del fondo, ni menos de 100 mm bajo el nivel del líquido en el baño.

Si el ensayo de penetración se realiza en el mismo baño, éste debe estar provisto de una bandeja que soporte el peso del penetrómetro. Para determinaciones a bajas temperaturas se puede utilizar una solución salina (Nota 1).

Nota 1: Se recomienda usar agua destilada en el baño. Se debe evitar la contaminación del baño de agua por agentes superficiales activos, agentes residuales u otros agentes químicos, pues su presencia puede afectar los valores de penetración.

E.TRANSPORTADOR DE CÁPSULA

Debe tener una capacidad mínima de 350 ml y una profundidad suficiente de agua que permita cubrir la altura del contenedor de la muestra. Debe estar provisto de algún medio que asegure firmemente la cápsula y evite el balanceo; para lo que tendrá tres brazos que permitan a lo menos tres puntos de contacto para sostener la cápsula.

F.APARATO MEDIDOR DE TIEMPO

Para operar un penetrómetro manual, utilice cualquier aparato que mida el tiempo, tal como un medidor de tiempo eléctrico, un cronómetro o cualquier dispositivo a cuerda, que esté graduado en 0,1 o menos y cuya precisión esté dentro de $\pm 0,1$ seg. para un intervalo de 60 seg.

También se puede utilizar un contador de segundos audible, ajustado para proporcionar un pulso cada 0,5 seg. El tiempo para un intervalo de cuenta de 11 pulsos debe ser de $5 \pm 0,1$ seg.

Cualquier dispositivo automático que se vaya a conectar al penetrómetro debe ser cuidadosamente calibrado para proporcionar el intervalo de ensayo deseado dentro de $\pm 0,1$ seg.

G.TERMÓMETROS

Se pueden usar termómetros de vidrio de rango adecuado, con subdivisiones y escala máxima de error de 0,1°C, o cualquier otro aparato que mida temperaturas con igual exactitud, precisión y sensibilidad. Los termómetros deben cumplir los requisitos de la Especificación ASTM E1. Los termómetros comúnmente utilizados son los que se indican en la **Tabla 6.2_3**:

Tabla 6.2_4. TIPOS DE TERMÓMETROS

ASTM Nº	Rango	Temperatura de ensayo
17 C	19 a 27°C	25°C
63 C	-8 a +32°C	0 a 4°C
64 C	25 a 55°C	46°C

El termómetro para el baño de agua se debe calibrar periódicamente de acuerdo con el **Método de Ensayo ASTM E 77**.

6.2.1.3.3.CONDICIONES GENERALES

Cuando no se especifiquen las condiciones de ensayo, considere la temperatura, carga y tiempo, en 25°C, 100 g y 5 seg., respectivamente. Otras condiciones de temperatura, carga y tiempo pueden usarse para ensayos especiales, tales como los que se muestran en la **Tabla 6.2_2**.

Tabla 6.2_5. CONDICIONES PARA ENSAYOS ESPECIALES

Temperatura (°C)	Carga (g)	Tiempo (s)
0	200	60
4	200	60
45	50	5
46,1	50	5

En los casos especiales deben informarse las condiciones especificadas de ensayo.

6.2.1.3.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- Caliente la muestra cuidadosamente, agitando para prevenir sobrecalentamientos locales, hasta que esté lo suficientemente fluida para vaciar. En ningún caso la temperatura debe elevarse más allá de 60°C sobre el punto de ablandamiento esperado para los alquitranes, de acuerdo con el **Método de Ensayo ASTM D 36**, o no más allá de 90°C sobre el punto de ablandamiento para el caso de los asfaltos. No caliente la muestra por más de 30 min. y evite la incorporación de burbujas en la muestra.
- Vierta la muestra en la cápsula a una profundidad tal que cuando se enfríe a la temperatura de ensayo, la profundidad de la muestra sea a lo menos 10 mm mayor que la profundidad a la cual se espera que la aguja penetre. Vierta dos porciones separadas para cada variación de las condiciones de ensayo.
- Proteja la cápsula contra el polvo, cubriéndola con un vaso y déjela enfriar al aire a una temperatura entre 15 y 30°C, entre 1 y 1,5 h. para una cápsula pequeña (90 ml) y 1,5 y 2 h., para el más grande (175 ml). Cuando utilice el transportador de cápsula, coloque

las muestras junto con éste en el baño de agua, manteniéndolas a la temperatura de ensayo.

- d. Las muestras en cápsulas pequeñas deben permanecer entre 1 y 1,5 h. y en las más grandes, entre 1,5 y 2 h.

6.2.1.3.5. PROCEDIMIENTO

- a. Examine la aguja y guía para comprobar que esté perfectamente seca y libre de otros materiales extraños. Si la penetración esperada excede 350 use una aguja larga; en otros casos, utilice una aguja corta. Limpie la aguja de penetración con tolueno u otro solvente adecuado, seque con un paño limpio e inserte la aguja en el penetrómetro. A menos que se especifique otra cosa, coloque el peso de 50 g sobre la aguja, obteniendo una masa total de $100 \pm 0,1$ g.
- b. Si el ensayo se hace con el penetrómetro en el baño, coloque la cápsula con muestra directamente sumergida sobre la superficie de éste (Nota 2), y deje la cápsula con la muestra en el baño, completamente cubierta con agua. Si el ensayo se realiza con el penetrómetro fuera del baño, coloque la muestra en el transportador de cápsula, cúbrala completamente con agua a la temperatura del baño (constante) y ubique el transportador sobre la superficie del penetrómetro.

Nota 1: Para ensayos cuando las penetraciones son a temperaturas diferentes de 25°C, las mismas deben realizarse sin remover la muestra del baño.

- c. Posicione la aguja descendiendo lentamente hasta que la punta haga contacto con la superficie de la muestra; realice esto con la punta de la aguja haciendo contacto real con su imagen reflejada sobre la superficie de la muestra, para lo cual empleé una fuente luminosa (Nota 2).

Nota 2: La posición de la aguja se puede visualizar mejor con la ayuda de un tubo de iluminación de polimetil metacrilato.

- d. Haga un mínimo de tres penetraciones en la superficie de la muestra en puntos distanciados al menos 10 mm de la pared de la cápsula y a no menos de 10 mm entre uno y otro. Si se usa el transportador de cápsula, retorne la muestra y el transportador al baño de agua entre determinaciones; use una aguja limpia para cada determinación. Si la penetración es mayor que 200, use un mínimo de tres agujas, dejándolas en la muestra hasta completar las tres penetraciones.

6.2.1.3.6. PRECISIÓN

Use el siguiente criterio para juzgar si los resultados de penetración son aceptables para asfaltos a 25°C. (El criterio de precisión para otras temperaturas está siendo determinado).

G.1. Precisión para un solo operador

El coeficiente de variación determinado para un solo operador, es de 1,4% para penetraciones sobre 60 y la desviación estándar para un solo operador, desde 0,35 para penetraciones bajo 50.

Por lo tanto, los resultados de dos ensayos adecuadamente ejecutados por el mismo operador, con el mismo material de cualquier penetración y usando el mismo equipo, no deberían diferir uno del otro en más de 4% de su media o 1 unidad en otros casos.

G.2. Precisión entre laboratorios

El coeficiente de variación encontrado entre laboratorios es de 3,8% para penetraciones sobre 60 y la desviación estándar entre laboratorios es de 1,4 para penetraciones bajo 50. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos adecuadamente ejecutados, con el mismo material de cualquier penetración y en dos laboratorios diferentes, no deberían diferir uno del otro en más de 11% de su media o 4 unidades en otros casos.

Nota 4: Los valores antes indicados representan los límites de ambas desviaciones estándar.

En la **Tabla 6.2_ 6** se entregan los criterios de precisión para los distintos casos.

Tabla 6.2_6. CRITERIOS DE PRECISIÓN

Material	Desviación estándar o coeficiente de variación (Unidades o %)	Rango de aceptación de dos resultados de ensayo (Unidades o %)
Precisión para un solo operador		
Asfaltos a 25° c, penetraciones bajo 50 (unidades)	0,35	1
Asfaltos a 25°C, penetraciones sobre 60 (% de su media)	1,4	4
Alquitranes a 25°C (% de su media)	5,2	15
Precisión entre laboratorios:		
Asfaltos a 25°C, penetraciones bajo 50 (unidades)	1,4	4
Asfaltos a 25°C, penetraciones sobre 60, (% de su media)	3,8	11
Alquitranes a 25°C (*) (Unidades)	1,4	4

(*) La estimación de la precisión para los alquitranes está basada en los resultados de dos destilados de hulla con penetraciones de 7 y 24. La estimación puede no ser aplicable a materiales de dureza diferente.

6.2.1.3.7. INFORME

Informe el promedio de tres determinaciones, aproximando a la unidad. Los valores no deben diferir más allá de las magnitudes que se indican en la **Tabla 6.2_ 7** para cada grado de penetración.

Tabla 6.2_7. DIFERENCIA MÁXIMA ENTRE MEDICIONES

PENETRACION	0 a 49	50 a 149	150 a 249	250 a 500
Máxima diferencia entre la mayor y la menor determinación	2	4	12	20

SECCION 6.2.1.4.

MÉTODO DE ENSAYO DE LA MANCHA (AASHTO T 102-83)

6.2.1.4.1.OBJETO

Este método es aplicable solamente a productos asfálticos derivados del petróleo; no debe aplicarse a asfaltos naturales que contienen materias no bituminosas insolubles en xileno.

A los materiales que mediante el uso del solvente normal se clasifican como positivos, se le puede determinar su grado de positividad por medio del "Equivalente de Xileno". El equivalente de xileno será el menor porcentaje por volumen de xileno en un solvente compuesto de xileno y nafta normal oxileno y heptano normal, como se especifique, el cual produce una mancha "negativa" para el material en cuestión. Este se conoce como equivalente nafta xileno y heptano xileno, respectivamente. El porcentaje de xileno en los solventes se va agregando en incrementos de 5% respecto de la mezcla. Cuando no se especifica equivalente xileno, se usa solamente el solvente nafta normal.

6.2.1.4.2.EQUIPOS Y MATERIALES

A.REACTIVOS

- a. La nafta normal es el producto del primer destilado libre de cualquier clase de productos craqueados y que cumpla con los siguientes requerimientos:

Gravedad A.P.I.	49-50
-----------------	-------

Destilación:

Punto de ebullición inicial	+149°C
50% sobre	168 - 179°C
Punto final bajo	210 °C
Nº Anilina	59 a 63°C

El Nº Anilina del solvente será determinado como se describe en la norma ASTM D 611.

- b. Cuando se especifica el equivalente xileno, será químicamente puro, con un rango de temperaturas de ebullición entre 137– 140°C cuando destila de acuerdo con el **Método de la Norma AASHTO T 115**. Ensayos para destilación de gasolina, nafta, kerosén y productos similares del petróleo.

- c. El heptano normal debe cumplir con los siguientes requerimientos:

ASTM Motor Octane Number	0,0 ± 0,2
Densidad a 20°C	0,68375±0,00015
Índice de refracción N_d a 20°C	1,38775±0,00015
Punto de congelamiento (°C)	-90,72 mínimo

Destilación:

50% recuperado (°C)	98,43±0,05
Incremento de 20 a 80 %	
Recuperado (°C)	0,20 máximo

Accesorios

Los accesorios requeridos son los siguientes:

- d. Frascos de 50 ml capacidad, cualquiera de los dos modelos, Florence de boca ancha y fondo plano o modelo Soxhlet de aproximadamente 45 mm de diámetro por 60 mm de alto.
- e. Corcho para frasco provisto con un tubo de vidrio de 200 mm de largo por 6 mm de diámetro.
- f. Papel filtro Whatman N° 50 de 70 mm de diámetro.
- g. Placa de vidrio. Limpie una placa lisa de vidrio claro, primeramente con tetracloruro de carbono, enseguida lave con jabón y agua, seque frotando, limpie con un limpia vidrio adecuado, seque frotando y deje libre de polvo e hilos. Después de este tratamiento de limpieza aplique una gota de la mezcla de asfalto sobre el vidrio, déjelo fluir hasta que se forme una mancha elíptica. Si la mancha es dentada y de contorno quebrado, nuevamente limpie el vidrio con un limpia vidrio adecuado hasta que una gota de la mezcla de asfalto fluya sin las características descritas.
- h. Pipeta o bureta con 0,1 ml de graduación.
- i. Termómetro de precisión ASTM 64C que cumpla con los requerimientos de la norma ASTM E1.

6.2.1.4.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE MUESTRA

Para asfaltos sólidos o semisólidos haga el ensayo al material original; para asfaltos líquidos del tipo curado lento que tengan menos del 15% de volumen destilado bajo 360°C según **Sección 6.2.4.2:** "Método de Ensayo de Destilación de Asfaltos Cortados"; el ensayo puede hacerse sobre el material original excepto en casos de discusión, cuando se ha ejecutado en el residuo de la destilación especificado anteriormente. Para el resto de los asfaltos líquidos el ensayo en todos los casos se ejecuta sobre el residuo proveniente de la destilación.

6.2.1.4.4. PROCEDIMIENTO

- a. Pese una muestra de $2 \pm 0,02$ g e introdúzcala en el frasco; si no fluye fácilmente a la temperatura ambiente, caliente el frasco con la muestra cuidadosamente, hasta que pueda extenderse en una película delgada que cubra el fondo del frasco y permita que enfríe a temperatura ambiente.
 - Con la pipeta o bureta introduzca en el frasco 10,2 ml del solvente especificado; ponga rápidamente el corcho con el tubo de 200 mm de largo, tome el frasco del cuello, y dé vueltas en forma de remolino, con un movimiento rápido durante 5 seg. Introduzca lentamente el frasco en un baño de agua hirviendo por un lapso de 55 seg. (menos el caso de una muestra de un líquido delgado el cual no es necesario calentar).

- Retire el frasco del baño y gírelo en su eje durante 5 seg., introdúzcalo nuevamente por otros 55 seg.; repita el procedimiento minuto a minuto, hasta que obtenga la dispersión total, observada inclinando el frasco y girándolo.
- b. Una vez completa la dispersión, baje el tubo de vidrio hasta sumergirlo en la solución y déjelo enfriar durante 30 min. a temperatura ambiente. La mezcla solvente asfalto se calienta por 15 min. en un baño de agua y se mantiene a la temperatura de $32 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$; luego se agita completamente por medio de una varilla de vidrio limpia y con ésta se deja caer una gota de la mezcla caliente sobre el papel filtro Whatman N° 50.
- c. Después de 5 min. se examina la mancha caliente del papel con el brazo estirado, con el plano del papel aproximadamente en ángulo recto a la línea de visión y con una buena fuente de poder (luz de día difusa) a la espalda del observador. Si la gota forma una mancha circular café o amarilla – café, con un sólido oscuro o núcleo anular en el centro, el ensayo se reporta como positivo.
- d. Si, de cualquier modo, la gota forma una mancha circular uniforme café, el resultado deberá reservarse y la mezcla con solvente asfáltico dejarse a un lado en el frasco bien tapado y a temperatura ambiente con luz tenue para ser reensayada 24 h. después de su primer examen. La mezcla calentada a $32 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ por 15 min. como antes, debe ser vigorosamente agitada hasta que sea uniforme; coloque una gota nuevamente en el papel filtro. Si la gota de la mezcla de las 24 h. aún forma una mancha circular café, el ensayo debe informarse como negativo, pero si un sólido oscuro o núcleo anular como el descrito en el párrafo anterior se forma en el centro de la mancha, el ensayo debe informarse como positivo.

A. PROCEDIMIENTO EN EL CASO DISCUTIBLE

- a. En caso de discusión, el ensayo completo debe repetirse. Cualquier pérdida en la masa del solvente durante la dispersión debe completarse con solvente adicional y el frasco, después de la dispersión completa, debe mantenerse con luz tenue y a la temperatura de $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 24 h, hasta efectuar el ensayo. Una gota de mezcla con solvente asfáltico calentada por 15 min. a $32 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ debe colocarse sobre el papel filtro y sobre la placa de vidrio.

Si la aparición de la gota en el papel filtro, ya sea con la mezcla preparada fresca o con la de 24 h, sigue en discusión, entonces el ensayo hecho en la placa de vidrio de la manera que se especifica más abajo será definitivo.

- b. La gota de la mezcla de 24 h debe colocarse sobre la placa de vidrio manteniéndola en un ángulo de 45° sobre la horizontal. Si a medida que la gota fluye, ésta desarrolla en el centro de su trayectoria una línea mate sin punta, el exterior de la cual está bien definida contra lo suave, limpio y café lustroso de la zona exterior, cuando el vidrio se examina por luz reflejada contra un fondo oscuro, el ensayo debe informarse como positivo.
- c. Si una gota de la mezcla de las 24 h fluye uniformemente en una película café lustrosa y limpia, sin la línea central que se describió en el párrafo anterior, el ensayo se informará como negativo.

B. MÉTODO EQUIVALENTE DE XILENO

- a. Cuando el método usado es por “equivalente de xileno”, el ensayo es el mismo especificado antes, excepto que el solvente deberá estar compuesto ya sea por xileno y la nafta normal o por xileno y un heptano normal, según se especifique.
- b. Para determinar el xileno equivalente, dos o más muestras del asfalto por examinar deben dispersarse en la mezcla del solvente prescrito. El porcentaje de xileno se hace

variar mediante incrementos sucesivos de 5% en volumen con respecto de la mezcla, hasta que se encuentren dos soluciones con asfalto, una de las cuales muestre una mancha positiva, mientras que la siguiente (en la cual el solvente contenga 5% más de xileno) muestre una mancha negativa. El xileno equivalente puede informarse como el porcentaje de xileno en los dos solventes usados en estas dos soluciones, por ejemplo: 10 – 15% de nafta xileno equivalente o 20 – 25% heptano xileno equivalente, según sea el caso.

- c. Cuando la aceptación de un material se basa en el xileno equivalente especificado, el porcentaje más bajo exacto de xileno que produce una mancha negativa no necesita determinarse. La muestra puede ensayarse con solvente compuesto de los porcentajes especificados de xileno y nafta normal o xileno y heptano normal, según se requiera, y cualquier material que muestre mancha negativa para este solvente debe informarse como menor que el xileno equivalente particular para el cual ha sido diseñado, por ejemplo: menor que 20% de nafta xileno equivalente o menor que 35% Heptano xileno equivalente.

SECCION 6.2.1.5.

MÉTODO PARA DETERMINAR LA DUCTILIDAD (ASTM D 113 AASHTO T51-00)

6.2.1.5.1. OBJETO

La ductilidad de un material bituminoso es la longitud, medida en cm., a la cual se alarga (elongación) antes de romperse cuando dos extremos de una briqueta, confeccionada con una muestra y de la forma descrita en 1 se traccionan a la velocidad y temperatura especificadas. A menos que otra condición se especifique, el ensayo se efectúa a una temperatura de $25 \pm 0,5$ °C y a una velocidad de 5 cm/min \pm 5%. Para otras temperaturas deberá especificarse la velocidad.

6.2.1.5.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A. MOLDES

El molde, de bronce o zinc, debe ser similar en diseño al mostrado en la **Figura 6.2_8**; los extremos b y b' se denominan clips y las partes a y a', lados del molde. Cuando se arme el molde se obtendrá la briqueta especificada, con las dimensiones que se indican:

A: Distancia entre los centros: 111,5 a 113,5 mm

B: Largo total de la briqueta: 74,5 a 75,5 mm.

C: Distancia entre clips: 29,7 a 30,3 mm.

D: Borde del clip: 6,8 a 7,2 mm.

E: Radio del clip: 15,75 a 16,25 mm.

F: Ancho mínimo de la sección transversal: 9,9 a 10,1 mm.

G: Ancho de la boca del clip: 19,8 a 20,2 mm.

H: Distancia entre los centros de radio: 42,9 a 43,1 mm.

I: Diámetro del orificio del clip: 6,5 a 6,7 mm.

J: Espesor: 9,9 a 10,1 mm

B. BAÑO DE AGUA

Mantenga el baño a la temperatura de ensayo especificada, con una tolerancia de $\pm 0,1$ °C. El volumen mínimo de agua es de 10 l. Sumerja la muestra a una profundidad no menor que 10 cm. y apóyela sobre una bandeja perforada, ubicada a no menos que 5 cm. del fondo del baño.

C. DUCTILÍMETRO

Para traccionar las briquetas de material bituminoso se puede usar cualquier aparato construido de modo que la muestra se mantenga continuamente sumergida en agua, como se especifica en 7, al mismo tiempo que los clips se traccionan a una velocidad uniforme y sin vibraciones

excesivas. Este aparato debe ser termo regulable para mantener la temperatura especificada en forma homogénea en toda la masa de agua, dentro de la tolerancia indicada en 8.

D. TERMÓMETROS

El termómetro por utilizar será **ASTM 63 C** con un rango de temperatura entre -8 y 32 °C; debe cumplir los requerimientos descritos en la **Norma ASTM E1**.

6.2.1.5.3. PROCEDIMIENTO

A. PREPARACIÓN DEL MOLDE

Arme el molde sobre una placa base; cubra cuidadosamente la superficie de la placa y las superficies interiores de los lados a y a' del molde (**Figura 6.2_8**) con una película delgada de antiadhesivo para prevenir que el material por ensayar se adhiera. La placa sobre la cual se coloca el molde debe estar perfectamente plana y a nivel, de modo que la superficie inferior del molde esté completamente en contacto.

B. MOLDEO DE LAS MUESTRAS PARA EL ENSAYO

Caliente la muestra con cuidado, previniendo calentamientos locales, hasta que esté suficientemente fluida para verter. Sin embargo, durante el calentamiento, la temperatura no debe exceder de 80 a 110 °C por encima del punto de ablandamiento esperado.

Tamice la muestra fundida a través del tamiz $0,3$ mm (N° 50); luego continúe revolviendo y vierta el material dentro del molde. Durante el llenado cuide no tocar ni desarreglar el molde, de modo que no se distorsione la briqueta; vierta con un chorro delgado hacia atrás y hacia adelante, de extremo a extremo, hasta que el molde quede por sobre el nivel de llenado. Deje enfriar a temperatura ambiente por un período de 30 a 40 min. y luego coloque en el baño de agua mantenido a la temperatura de ensayo especificada por 30 min. Luego recorte el exceso de ligante asfáltico con una espátula o cuchillo caliente, resistente y afilado, de modo que el molde se ajuste al nivel de llenado.

Nota 1: Como antiadhesivo o desmoldante se puede usar vaselina, silicona u otros.

C. CONSERVACIÓN DE LAS MUESTRAS A LA TEMPERATURA DE ENSAYO

Coloque la placa y el molde con la briqueta en el baño de agua y manténgala por un período de 85 a 95 min. a la temperatura especificada; luego quite la briqueta de la placa, separe las partes a y a' e inmediatamente ensaye la briqueta.

D. ENSAYO

Eganche los anillos de cada extremo de los clips a las clavijas del ductilímetro y sepárelos a la velocidad uniforme especificada hasta la ruptura de la briqueta; se permite una tolerancia de ± 5 % para la velocidad especificada. Mida la distancia en cm. entre los clips traccionados en el momento de producirse la ruptura. Durante el desarrollo del ensayo, el agua en el estanque del ductilímetro cubrirá la briqueta a lo menos $2,5$ cm. y ésta se mantendrá continuamente a la temperatura especificada con una tolerancia de $\pm 0,5$ °C.

6.2.1.5.4. INFORME

A. ENSAYO NORMAL

Un ensayo normal es aquél en el cual el material entre los dos clips se ha estirado hasta el punto de convertirse en un hilo y la ruptura ocurre en el punto donde el hilo no tiene prácticamente sección transversal. Se informará el promedio de tres ensayos normales como la ductilidad de la muestra, indicando la temperatura de ensayo.

- **Si el material bituminoso llega a tener contacto con la superficie** del agua o el fondo del baño, el ensayo no será considerado normal. Se ajustará la densidad del agua del baño agregando alcohol metílico o cloruro de sodio de modo que el material bituminoso no llegue a la superficie del agua ni toque el fondo del baño durante el ensayo.
- **Si no se obtiene un ensayo normal en tres ensayos** sucesivos en iguales condiciones, informe la ductilidad como “no obtenible” bajo esas condiciones de ensayo.

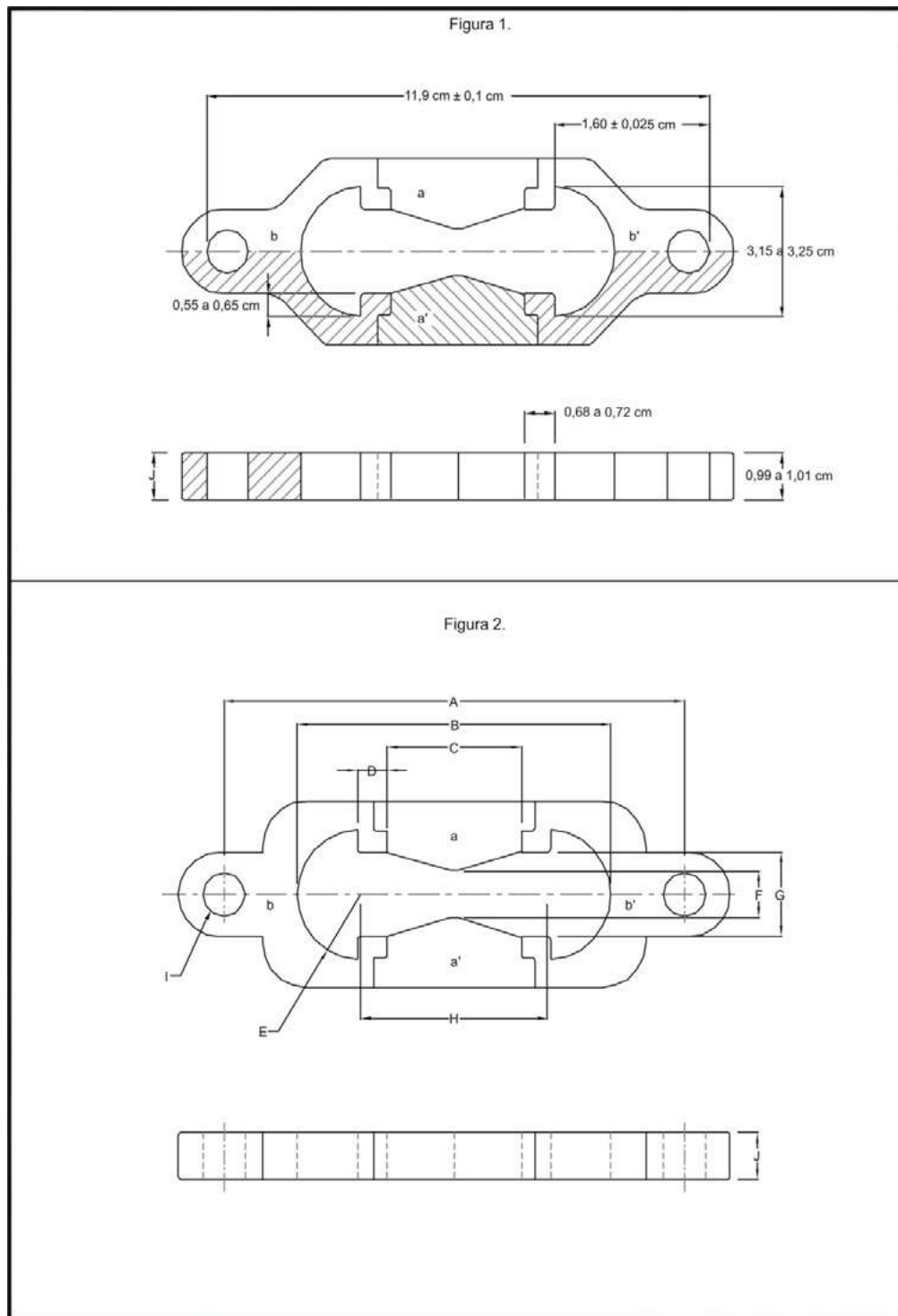


Figura 6.2_8. FIGURA 1- MOLDE PARA DUCTILIDAD DE MUESTRA DE ENSAYO,
FIGURA 2- MOLDE PARA ENSAYO DE DUCTILIDAD

SECCION 6.2.1.6.

MÉTODO PARA DETERMINAR LOS PUNTOS DE INFLAMACIÓN Y COMBUSTIÓN MEDIANTE LA COPA ABIERTA DE CLEVELAND (ASTM D92-05 AASHTO T48)

6.2.1.6.1. OBJETIVO

Este método de prueba de punto de inflamación y punto de combustión es un método dinámico y depende de definir el rango de aumento de temperatura para controlar la precisión del método de prueba. Su uso principal para materiales viscosos que tienen un punto de inflamación de 79°C y superior. También se usa para determinar el punto de combustión, que es una temperatura superior al punto de inflamación, en el que la muestra de prueba soporta la combustión durante un mínimo de 5 s. **ANEXO DETALLES ESPECIFICOS AO 106**

6.2.1.6.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A.COPA ABIERTA DE CLEVELAND

Consiste en una copa de ensayo, una placa de calentamiento, un aplicador de la llama, un calentador y apoyos como se describe en detalle en el Anexo. Una forma de armar el aparato, la placa de calentamiento y la copa, es como se ilustra en las **Figuras 6.2_9** y **6.2_10**, respectivamente.

B.PROTECTOR

Se recomienda un protector cuadrado de 460 mm y 610 mm de alto que tenga un frente abierto.

C.TERMÓMETRO

Un termómetro que tenga un rango de -6 a 400°C y cumpla con los requisitos del 11c ó 28c de ASTM E1.

Nota 1: Hay equipos para Punto de Inflamación automáticos, que son ventajosos por la economía en el tiempo de ensayo, porque permiten el uso de muestras pequeñas y tienen otros factores que los hacen recomendables. Al usarlos se debe asegurar que todas las instrucciones del fabricante para calibración, ajustes y operaciones del instrumento se respeten. En casos de duda el Punto de Inflamación debe determinarse manualmente y se considerará como ensayo patrón.

6.2.1.6.3. PREPARACIÓN DEL APARATO

- a. Arme el aparato sobre una mesa nivelada en una pieza sin corrientes de aire; ubique el protector alrededor del aparato de encendido, afirmado por algún medio adecuado que permita la lectura del Punto de Inflamación. Ensayos en campanas de laboratorio (Nota 3) o en lugares donde no existan corrientes de aire, son confiables.

Nota 2: Con algunas muestras, cuyos vapores o productos de la pirolisis son objetables, es permisible colocar el aparato con un protector en una campana ajustando el flujo de aire de modo que los vapores se puedan sacar sin causar corrientes de aire sobre la copa de ensayo durante los últimos 55°C previo al Punto de Inflamación.

- b. Lave la copa de ensayo con un solvente apropiado y quite cualquier aceite o vestigios pegados o residuos remanentes de ensayos anteriores. Si hay depósitos de carbón remuévalos con una esponja de acero. Limpie la copa bajo un chorro de agua fría y seque por unos pocos minutos sobre una llama, placa caliente o en un horno y elimine los últimos indicios de solvente y agua. Enfríe la copa por lo menos a 55°C por debajo del Punto de Inflamación esperado antes de usarla.
- c. Mantenga el termómetro en posición vertical con el bulbo a una distancia de 6,5 mm del fondo de la copa (con la tolerancia mostrada en la **Figura 6.2_9**) y localizada en el punto medio del trecho entre el centro y el borde de la copa, en un diámetro perpendicular al arco o línea del recorrido de la llama de prueba y en el lado opuesto de la llama del quemador.

6.2.1.6.4. PROCEDIMIENTO

1. Llene la copa a una temperatura conveniente (Nota 4), no excediendo 100°C por encima de lo esperado para el Punto de Ablandamiento; de esa manera la parte superior del menisco está en la línea de llenado. Para ayudar en esta operación use un medidor del nivel de llenado (Anexo A7). Si un exceso de muestra se ha agregado a la copa, quítelo usando una pipeta u otro aparato adecuado. Sin embargo, si hay muestra que esté fuera del aparato, vacíe, limpie y vuelva a llenar. Destruya cualquier burbuja de aire sobre la superficie de la muestra (Nota 5).

Nota 3: Las mezclas viscosas deben calentarse hasta que estén razonablemente fluidas antes de ser vertidas dentro de la copa. Para el cemento asfáltico la temperatura durante el calentamiento no debe exceder de 110°C por encima del Punto de Ablandamiento esperado. Cuidados extremos se deben tener con los asfaltos líquidos, los que deben calentarse solamente a una temperatura mucho menor a la que pueden ser vertidos.

Nota 4: La copa puede llenarse fuera del aparato, incorporando el termómetro y una vez colocada la copa con la muestra en el aparato, se corrige el nivel antes de empezar el ensayo. Se usa una cuña de 6,5 mm de espesor para obtener la distancia correcta desde el extremo inferior del bulbo al fondo de la copa.

2. La luz de la llama de prueba se ajusta a un diámetro de 3,0 a 5,0 mm y se compara con el tamaño del cabezal.
3. Aplique calor inicialmente de modo que la temperatura de la muestra suba a una velocidad entre 14 y 17°C por minuto. Cuando la temperatura de la muestra se aproxime a los 55°C por debajo del Punto de Inflamación esperado, disminuya el calor de modo que la velocidad de la temperatura para 28°C antes del Punto de Inflamación, sea de 5 a 6°C por min.
4. Comenzando, al menos 28°C por debajo del Punto de Inflamación, aplique la llama de prueba cada 2°C sucesivos leídos en el termómetro. Pase la llama de prueba a través del centro de la copa, en ángulos rectos al diámetro que pasa a través del termómetro; con suavidad continúe el movimiento aplicando la llama en línea recta a lo largo de la circunferencia de un círculo que tenga un radio al menos de 150 mm. El centro de la

llama de prueba debe moverse en un plano que diste menos de 2 mm por encima del plano del borde superior de la copa, pasando en una dirección primero y en el próximo intervalo en la dirección opuesta. El tiempo consumido en pasar la llama a través de la copa será cercano a 1 seg. Durante los últimos 17°C, suba la temperatura previa al Punto de Inflamación.

5. Evite alteraciones del vapor en la copa de ensayo poniendo atención en movimientos descuidados o en aires suaves cercanos a la copa.
6. Informe el Punto de Inflamación como la temperatura leída en el termómetro, cuando aparece el destello en cualquier punto de la superficie del material, pero no confunda el verdadero destello con el halo azulado que algunas veces circunda la llama de prueba.
7. Para determinar el Punto de Combustión continúe calentando de modo que la temperatura de la muestra se eleve a una razón de 5 a 6°C por min. Continúe aplicando la llama a intervalos de 2°C hasta que el material se inflame y continúe quemándose como mínimo 5 seg. Informe la temperatura de este punto como el Punto de Combustión del material.

6.2.1.6.5. CORRECCIÓN POR PRESIÓN BAROMÉTRICA

Si la presión barométrica real durante el tiempo de ensayo es menor que 715 mm de mercurio, informe y sume la corrección apropiada al Punto de Inflamación y Punto de Combustión de acuerdo a la tabla siguiente:

Tabla 6.2_8. VALORES DE CORRECCIÓN DEL PUNTO DE INFLAMACIÓN Y PUNTO DE COMBUSTIÓN

Presión Barométrica (mm de mercurio)	Corrección (°C)
715-665	2
664-610	4
609-550	6

6.2.1.6.6. CÁLCULOS

Corrija el Punto de Inflamación o el Punto de Combustión o ambos, observados, de acuerdo con el punto 7.

Informe la corrección del Punto de Inflamación o Punto de Combustión o ambos, como el Punto de Inflamación o Combustión de la Copa Abierta de Cleveland.

6.2.1.6.7. PRECISIÓN

Use los siguientes datos para juzgar la aceptabilidad de resultados (95% confianza).

A. REPETIBILIDAD

Resultados duplicados por el mismo operador serán considerados sospechosos si difieren en más de las siguientes cantidades:

Repetibilidad

Punto Inflamación 8°C

Punto Combustión 8°C

B. REPRODUCIBILIDAD

Los resultados presentados por cada laboratorio, serán considerados sospechosos si difieren en más de las siguientes cantidades:

Reproducibilidad

Punto Inflamación 16°C

Punto Combustión 14°C

6.2.1.6.8. ANEXO

A. EQUIPOS

El ensayador abierto de Cleveland consiste en una copa de ensayo, una placa de calentamiento, un aplicador a la llama de prueba, un calentador, un termómetro con soporte y un soporte de la placa de calentamiento, todo conforme con los siguientes requerimientos:

A1. Copa de ensayo de bronce conforme a las dimensiones indicadas en la **Figura 6.2_10 Figura 2**. La copa puede estar equipada con un mango.

A2. Placa de calentamiento de bronce, fierro fundido, fierro forjado o una placa de acero con un hueco central circundando por un área de depresión plana y una plancha de cartón de asbesto dura, que cubra la placa de metal excepto el área sobre el plano de depresión en la cual la copa de ensayo se apoya. Las dimensiones esenciales de la placa de calentamiento se indican en la **Figura 6.2_10 Figura 1**. Sin embargo, ésta puede ser cuadrada en vez de circular y el metal de la placa puede tener extensiones adecuadas para apoyar el aparato de la llama de prueba y el apoyo del termómetro.

El cabezal metálico que se menciona en el párrafo A3 debe apoyarse sobre la placa de modo que se extienda ligeramente y por encima de un orificio pequeño y apropiado en el cartón de asbesto.

Nota 5: La plancha dura de cartón de asbesto que cubre la placa caliente puede sobresalir del borde de ésta para reducir corrientes de aire alrededor de la copa.

A3. Aplicador de la llama de prueba. El aparato para aplicar la llama de prueba puede ser de cualquier diseño adecuado, pero la punta debe tener un diámetro aproximado de 1,6 mm al final y el diámetro del orificio debe ser de aproximadamente de 0,8 mm. El aparato para aplicar la llama estará apoyado para permitir que se duplique el recorrido de la llama de prueba, siendo el radio de oscilación no menor que 150 mm y el centro del orificio moviéndose en un plano ubicado a una altura no mayor de 2 mm por encima del borde de la copa. Un cabezal con un diámetro de 1,3 a 5,0 mm puede colocarse en una posición conveniente sobre el aparato, de manera que el tamaño de la llama pueda ser comparado con éste.

A4. Calentador. El calentador puede ser sustituido por cualquier fuente conveniente. El uso de un quemador a gas o una lámpara a alcohol está permitido, pero bajo ninguna circunstancia debe usarse llama para productos altamente combustibles. Es preferible que el calentador lo controle un transformador de voltaje variable. La fuente de calor será centrada bajo la abertura de la placa caliente evitando calentamientos locales.

El calentador de la llama tipo debe protegerse de las corrientes de aire o excesiva radiación por cualquier tipo de protector adecuado, por encima del nivel superficial más alto del cartón asbesto.

A5. Apoyo del termómetro. Cualquier aparato conveniente puede ser usado para que mantenga el termómetro en la posición especificada durante el ensayo y permita quitarlo con facilidad de la copa una vez terminado el ensayo.

A6. Apoyo de la placa de calentamiento. Cualquier apoyo conveniente que mantenga la placa caliente, estable y nivelada.

A7. Medidor del nivel de llenado. Un aparato que ayude en la regulación exacta del nivel de la muestra en la copa. Puede hacerse con un metal adecuado con al menos un resalte, pero de preferencia dos para ajustar el nivel de la muestra en la copa de ensayo entre 9 a 10 mm por debajo del ribete superior de la copa. Estará provisto de un orificio de 0,8 mm de diámetro ubicado al centro del medidor a no más de 2 mm del fondo, que se usará para verificar la posición central del orificio del aplicador de la llama con respecto al borde de la copa. (La **Figura 6.2_10 Figura 3**, muestra una versión adecuada).

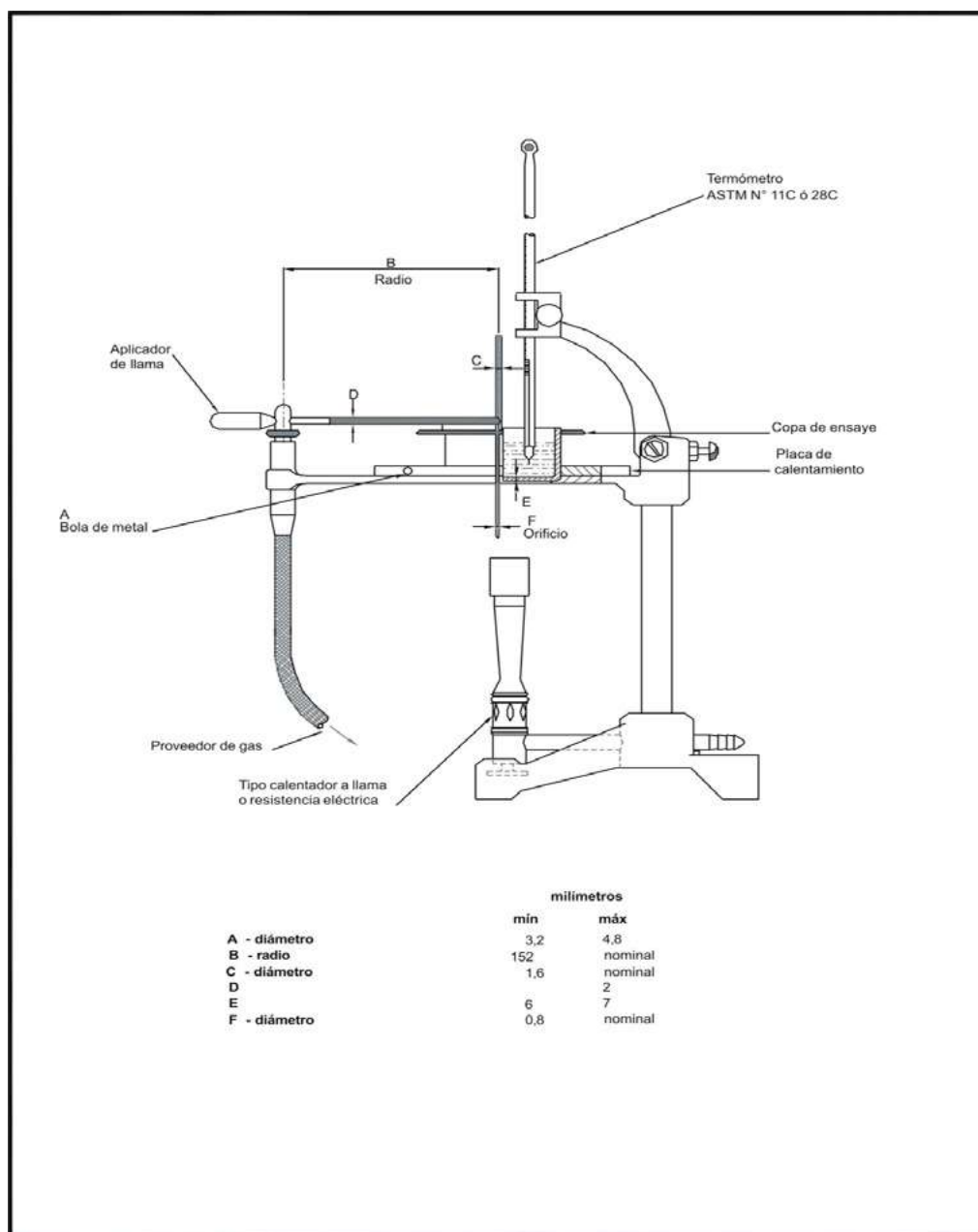
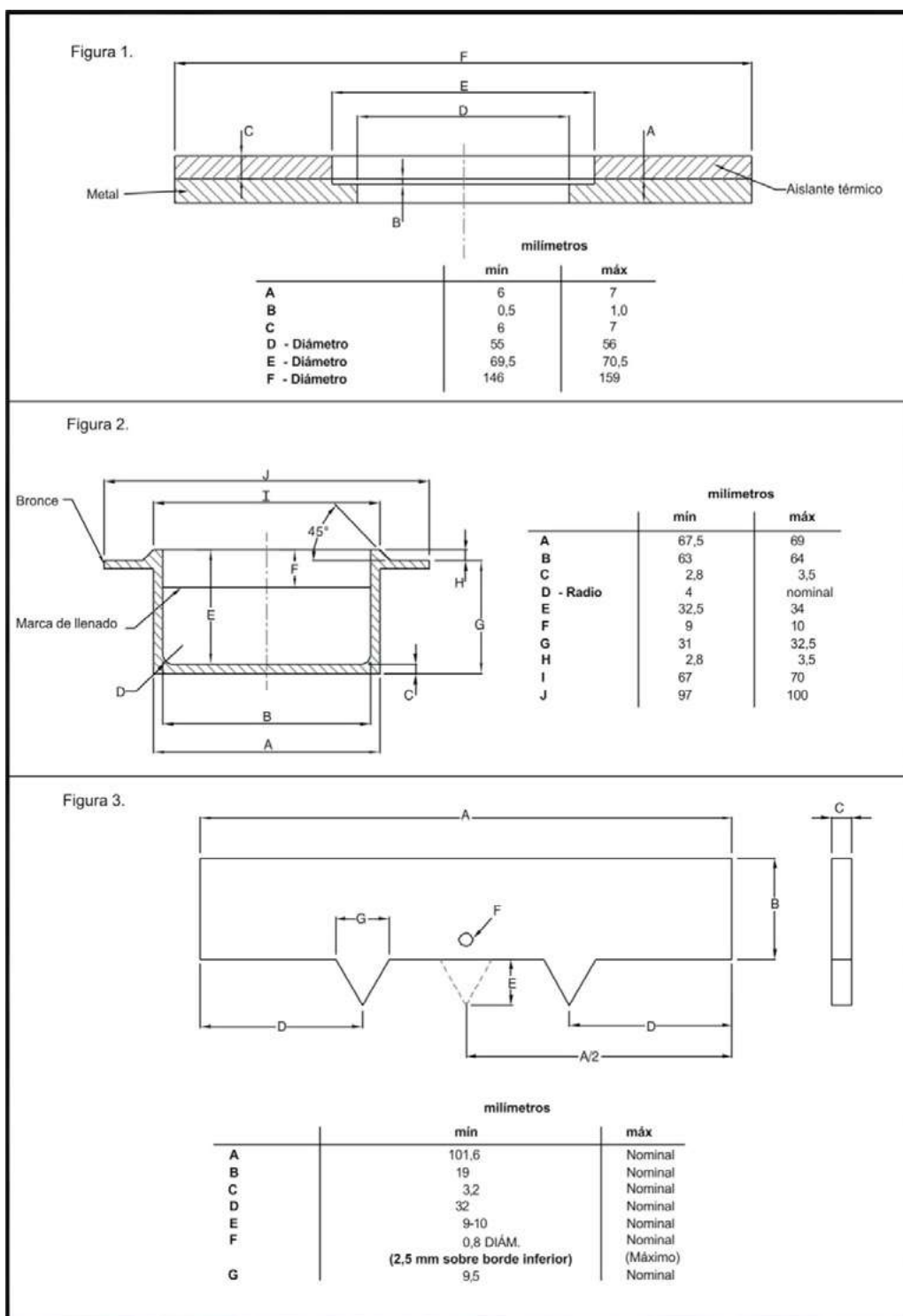


Figura 6.2_9. COPA ABIERTA DE CLEVELAND



**Figura 6.2_10. FIGURA 1- PLACA DE CALENTAMIENTO,
 FIGURA 2-COPA ABIERTA DE CLEVELAND,
 FIGURA 3-MEDIDOR DEL NIVEL DE LLENADO**

SECCION 6.2.1.7.

MÉTODO PARA DETERMINAR LA SOLUBILIDAD EN SOLVENTES ORGÁNICOS (ASTM D 2042 AASHTO T44-97)

6.2.1.7.1. OBJETO

Este método de ensayo se aplica para determinar el grado de solubilidad en solventes orgánicos de materiales bituminosos usados en caminos, tales como alquitrán y Asfalto de petróleo, tengan o no una pequeña cantidad de materia mineral. También se incluye el procedimiento para calcular la proporción de ligante asfáltico en tetracloruro de carbono.

6.2.1.7.2. EQUIPOS Y MATERIALES

1. Filtrado

Es conveniente filtrar al vacío con el crisol Gooch, tal como muestra la **Figura 6.2_11** y cuyos componentes son:

- a) Frasco de pared gruesa, de unos 250 ml o más de capacidad (Erlen meyer).
- b) Tubo filtrador de 40 a 42 mm de diámetro interno.
- c) Manguera o adaptador para sostener el crisol Gooch sobre el tubo filtrador.

2. Crisol Gooch

Vidriado interior y exteriormente, con excepción de la superficie del fondo. Las dimensiones aproximadas deben ser: diámetro de 45 mm en la superficie y 35 mm en el fondo y una profundidad de 30 mm.

3. Soporte de fibra de vidrio

De 32, 35 ó 37 mm de diámetro.

Nota 1: Se pueden utilizar filtros de discos de fibra de vidrio en lugar de fibras de asbesto, si se demuestra que son satisfactorios.

4. Balanza analítica

Clase A conforme a AASHTO M 231.

5. Desecador

De tamaño adecuado, cargado con un desecante efectivo, tal como el Cloruro de Calcio.

6. Horno

Capaz de mantener la temperatura a $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

7. Solventes

Utilice un solvente especificado. Son solventes adecuados para usar en este método los siguientes:

- a) Tricloroetileno (C₂ HCl₃) Grado reactivo p.a. Este solvente no es inflamable, se aplica al asfalto del petróleo como un sustituto del tetracloruro de carbono para determinar el grado de solubilidad, pero no es aplicable a alquitranes o productos del petróleo altamente craqueados. Es menos tóxico que el tetracloruro de carbono.
- b) Tricloroetano (CH₃ CCl₃) Grado reactivo

6.2.1.7.3. CONDICIONES GENERALES

8. Medidas de Seguridad

Todos los solventes orgánicos son tóxicos en algún grado, por lo que se debe estar provisto de muy buena ventilación en todos los casos. El tetracloruro y el tricloroetano en presencia de calor forman ácidos altamente corrosivos.

9. Preparación del Crisol Gooch

Agite totalmente una porción de fibra de vidrio en agua destilada de modo de formar una película en suspensión en la cual las fibras estén dispersas.

10. Ensamble el aparato de filtrado como se indica en Figura 6.2_ 11.

Llene el crisol con parte de la suspensión de fibra en agua y permita que sedimente en el crisol.

Aplique una leve succión para sacar el agua, dejando una pequeña capa de fibra en el fondo del crisol, agregue más fibra suspendida y repita el proceso hasta que la capa lograda pese $0,5 \pm 0,1$ g (Nota 2) después de la ignición (inflamación). Lave la capa de fibra totalmente con agua y seque en un horno o en una mufla entre 600 a 650°C. Enfríe el crisol en un desecador y pese aproximando a 0,1 mg; repita la ignición y enfríe hasta que se obtenga masa constante ($\pm 0,3$ mg), guarde en un desecador hasta que esté listo para ser usado.

11. Temperatura del Ensayo

Normalmente, la temperatura a la que se realiza el ensayo no es crítica; puede realizarse a temperatura ambiente de la sala. Sin embargo, para ensayos de arbitraje, el frasco y la muestra en solución deben colocarse en un baño de agua mantenido a $38 \pm 0,5^\circ\text{C}$ por una hora antes de filtrar.

6.2.1.7.4. PROCEDIMIENTO

- a. **Tenga en cuenta las medidas de precaución indicadas en numeral 8.** Transfiera aproximadamente 2g de la muestra en una Matriz Erlenmeyer de 125 ml tarado, u otro recipiente adecuado; pese con precisión aproximando al mg y agregue 100 ml del solvente especificado al recipiente en porciones pequeñas. Agite continuamente hasta que los grumos desaparezcan y no queden partículas de la muestra no disueltas adheridas al recipiente. Tape el frasco o cubra el recipiente y deje reposar al menos 15 min.
- b. **Coloque lo preparado anteriormente en el tubo de filtro y pese el crisol Gooch.** Humedezca la capa de fibra con una pequeña porción de solvente limpio y decante la solución a través de la capa de asbesto en el crisol, con o sin una leve succión, si es necesaria. Cuando la materia insoluble es apreciable, retenga tanto como sea posible en el reci-

piente hasta que la solución drene a través de la capa, lave el recipiente con una pequeña cantidad de solvente y con un chorro de éste, desde la botella de lavado, transfiera todo el material insoluble al crisol. Use una varilla si es necesario para remover cualquier materia insoluble adherida a las paredes, lave la varilla y el recipiente totalmente, lave la materia insoluble en el crisol con solvente hasta que el filtrado realmente sea incoloro, entonces aplique una fuerte succión para sacar el solvente remanente. Saque el crisol del frasco, lave el fondo libre de cualquier material disuelto y coloque el crisol en la parte superior de un horno o en un baño de vapor hasta que todo olor de solvente haya desaparecido.

- c. Colóquelo en un horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ por lo menos durante 20 min; enfríelo en un desecador y pese. Repita el secado y pesado, hasta obtener masa constante ($\pm 0,3$ mg). (Nota 2). Excepto para ensayos de arbitraje, pueden emplearse crisoles usados.

Nota 2: En orden a obtener resultados precisos cuando se usen materiales de asbesto, el tiempo de enfriamiento en el desecador debe ser aproximadamente el mismo, dentro de ± 5 min, después del calentamiento. Por ejemplo, si un crisol vacío se pesa después de 30 min de enfriado en el desecador, el crisol conteniendo material insoluble debe ser pesado después de 30 ± 5 min. de enfriado en el desecador. Crisoles vacíos o conteniendo material insoluble que han permanecido toda una noche en el desecador, deben recalentarse en un horno por lo menos 30 min, entonces se enfriará antes de pesarlo.

6.2.1.7.5. CÁLCULOS

Calcule, ya sea el porcentaje total de materia insoluble o el porcentaje de materia soluble en el solvente como sigue:

$$\text{Insoluble, \%} = \frac{A}{B} \times 100$$
$$\text{Soluble, \%} = 100 - \left(\frac{A}{B} \times 100 \right)$$

Donde:

A: Peso total insoluble (mg)

B: Peso total de la muestra (mg)

Para porcentajes de insolubles < que 1,0 informe aproximando al 0,01%; para porcentajes de insolubles de 1 o más informe aproximando al 0,1%.

6.2.1.7.6. PRECISIÓN

Para este procedimiento, la estimación de la desviación normal (Sp) y criterio para juzgar la aceptación de resultados con un nivel de confianza del 95%, son los siguientes:

	Variaciones entre laboratorios		Variaciones dentro de Laboratorio	
	Desviación Normal Sp	Repetibilidad	Desviación Normal Sp	Reproducibilidad
Asfalto, solubilidad mayor que 99% (aplicable cuando se usa Tricloroetileno y/o tricloroetano)	0,035	0,10	0,090	0,26

Las estimaciones de desviación normal están basadas en lo siguiente:

	Asfalto
Materiales	4
Duplicado	3
Solventes	4
Laboratorios	26
Grados de Libertad	
Variaciones dentro del laboratorio	159
Variaciones entre laboratorios	81
Desviación dentro del laboratorio	
Variación dentro de laboratorio	0,035
Variación entre laboratorios	0,090

Las desviaciones normales mostradas (Sp) representan la desviación normal tomada de las mediciones del proceso para las condiciones establecidas; se calcula multiplicando la desviación normal de los datos aplicables por el factor:

$$1 + \frac{1}{4(N - 1)}$$

Donde:

N: Número de ensayos en el set de datos.

Dos resultados obtenidos por un operador en la misma muestra, deben ser considerados sospechosos si difieren en más de las cantidades indicadas.

Dos resultados obtenidos por operadores en diferentes laboratorios, deben ser considerados sospechosos si difieren en más de las cantidades indicadas.

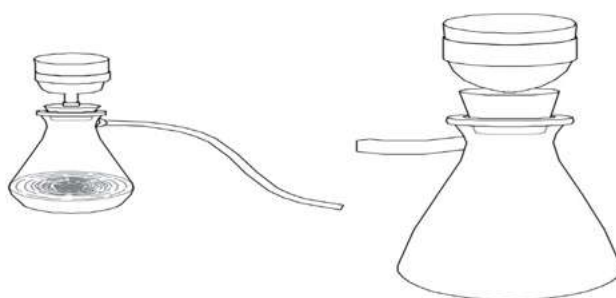


Figura 6.2_11. APARATO DE FILTRACIÓN

SECCION 6.2.1.8.

MÉTODO PARA DETERMINAR LA VISCOSIDAD CINEMÁTICA (ASTM D 2170 AASHTO T201-01)

6.2.1.8.1. OBJETO

Este método abarca los procedimientos para determinar la viscosidad cinemática de asfaltos líquidos, aceites de caminos y residuos destilados de asfaltos líquidos, todos a 60°C, y de cementos asfálticos a 135°C, en el rango de 30 a 100.000 cSt (Nota 1).

Los resultados de este método pueden usarse para calcular la Viscosidad Absoluta en poise o centipoise cuando la densidad del material a la temperatura de ensayo es conocida o puede determinarse.

$$\text{Viscosidad Cinemática} = \frac{\text{Viscosidad absoluta}}{\text{Densidad}}$$

Nota 1: Este método es apropiado para ser usado a otras temperaturas, pero la precisión está basada solamente en la determinación en asfaltos cortados y aceites de caminos a 60 °C y cementos asfálticos a 135°C en el rango de viscosidad de 30 a 6.000 cSt.

6.2.1.8.2. DEFINICIONES

A.VISCOSIDAD CINEMÁTICA

γ Para un flujo por gravedad dado por una carga hidrostática, la presión de carga hidrostática de un líquido es proporcional a su densidad. Para un viscosímetro en particular, el tiempo de flujo para un volumen fijo de líquido es directamente proporcional a su viscosidad cinemática M/ρ , donde M es el coeficiente de viscosidad. La unidad CGS de viscosidad cinemática es 1 cm²/seg llamada Stokes (1 St).

La unidad SI de viscosidad cinemática es 1 m²/seg y es equivalente a; 10⁴ St. comúnmente, se usa el centistokes (1cSt = 10⁻² St.).

B.DENSIDAD

Masa por unidad de volumen del líquido. La unidad CGS de densidad es g/cm³ y la unidad SI de densidad es kg /m³.

C.VISCOSIDAD

Se denomina coeficiente de viscosidad a la razón entre el esfuerzo de corte aplicado y el grado de corte. Este coeficiente es una medida de la resistencia del líquido a fluir; comúnmente se llama viscosidad del líquido. La unidad de viscosidad en el sistema CGS es 1 g/cm • seg (1dina • seg/cm²) y se llama poise (P); la unidad SI de viscosidad es Pa • s (N • seg /m²) y es equivalente a 10 P; comúnmente se usa el centipoise (1 cP = 10⁻² P).

6.2.1.8.3. EQUIPOS Y MATERIALES

A. VISCOSÍMETROS

Del tipo capilar, de vidrio borosilicato templado; los apropiados para este ensayo se describen en el Anexo 2 y se incluyen, entre otros, los siguientes:

- a) Cannon - Fenske, para líquidos opacos
- b) Zeitfuchs Cross - Arm
- c) Lantz - Zeitfuchs
- d) BSU - Tubo viscosímetro modificado de flujo reverso

En el Anexo A3 se entregan algunos detalles para calibrar los viscosímetros.

B. TERMÓMETROS

Conforme a los requisitos para termómetros 47C y 110C respectivamente, según ASTM E1.

Deben tener un rango entre 58,5°C a 61,5°C y de 133,5°C a 136,5°C. Otro tipo de termómetros pueden utilizarse siempre que tengan una precisión, sensibilidad y seguridad igual o mayor que las prescritas en ASTM E 1.

Nota 2: Los Termómetros ASTM 47 y 110C están normalizados a “inmersión total”, lo cual significa inmersión del tope de la columna de mercurio, con el resto del vástago y la cámara de expansión en el tope del termómetro expuesto a la temperatura de la sala. La práctica de la inmersión completa del termómetro no se recomienda; cuando un termómetro está completamente sumergido las correcciones, para cada termómetro individual basada en la calibración bajo condiciones de completa inmersión, deben ser determinadas y aplicadas.

Si el termómetro está completamente sumergido en el baño durante su uso, la presión del gas en la cámara de expansión puede ser más alta o más baja que durante la normalización y puede causar lecturas alta o bajas en el termómetro.

Nota 3: Información acerca de técnicas de calibración propias de termómetros, se dan en ASTM E 1 y **Método E 77**.

C. BAÑO

Un baño adecuado para sumergir el viscosímetro tal que el líquido del estanque o la parte superior del capilar, cualquiera que esté más alto, esté a lo menos 20 mm bajo el nivel superior del baño, siendo visible el viscosímetro y el termómetro. Debe estar provisto de apoyos firmes para los viscosímetros o el viscosímetro puede ser parte integral del baño. La eficiencia del escurrimiento y el balance entre entrega y pérdida de calor debe ser tal que la temperatura media del baño no debe variar en más de $\pm 0,1^\circ\text{C}$ a lo largo del viscosímetro o entre viscosímetros ubicados en distintas partes del baño.

Nota 4: El agua destilada es un líquido apropiado para el baño, para determinaciones a 60°C. Los aceites transparentes con un punto de inflamación sobre 215°C son adecuados para determinaciones a 135°C. El punto de inflamación se determina según **Sección 6.2.1.6**.

D. CRONÓMETROS

Un cronómetro u otro medidor de tiempo activado por algún medio debidamente graduado en divisiones de 0,1 seg o menor y una seguridad entre un 0,05% cuando se ensaye sobre intervalos no menores que 15 min.

E. CRONÓMETRO ELÉCTRICO

Puede usarse sólo en circuitos eléctricos cuyas frecuencias son controladas con una precisión de 0,05% o mejor.

Nota 5: Cuando se usan cronómetros eléctricos, la corriente alterna, cuya frecuencia es intermitente y no controlada continuamente, como la que abastece los sistemas públicos, pueden causar grandes errores, particularmente sobre intervalos cortos.

6.2.1.8.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Para minimizar la pérdida de constituyentes volátiles y obtener resultados reproducibles, proceda como sigue:

A. PROCEDIMIENTOS PARA ASFALTOS CORTADOS Y ACEITES DE CAMINOS

- a) Para alcanzar la temperatura de la sala, son apropiadas las muestras en contenedores sellados.
- b) Abra el contenedor con la muestra y mezcle totalmente por agitación por 30 seg, teniendo cuidado para evitar la entrada de aire. Si la muestra está demasiado viscosa para su agitación, colóquela dentro del contenedor sellado en un baño u horno mantenido a $63 \pm 3^{\circ}\text{C}$, hasta que esté suficientemente líquida para agitarla.
- c) Inmediatamente cargue el viscosímetro o, si el ensayo se va a realizar más tarde, vacíe aproximadamente 20 ml en uno o más contenedores limpios de capacidad 30 ml e inmediatamente selle herméticamente.
- d) Para materiales con viscosidad a 60°C sobre 800 cSt, caliente los 20 ml de muestra en el contenedor sellado en un horno o baño mantenido a $63 \pm 3^{\circ}\text{C}$, hasta que esté suficientemente líquido para transferirlo en forma adecuada al viscosímetro; este calentamiento no debe exceder de 30 min.

B. PROCEDIMIENTO PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS

- a) Caliente la muestra con cuidado para prevenir sobrecalentamientos locales hasta que llegue a estar suficientemente fluida para vaciarla; ocasionalmente agitar la muestra para ayudar a la transferencia de calor y asegurar uniformidad.
- b) Transfiera un mínimo de 20 ml en un contenedor adecuado y caliente a $135 \pm 5^{\circ}\text{C}$; agitando ocasionalmente para prevenir sobrecalentamientos locales, teniendo cuidado que no entre aire al interior de la muestra.

6.2.1.8.5. PROCEDIMIENTO

1. Los detalles específicos de las operaciones varían según los distintos tipos de viscosímetros. Sin embargo, en todo caso, siga el procedimiento general descrito del 11 al 17.
2. Mantenga el baño a la temperatura de ensayo dentro de un rango de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Si es necesario haga las correcciones a las lecturas del termómetro.
3. Seleccione un viscosímetro limpio y seco, que dé un tiempo de flujo mayor que 60 seg, y precaliente a la temperatura de ensayo.

4. Cargue el viscosímetro en la forma indicada para el tipo de diseño del viscosímetro, como se describe en el Anexo A2.
5. Deje que el viscosímetro cargado permanezca en el baño el tiempo suficiente para alcanzar la temperatura de ensayo, como se describe en el Anexo A2.
6. Inicie el flujo de asfalto en el viscosímetro, como se describe en el Anexo A2.
7. Mida aproximando a 0,1 seg el tiempo requerido para que el borde del menisco pase de la primera marca de tiempo a la segunda. Si el tiempo de flujo es menor de 60 seg, seleccione un viscosímetro con un diámetro capilar menor y repita la operación.
8. Al finalizar el ensayo, limpie el viscosímetro prolijamente mediante varios lavados con un solvente apropiado que sea completamente miscible con la muestra y luego, mediante lavados con un solvente completamente volátil. Seque el tubo, haciendo pasar en forma lenta una corriente de aire seco y filtrado a través del capilar durante 2 min. o hasta que la última traza de solvente sea removida. Periódicamente limpie el viscosímetro con ácido crómico, para remover depósitos orgánicos; lave prolijamente con agua destilada y acetona libre de residuo y seque con aire seco filtrado.

6.2.1.8.6. CÁLCULOS

Calcule la viscosidad cinemática, con tres cifras significativas, usando la siguiente ecuación.

$$\text{Viscosidad Cinemática (cSt)} = C \cdot t$$

Donde:

C: Constante de calibración del viscosímetro (cSt/seg).

t: Tiempo de flujo (seg).

Nota 6: Otras publicaciones ASTM sobre viscosidad que pueden usarse en conjunto con los resultados determinados de acuerdo con este método son ASTM D 445, ASTM 2493 y también puede emplearse la **Sección 6.2.3.14.**

6.2.1.8.7. PRECISIÓN

Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados del ensayo de viscosidad obtenida por este método están dados en la **Tabla 6.2_9.**

Tabla 6.2_9. ACEPTABILIDAD DE RESULTADOS DE ENSAYO PARA VISCOSIDAD CINEMÁTICA

Listado de materiales y modelos	Coefficiente de variación (% de media)	Rango aceptable de los resultados (% de media)
Precisión de operador único:		
Cementos asfálticos a 135°C	0,64	1,8
Asfaltos líquidos a 60°C		
Bajo 3.000 cSt.	0,53	1,5
3.000 a 6.000 cSt.	0,71	2

Superior a 6.000 cSt.	3,2	8,9
Precisión entre múltiples		
Laboratorios: Cementos Asfálticos a 135°C	3,1	8,8
Asfaltos líquidos a 60°C	1,06	3
Bajo 3.000 cSt.	3,11	9
3.000 a 6.000 sSt	3,6	10
Sobre 6.000 cSt		

Nota 7: Los valores dados en la columna 2 son los coeficientes de variación que han sido encontrados apropiados para los materiales y condiciones de ensayo descritos en columna 1. Los valores dados en la columna 3 son los límites que no se deben exceder entre resultados diferentes de dos ensayos correctamente dirigidos.

6.2.1.8.8. INFORME

Informe siempre con el resultado, la temperatura de ensayo, por ejemplo:

Viscosidad cinemática a 60° C = 75 cSt

6.2.1.8.9. ANEXOS

A1. CÁLCULO DE VISCOSIDAD DE UN LÍQUIDO NEWTONIANO

- A1.1. La viscosidad de un líquido Newtoniano se calcula a partir de la viscosidad cinemática, multiplicándola por la densidad del líquido a la temperatura de ensayo.
- A1.2. Para asfaltos de pavimentos, la densidad a 135 °C puede determinarse convenientemente según **Sección 6.2.1.2**, a 25°C, multiplicándola por un factor de 0,934 g/cm³ o a 15,5°C, multiplicándola por un factor de 0,931 g/cm³. Estos factores están basados en un promedio del coeficiente de expansión del asfalto de 0,00061 / °C.
- A1.3. Cuando no se conoce la densidad del asfalto, se puede obtener una determinación satisfactoria de la viscosidad a 135°C, multiplicando la viscosidad cinemática a 135°C por una densidad asumida de 0,948 g/cm³. Este valor de densidad es equivalente al de 1,015 a 25°C. Ensayos en un gran número de asfaltos indican que el error producido por la densidad asumida no excede en un ± 3%.

A2.VISCOSÍMETRO DE FLUJO REVERSO

- A.2.1. El viscosímetro de flujo reverso para líquidos transparentes y opacos, incluye los viscosímetros Cannon Fenske Opaque, Zeitfuchs Cross - Arm, BS/IP/RF y Lantz Zeitfuchs. A diferencia de los viscosímetros Ostwald modificado y nivel - suspendido, la muestra de líquido fluye a través del bulbo donde se registra el tiempo, sin ser humedecido previamente por la muestra, esto permite registrar el tiempo de líquidos opacos. Los viscosímetros de flujo reverso se usan para medir la viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos hasta de 100.000 cSt.

A2.2 Aparatos:

Las **Figuras 6.2_12, 6.2_13, 6.2_14 y 6.2_15**, muestran los viscosímetros de flujo reverso: detalles de medidas, constante aproximada, rango de viscosidad cinemática, diámetro del capilar y volúmenes de bulbo para cada viscosímetro. El rango de viscosidad cinemática está basado en un tiempo de flujo mínimo de 60 seg por este método; los mismos viscosímetros están también descritos en ASTM D 2515 con rangos diferentes de viscosidad basado en un tiempo de flujo mínimo de 200 seg como se prescribe en ASTM D 445.

A.2.3. INSTRUCCIONES DE OPERACIÓN

A.2.3.1. En los numerales 1 a 8 se incluye un procedimiento de operación normal. Instrucciones de operación adicionales para los viscosímetros de flujo reverso se describen en A.2.3.2 a A.2.3.7, con énfasis en que estos procedimientos son específicos para un instrumento o grupo de instrumentos en particular.

A.2.3.2. Seleccione un viscosímetro limpio y seco que dé un tiempo de flujo mayor que 60 seg.

A.2.3.3. Cargue el viscosímetro en la forma indicada por el diseño del instrumento; esta operación deberá estar en conformidad con la que se empleó cuando se calibró el instrumento. Si la muestra contiene limo, partículas sólidas, etc., filtre como se prescribe en ASTM D 445.

A.2.3.3.1. Para cargar el viscosímetro Cannon Fenske Opaque, invierta el viscosímetro y aplique succión al tubo L, sumergiendo el tubo N en la muestra líquida llenando el bulbo D hasta llegar a la marca G. Limpie el exceso de muestra del tubo N e invierta el viscosímetro a su posición normal. Monte el viscosímetro en el baño a temperatura constante, manteniendo el tubo L vertical. Cuando la muestra recorra a través de R y llene el bulbo A, aproximadamente hasta el medio, retenga el flujo colocando un tapón en el tubo L. (Ver Figura 6.2_12).

A.2.3.3.2. Monte el viscosímetro Zeitfuchs Cross Arm en el baño a temperatura constante, manteniendo el tubo N vertical. Introduzca suficiente muestra a través del tubo N, teniendo cuidado de no mojar las paredes de éste en el brazo cruz D, hasta que el nivel permanezca entre 0,5 mm de la marca de llenado G en el tubo sifón. (Ver Figura 6.2_13).

A.2.3.3.3. Monte el viscosímetro Lantz Zeitfuchs en el baño a temperatura constante, manteniendo el tubo N vertical. Introduzca suficiente muestra a través del tubo N para llenar completamente el bulbo D, inundando ligeramente hacia el interior del derrame del bulbo K. Si la muestra es vaciada a temperatura superior a la temperatura de ensayo, espere 15 min para que la muestra en el viscosímetro alcance la temperatura del baño y agregue más muestra para derramar lentamente al interior del bulbo K. Este período de 15 min es aparte y no se adiciona al tiempo de equilibrio de A.2.3.4. (Ver Figura 6.2_14).

A.2.3.3.4. Monte el viscosímetro BS/IP/RF en el baño a temperatura constante manteniendo el tubo L vertical. Vacíe la muestra a través del tubo N a un punto justo sobre la marca de llenado G. Deje que la muestra fluya libremente a través del capilar R, teniendo cuidado que la columna de líquido permanezca completa, hasta que la parte inferior del menisco esté cerca de 5 mm bajo la marca de llenado H y entonces detenga el flujo cerrando el tubo L con un corcho o tapón de goma. Agregue más líquido, si es necesario, para conducir la parte superior del menisco ligeramente sobre la marca G. Después, dejando que la muestra alcance la temperatura del baño y ninguna burbuja de aire alcance la superficie, suavemente quite el corcho, permi-

tiendo que la muestra fluya a la parte inferior de la marca de llenado H y entonces detenga el flujo. Remueva el exceso de muestra sobre la marca de llenado G, insertando una pipeta especial hasta su corcho apoyado en el tope del tubo N. Aplique succión suave hasta que el aire sea arrastrado a través de él. La parte superior del menisco debe coincidir con la marca G. **(Ver Figura 6.2_ 15).**

- A.2.3.4.** Deje que el viscosímetro permanezca en el baño a temperatura constante el tiempo suficiente para asegurarse que la muestra alcance la temperatura de equilibrio (cerca de 20 min a 38°C, 25 min. a 99°C y 30 min. a 135°C).
- A.2.3.5.** Para los viscosímetros Cannon Fenske Opaque y BS/IP/RF, remueva el tapón en el tubo L y deje que la muestra fluya por gravedad. Para Viscosímetros Zeitfuchs Cross Arm, aplique un leve vacío al tubo M (o presión al tubo N) para causar que el menisco se mueva a través del tubo sifón y cerca de 30 min bajo el nivel del tubo D en capilar R; así se inicia el flujo por gravedad. Para el viscosímetro Lentz Zeitfuchs, aplique un leve vacío al tubo M (o presión al tubo N con el tubo K cerrado) hasta que la parte baja del menisco esté opuesto a la marca baja de tiempo E, deje que la muestra fluya por gravedad.
- A.2.3.6.** Mida aproximando a 0,1 seg el tiempo requerido para que el borde del menisco pase desde la marca de tiempo E a la marca de tiempo F como se describe en extracción y preparación de la muestra.
- A.2.3.7.** Calcule la viscosidad como se describe en el Procedimiento.

A.3.CALIBRACIÓN DE VISCOSÍMETROS

A.3.1. Alcances.

Este apéndice describe los materiales y procedimientos usados para calibración o comprobación de calibración de viscosímetros usados en este método.

A.3.2. Materiales de referencia

- A.3.2.1** Viscosidad de Aceites Normales conforme a viscosidades de aceites normales ASTM que tengan la viscosidad cinemática aproximada mostrada en **Tabla 6.2_ 10**. Los valores certificados de viscosidad cinemática establecida son suministrados con cada muestra

Tabla 6.2_10. VISCOSIDAD DE ACEITES NORMALES

Viscosidad de aceites normales conforme a ASTM	Viscosidad cinemática aproximada		
	A 37°C	A 50°C	A 99°C
S 60	60	-	
S 200	200	-	
S 600	600	280	32
S 2.000	2.000	-	
S 8.000	8.000	-	
S 30.000	27.000	11.000	

A3.3 Calibración

- A.3.3.1.** Calibración de Viscosímetros habituales mediante Viscosidad de Líquidos Normales. Seleccione desde la **Tabla 6.2_ 10** un líquido normal que tenga un tiempo de flujo mínimo de 200 seg. a la temperatura de calibración (preferentemente a 37,8°C). De-

termine el tiempo de flujo aproximando a 0,1 seg mediante el procedimiento descrito y calcule la constante del viscosímetro C, como sigue:

$$C = \frac{V}{t}$$

Donde:

V: Viscosidad para el líquido normal (cSt).

t : Tiempo de flujo (seg).

A.3.3.2. La constante del viscosímetro es independiente de la temperatura para los viscosímetros tipo Zeitfuchs Cross - Arm, Lantz - Zeitfuchs y tubos UBS/IP/RF.

A.3.3.3. El viscosímetro Cannon-Fenske Opaque tiene un volumen fijo de muestra carga de la temperatura de llenado. Si la temperatura de ensayo difiere de la temperatura de llenado, la constante del viscosímetro se calcula como sigue:

$$C = C_v [1 + F(T_e - T_{II})]$$

Donde:

C: Constante del viscosímetro cuando se llena y ensaya a la misma temperatura.

T: Temperatura.

F: Factor de temperatura dependiente (ver A 3.3.4).

Subíndices e, II: Valores de la temperatura de ensayo y temperatura de llenado, respectivamente.

A.3.3.4. Cálculo de la constante de temperatura dependiente mediante la siguiente ecuación:

$$Factor, F = \frac{4 \cdot \alpha \cdot V}{\pi \cdot d^2 \cdot h} = \frac{4 \cdot \alpha \cdot V \cdot (\rho_{II} - \rho_e)}{\pi \cdot d^2 \cdot h \cdot (T_e \cdot T_{II})}$$

Donde:

V: Volumen de carga (cm³).

d: Diámetro promedio (cm) del menisco en la parte superior del depósito.

h: Promedio de la diferencia de nivel impulsadora (cm).

a: Coeficiente de expansión térmica de la muestra de ensayo entre la temperatura de llenado y la temperatura de ensayo.

p: Densidad (g/cm³).

Subíndices e y II: valores de ensayo y de llenado respectivamente

A.3.3.5. Si el viscosímetro se usa en otra ubicación que la de calibración del laboratorio, la constante C será corregida por la diferencia en la aceleración de gravedad (g), de las dos localidades como sigue:

$$C_2 = \frac{g_2}{g_1} C_1$$

Donde:

- C2: Constante de calibración en el laboratorio de ensayo.
- C1: Constante de calibración en el laboratorio de calibración.
- g2: La aceleración de gravedad en el laboratorio de ensayo.
- g1: La aceleración de gravedad en el laboratorio de calibración.

Los certificados para viscosímetros expresarán el valor de g en la ubicación del laboratorio de calibración. Fallas en corregir por gravedad pueden resultar en errores del 0,2%.

A.3.3.6. Calibración de viscosímetros habituales por medio de viscosímetros normales.

- Seleccione cualquier aceite de petróleo que tenga un tiempo de flujo de al menos 200 seg.
- Seleccione también un viscosímetro normal de constante conocida, C. El viscosímetro puede ser un viscosímetro patrón, el cual ha sido calibrado por el procedimiento "subir", usando viscosímetros de diámetros sucesivamente mayores, partiendo con agua destilada como la viscosidad básica normal o un viscosímetro habitual del mismo tipo que ha sido calibrado por comparación con el viscosímetro patrón.

A.3.3.6.1. Monte el viscosímetro normal, junto con el viscosímetro a ser calibrado, en el mismo baño y determine los tiempos de flujo del aceite por medio del procedimiento descrito en 16.

A.3.3.6.2. Calcule la constante C como sigue:

$$C_1 = \frac{T_2 \times C_2}{T_1}$$

Donde:

- C1: Constante C del viscosímetro habitual.
- t1: Tiempo de flujo aproximado a 0,1 seg en el viscosímetro habitual.
- C2: Constante C del viscosímetro normal.
- t2: Tiempo de flujo aproximado a 0,1 seg en el viscosímetro normal.

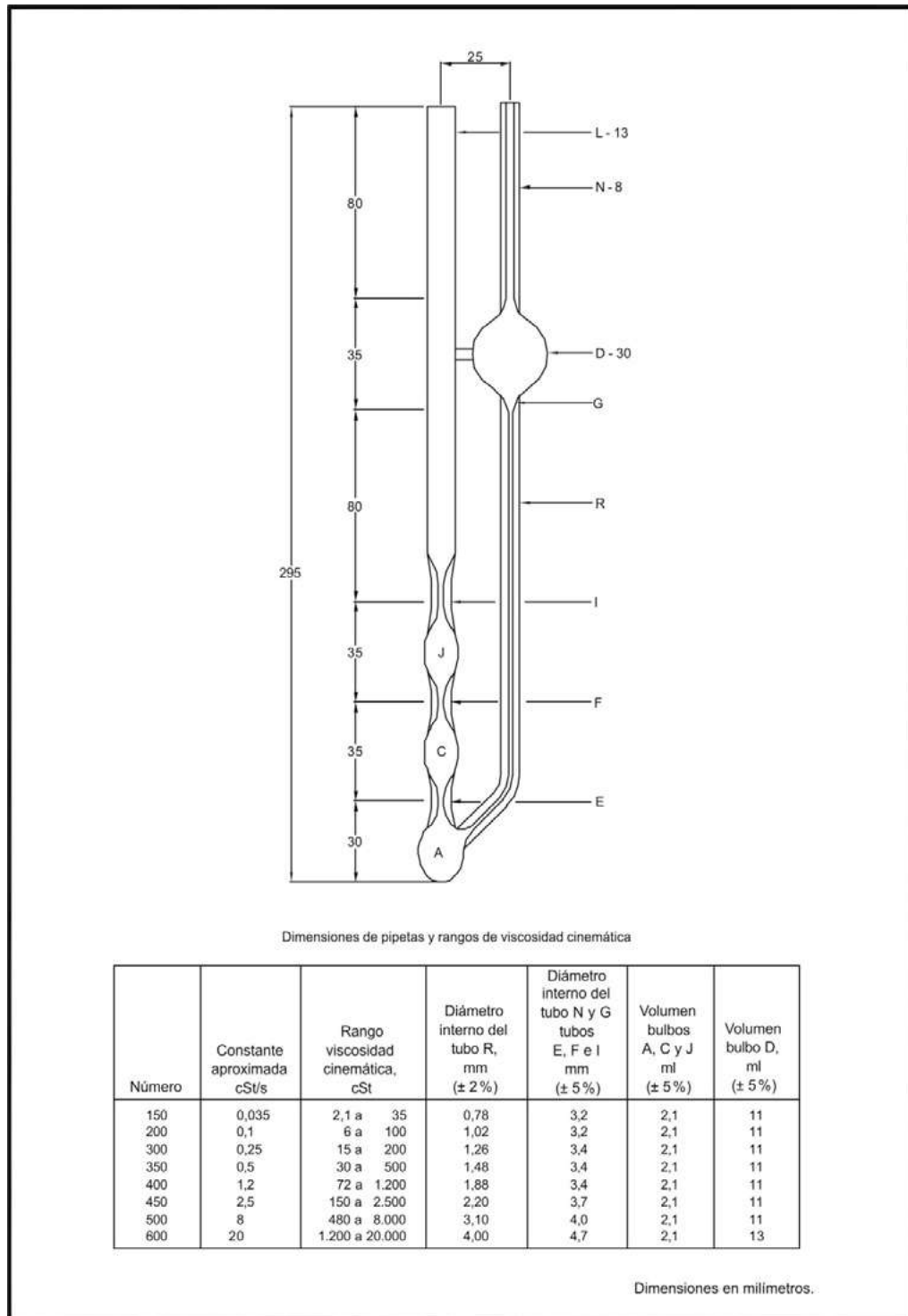


Figura 6.2_12. CANNON FENSKE OPAQUE VISCOSÍMETRO PARA LÍQUIDOS OPACOS Y TRANSPARENTES

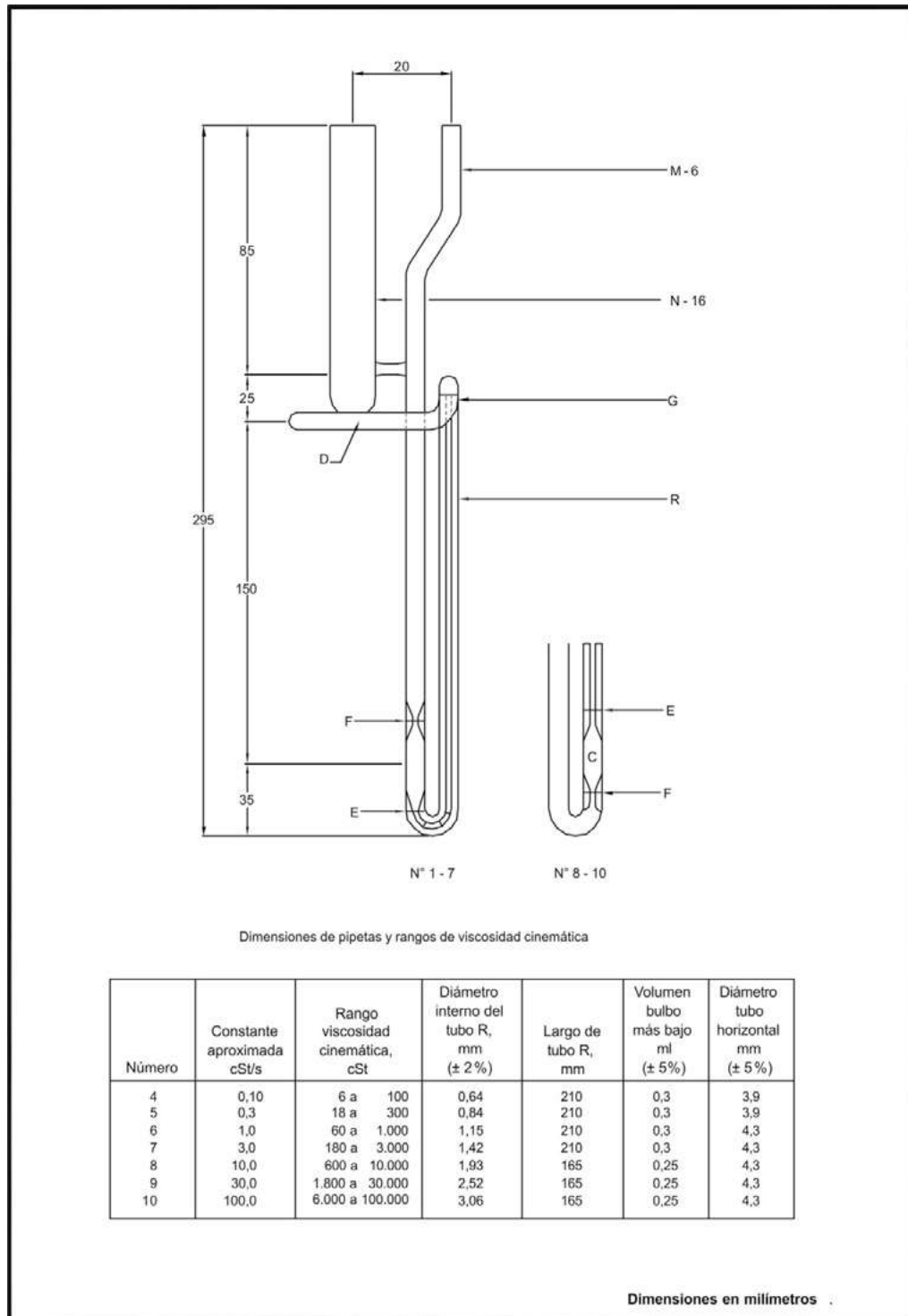


Figura 6.2_13. ZEIFUCHS CROSS-ARM VISCOSÍMETRO PARA LÍQUIDOS OPACOS Y TRANSPARENTES

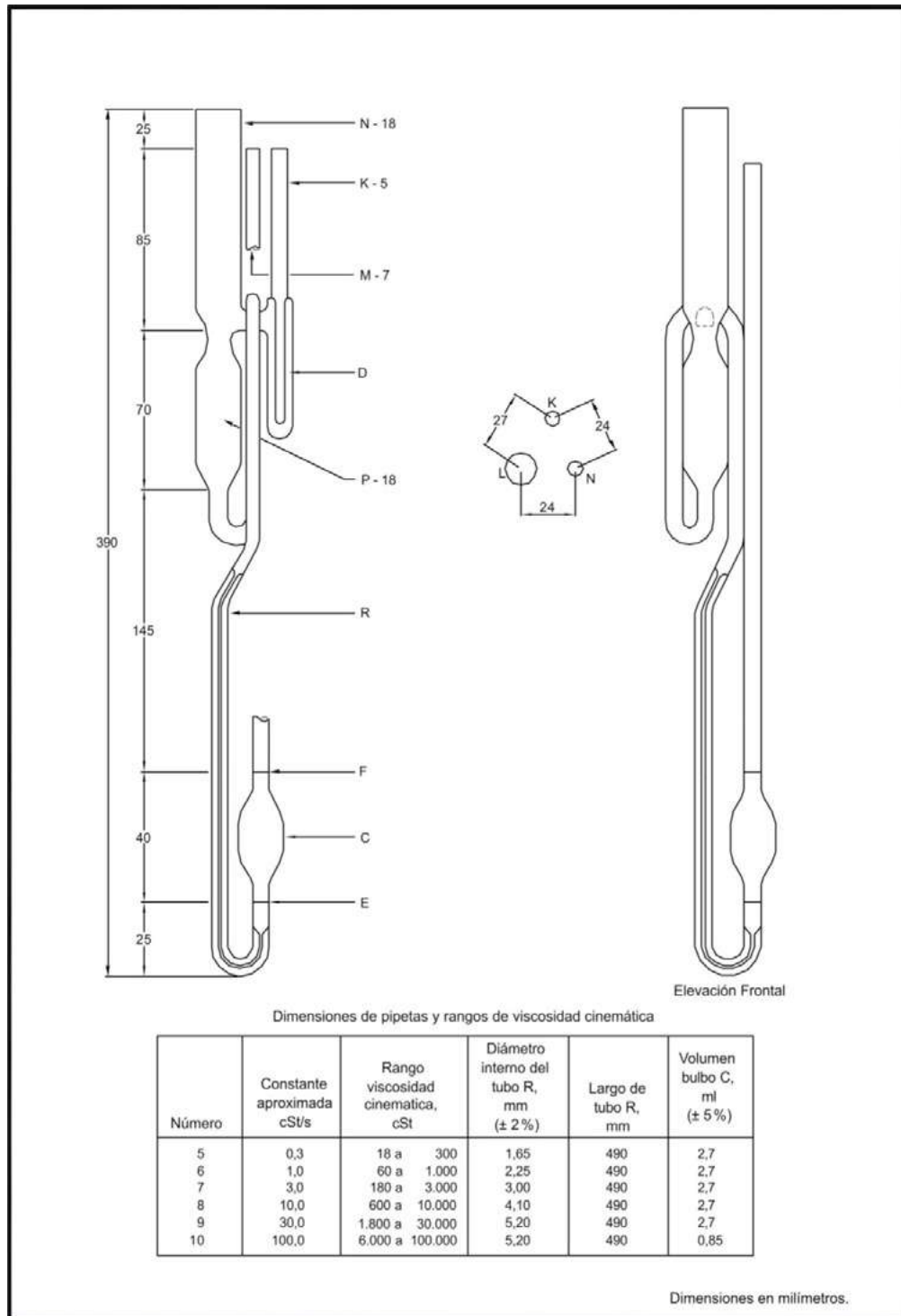


Figura 6.2_14. LANTZ- ZETFUCHS TIPO FLUJO REVERSO VISCOSÍMETRO PARA LÍQUIDOS OPACOS

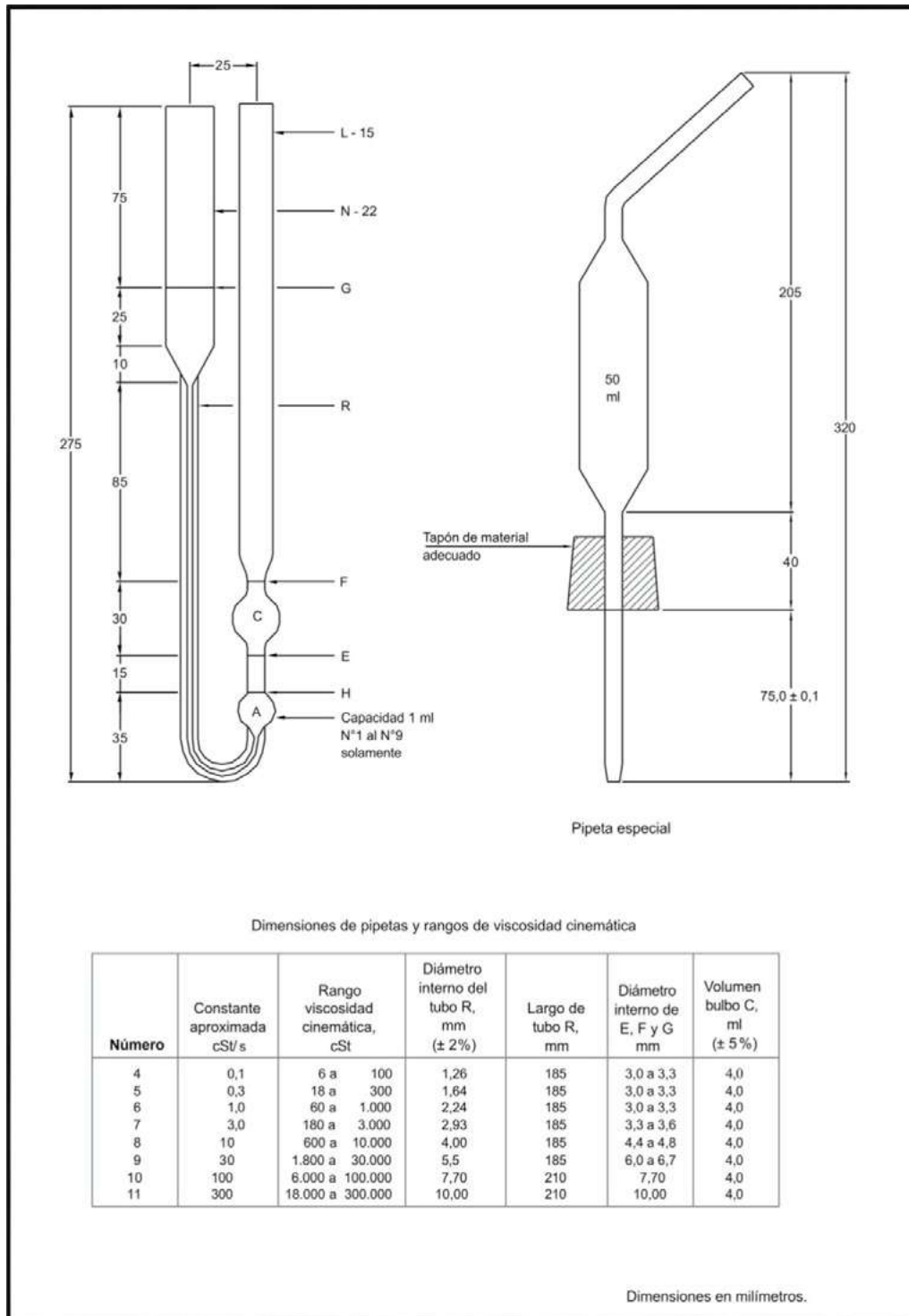


Figura 6.2_15. BE/IP/RF U. TUBO FLUJO REVERSO VISCOSÍMETRO PARA LÍQUIDOS OPACOS

SECCION 6.2.1.9.

MÉTODO PARA DETERMINAR LA VISCOSIDAD ABSOLUTA MEDIANTE VISCOSÍMETROS CAPILARES DE VACÍO (ASTM D 2171 AASHTO T202-91)

6.2.1.9.1. OBJETO

Este método describe los procedimientos para determinar la viscosidad de los asfaltos por viscosímetros capilares de vacío a 60° C. Es aplicable a materiales que tengan viscosidades en el rango de 0,036 a 5.800.000 poises.

Nota 1: El método es adecuado para ser usado a otras temperaturas, pero la precisión está basada en determinaciones en cementos asfálticos a 60° C.

6.2.1.9.2. DEFINICIONES

A. VISCOSIDAD

La razón entre el esfuerzo de corte aplicado y la velocidad de corte se llama coeficiente de viscosidad; este coeficiente es una medida de la resistencia a fluir del líquido. Comúnmente se denomina viscosidad del líquido. La unidad de viscosidad en el sistema CGS esg/cm•seg (dina•seg/cm²) y se denomina poise (P).

La unidad de viscosidad en el sistema SI es Pa•s (N•seg/m²) y es equivalente a 10 P.

B. LÍQUIDO NEWTONIANO

Es aquél en el cual la tasa de corte es proporcional al esfuerzo cortante. La razón constante del esfuerzo de corte a la tasa de corte es la viscosidad del líquido; si la razón no es constante, el líquido es No-Newtoniano.

6.2.1.9.3. EQUIPOS Y MATERIALES

A. VISCOSÍMETROS TIPO CAPILAR

Confeccionados de vidrio borosilicato recocido, apropiados para este ensayo. Los viscosímetros apropiados son los siguientes:

- a) Viscosímetro de vacío Cannon – Manning, como el que se describe en el Anexo A1.
- b) Viscosímetro de vacío del Instituto del Asfalto, como el que se describe en el Anexo A2.
- c) Viscosímetro de vacío Koppers Modificado, como el que se describe en el Anexo A3.

Detalles, incluyendo la calibración de los viscosímetros, se entregan en el Anexo A4.

B. TERMÓMETROS

Pueden usarse termómetros calibrados del tipo líquido en vidrio de una exactitud, después de corregir, de 0,02°C o algún otro instrumento de medición de temperatura de igual exactitud. Los termómetros para viscosidad cinemática ASTM 47°F y 47°C, son adecuados para usar a la temperatura de 60°C.

Nota 1: Los termómetros especificados son normalizados a “inmersión total”, lo que significa inmersión del tope superior de la columna de mercurio, con la extensión del caño y cámara de expansión en el tope del termómetro expuesto a temperatura de la sala. La práctica de sumergir completamente el termómetro no es recomendable. Cuando los termómetros se sumergen completamente, las Correcciones para cada termómetro individual, basados en la calibración bajo condiciones de inmersión completa, deben ser determinadas y aplicadas. Si durante su uso, el termómetro está completamente sumergido en el baño, la presión del gas en la cámara de expansión será más alta o más baja que durante la normalización y puede causar lecturas altas o bajas.

Nota 2: Información respecto de técnicas adecuadas de calibración de termómetros se puede encontrar en ASTM E77.

C. BAÑO

Un baño adecuado para inmersión del viscosímetro, tal que la marca superior para determinar tiempos esté al menos 20 mm por debajo de la superficie del líquido del baño y tanto el viscosímetro como el termómetro sean totalmente visibles. Debe estar provisto de soportes resistentes para el viscosímetro. La eficiencia de mezclado y balance entre el suministro y pérdida de calor debe ser tal que la temperatura media del baño no varíe en más de $\pm 0,03^\circ\text{C}$ a lo largo del viscosímetro o de viscosímetro a viscosímetro, en varias posiciones en el baño.

Nota 3: El baño debe ser capaz de mantener la temperatura a $\pm 0,03^\circ\text{C}$ para cumplir las especificaciones y $\pm 0,06^\circ\text{C}$ para fines operacionales

6.2.1.9.4. SISTEMA DE VACÍO

Un sistema de vacío, capaz de mantener un vacío dentro de $\pm 0,5$ mm del nivel deseado y que incluya a 300 mm de mercurio. La **Figura 6.2_16, Figura 1**, muestra lo esencial. Se usará una tubería de vidrio de 6,5 mm de DI y todas las uniones de vidrio deben ser herméticas al aire, tal que cuando el sistema esté cerrado, el manómetro de mercurio de terminal abierto, que tiene graduaciones de 1 mm, indique que no tiene pérdida de vacío. Como fuente de vacío es adecuada una bomba o aspiradora.

A. CONTROL DE TIEMPO

Un cronómetro u otro equipo medidor de tiempo, graduados en divisiones de 0,1 seg o menos y exactitud dentro de 0,5 %, cuando se ensaye sobre intervalos de no menos de 15 min.

B. EQUIPOS ELÉCTRICOS PARA MEDIR EL TIEMPO

Se pueden usar solamente en circuitos eléctricos de frecuencia controlada a una exactitud de 0,05 % o mejor.

Nota 4: Cuando se usan equipos medidores eléctricos de tiempo, las frecuencias de las corrientes alternas, que son intermitentes y no continuamente controla-

das, como el sistema de fuerza suministrado al consumo público, pueden causar grandes errores, particularmente sobre intervalos cortos.

6.2.1.9.5. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Caliente la muestra con cuidado para prevenir sobrecalentamientos locales, hasta que llegue a estar lo suficientemente fluida para vaciarla; ocasionalmente mezcle la muestra para ayudar al intercambio de calor y asegurar uniformidad. La máxima temperatura no debe exceder de 80 a 110°C por sobre las expectativas del punto de ablandamiento.

Transfiera un mínimo de 20 ml dentro de una cápsula adecuada y caliente a $135 \pm 5; 5^\circ\text{C}$, mezclando ocasionalmente para prevenir sobrecalentamientos locales y teniendo cuidado de no atrapar aire.

6.2.1.9.6. PROCEDIMIENTO

1. Los detalles específicos de operación cambian un poco para los diversos tipos de viscosímetros. Ver **Figura 6.2_ 16, Figuras 2, 3 y 4 y Anexos A1, A2 y A3** para información del viscosímetro seleccionado. En todo caso, cualquiera fuere el seleccionado, el procedimiento general por seguir se describe a continuación en 10 a) a h).
 - Mantenga el baño a temperatura de ensayo dentro de $\pm 0,03^\circ\text{C}$. Aplique las correcciones necesarias, si es el caso, a las lecturas del termómetro.
 - Seleccione un viscosímetro limpio y seco, para un tiempo de flujo mayor que 60 seg y precaliente a $135 \pm 5,5^\circ\text{C}$.
 - Cargue el viscosímetro vaciando la muestra ya preparada dentro de ± 2 mm de la línea de llenado E (**Figura 6.2_ 16, Figuras 2, 3 y 4**).
 - Coloque el viscosímetro cargado en un horno o baño a una temperatura de $135 \pm 5,5^\circ\text{C}$ por un periodo de 10 ± 2 min., para dejar que escapen las burbujas de aire.
 - Saque el viscosímetro del horno o baño y dentro de 5 min insértelo en el asidero del baño en posición vertical, tal que la marca superior para determinar tiempos esté al menos 20 mm por debajo de la superficie del líquido del baño.
 - Establezca en el sistema de vacío, un vacío de $300 \pm 0,5$ mm de mercurio y conéctelo al viscosímetro con la válvula en la línea principal para el viscosímetro.
 - Después que el viscosímetro ha estado en el baño por 30 ± 5 min., comience con el flujo de asfalto en el viscosímetro abriendo la válvula en la línea principal del sistema de vacío.
 - Mida dentro de 0,1 seg el tiempo requerido para que el borde del menisco pase entre pares sucesivos de marcas de tiempo. Informe el primer flujo cuyo tiempo exceda de 60 seg entre un par de marcas de tiempo, anotando la identificación del par de marcas de tiempo.
2. La limpieza del viscosímetro es extremadamente importante. Cualquier método de limpieza se puede usar para lograr una superficie limpia y seca en el tubo. Un procedimiento recomendado es el que sigue: finalizado el ensayo, saque el viscosímetro del baño y colóquelo en posición invertida dentro de un horno a $135 \pm 5,5^\circ\text{C}$ hasta que el asfalto

escurra completamente del viscosímetro. Limpie el viscosímetro completamente con varios lavados de un solvente apropiado, que sea totalmente miscible con la muestra y enseguida lave con un solvente totalmente volátil. Seque el tubo pasando un flujo lento de aire seco a través del capilar por 120 seg o hasta que la última traza disolvente sea removida. Periódicamente limpie el instrumento con ácido crómico para remover depósitos orgánicos, lavando completamente con agua destilada y acetona libre de residuos y seque con aire limpio y seco.

6.2.1.9.7. CÁLCULOS

Seleccione el factor de calibración que corresponde al par de marcas de tiempos usados para la determinación, como se indica en 10 h). Calcule e informe la viscosidad para tres tipos de ensayos significativos usando la siguiente ecuación.

$$\text{Viscosidad (poises)} = K \times t$$

Donde:

K: Factor de calibración seleccionado (poises/ seg).

t: Tiempo de flujo (seg).

6.2.1.9.8. PRECISIÓN

Utilice el siguiente criterio para juzgar la aceptabilidad de resultados (95 % probabilidad)

(ver Nota 1).

A. REPETIBILIDAD

Resultados duplicados de un mismo operador usando el mismo viscosímetro, no serán considerados dudosos al menos que ellos difieran en más de un 7 % de su media.

B. REPRODUCIBILIDAD

Los resultados de dos laboratorios diferentes no serán considerados dudosos, al menos que ellos difieran en más de un 10 % de su media.

6.2.1.9.9. INFORME

Siempre informe la temperatura de ensayo y el vacío aplicado, junto con los resultados del ensayo de viscosidad. Por ejemplo, viscosidad absoluta en poises, (Pa • s) a 60° C y a un vacío de 300 mm de Hg.

6.2.1.9.10. ANEXO

A. VISCOSÍMETRO CAPILAR DE VACÍO CANNON – MANNING

A.1. Alcances

El viscosímetro capilar de vacío Cannon-Manning está disponible en once tamaños (*Tabla 6.2_11*), abarcando un rango de 0,036 a 80.000 poises. Los tamaños 10 a 14 son los más adecuados para medidas de viscosidad de cementos asfálticos a 60°C.

A.2. Aparatos

La **Figura 6.2_ 16, Figura 2**, muestra detalles del diseño y construcción del viscosímetro capilar de vacío Cannon-Manning. El número que define el tamaño, los factores de bulbo aproximados, K y rangos de viscosidad se dan en la **Tabla 6.2_ 11**.

Para todos los tamaños de viscosímetros la medida de volumen del bulbo C es aproximadamente tres veces más que la del bulbo B.

Puede hacerse un portador adecuado perforando dos orificios, de 22 y 8 mm de diámetro, respectivamente, a través de un tapón de goma N° 11. La distancia entre centros de los orificios será de 25 mm. Ranure el tapón de goma entre los orificios y también entre el orificio de 8 mm y el borde del tapón. Cuando lo coloque en el orificio de 50 mm de la tapa del baño, los tapones afirmarán el viscosímetro en su lugar.

A.3. VISCOSÍMETRO CAPILAR DE VACÍO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO

A.3.1. Alcances

Los viscosímetros capilares de vacío del Instituto del Asfalto están disponibles en cinco tamaños (**Tabla 6.2_ 12**), abarcando un rango de 42 a 200.000 poises. Los tamaños 50 a 200 son los más adecuados para medir la viscosidad de los cementos asfálticos a 60°C.

A.3.2. Aparatos

La **Figura 6.2_ 16, Figura 3**, muestra detalles del diseño y construcción de los viscosímetros capilares de vacío del Instituto del Asfalto. El número que define el tamaño, radios aproximados, factor del bulbo aproximado, K y rangos de viscosidad para la serie de viscosímetros del Instituto del Asfalto se indican en la **Tabla 6.2_ 12**.

El viscosímetro tiene medidas de los bulbos B, C y D ubicados en el brazo del viscosímetro M, el cual tiene un capilar de vidrio taladrado a precisión. Las medidas de los bulbos son de 20 mm de longitud del segmento capilar, separadas por las marcas de tiempo F, G, H e I.

Puede hacerse un portador adecuado perforando dos orificios, de 22 y 8 mm de diámetro respectivamente, a través de un tapón de goma N° 11. La distancia entre centros de los orificios será de 25 mm. Ranure el tapón de goma entre los orificios y también entre el orificio de 8 mm y el borde del tapón. Cuando lo coloque en el orificio de 50 mm de la tapa del baño, los tapones afirmarán el viscosímetro en su lugar.

A.4. VISCOSÍMETRO CAPILAR DE VACÍO KOPPERS MODIFICADO

A.4.1. Alcances

Los viscosímetros de vacío Koppers Modificado están disponibles en cinco tamaños (**Tabla 6.2_ 12**) abarcando un rango de 42 a 200.000 poises. Los tamaños 50 a 200 son los más adecuados para medir la viscosidad de los cementos asfálticos a 60°C.

A.4.2. Aparatos

La **Figura 6.2_ 16, Figura 4**, muestra detalles del diseño y construcción del viscosímetro capilar de vacío Koppers modificado. El número que define el tamaño, radio aproximado, factores de bulbo aproximado K y rango de viscosidad para la serie de viscosímetros Koppers Modificado, se indican en la **Tabla 6.2_ 12**.

El viscosímetro consiste de un tubo de llenado separado A, y un tubo capilar de vacío de vidrio taladrado a precisión, M. Estas dos partes están unidas por una junta de vidrio deslustrado, N, teniendo una tapa normal 24/40. Las medidas de los bulbos B, C y D, en

el capilar de vidrio, son segmentos del capilar de 20 mm de longitud, separados por las marcas de tiempo F, G, H e I.

Puede hacerse un porta viscosímetro taladrando un orificio de 28 mm a través del centro de un tapón de goma N° 11 y ranurando el tapón entre el orificio y el borde. Cuando se coloca en el orificio de 50 mm de diámetro de la tapa del baño, debe sostener el viscosímetro en su lugar.

A.5. CALIBRACIÓN DE VISCOSÍMETROS

A.5.1. Alcances

En este Anexo se describen los procedimientos y materiales que se utilizan para calibrar o comprobar la calibración de los viscosímetros usados en este método.

A.5.2. Materiales de referencia

Viscosidades normales que tengan aproximadamente una de las viscosidades absolutas, se entregan en la **Tabla 6.2_ 13**.

A.5.3. Calibración

El viscosímetro de vacío se calibra mediante viscosidad normal como sigue:

Seleccione de la **Tabla 6.2_ 13**, una viscosidad normal que tenga un tiempo mínimo de flujo de 60 seg a la temperatura de calibración.

Cargue un viscosímetro limpio y seco vaciando la muestra dentro de ± 2 mm de la línea de llenado E (ver **Figura 6.2_ 16, Figuras 2, 3 y 4**).

Coloque el viscosímetro cargado en el baño, manteniendo la temperatura de calibración a $\pm 0,03^\circ$ C.

Establezca, con el sistema de vacío, un vacío de $300 \pm 0,5$ mm Hg y conéctelo al viscosímetro con la válvula en la línea principal para el viscosímetro.

Después que el viscosímetro ha estado en el baño por 30 ± 5 min, inicie el flujo del líquido patrón en el viscosímetro, abriendo la válvula de la línea principal del sistema de vacío.

Mida dentro de 0,1 seg, el tiempo requerido para que el borde del menisco pase entre las marcas del tiempo F y G. Usando un segundo cronómetro, también mida dentro de 0,1 seg, el tiempo requerido para que el borde del menisco pase entre las marcas G y H. Si el instrumento contiene marcas de tiempo adicional, determine en forma similar el tiempo de flujo para cada bulbo sucesivo.

Calcule el factor de calibración K, para cada bulbo como sigue:

$$K = \frac{V}{T}$$

Donde:

K: Factor de calibración del bulbo del viscosímetro, poises por segundo a 300 mm Hg.

V: Viscosidad absoluta del líquido normal a la temperatura de calibración, en poises.

t: Tiempo de flujo, en segundos.

Repita el procedimiento de calibración usando la misma u otra viscosidad normal. Anote el promedio de la constante de calibración K, para cada bulbo.

Nota 5: Las determinaciones en duplicado de la constante de calibración K, para cada bulbo, deben estar dentro del 2 % de su medida.

Nota 6: Las constantes del bulbo son independientes de la temperatura.

A.6. CALIBRACIÓN DE UN VISCOSÍMETRO DE VACÍO MEDIANTE UN VISCOSÍMETRO DE VACÍO NORMAL

Calibre el viscosímetro de vacío como sigue:

Seleccione un producto asfáltico que tenga un tiempo de flujo de al menos 60 seg.

Seleccione también un viscosímetro con la constante del bulbo conocido.

Monte el viscosímetro normal junto con el viscosímetro a ser calibrado en el mismo baño a 60° C y determine los tiempos de flujo del asfalto por el procedimiento descrito en la **Sección 6.2.1.9, numeral 1.**

Calcule la constante K, para cada bulbo como sigue:

$$K_1 = \frac{t_2 \times K_2}{t_1}$$

Donde:

K₁: Constante del bulbo del viscosímetro calibrado.

t₁: Tiempo de flujo que corresponde al bulbo del viscosímetro calibrado.

K₂: Constante del bulbo del viscosímetro normal.

t₂: Tiempo de flujo que corresponde al bulbo del viscosímetro normal.

Tabla 6.2_11. TAMAÑO DE VISCOSÍMETROS NORMALES, FACTORES DE CALIBRACIÓN APROXIMADO K, Y RANGOS DE VISCOSIDAD PARA VISCOSÍMETROS CAPILARES DE VACÍO CANNON – MANNING

Viscosímetro	Factor de calibración aproximado K _a . Vacío de 300 mmHg: poises por seg.		Rango de viscosidades Poises ^b
	Bulbo B	Bulbo C	
4	0,002	0,0006	0,036 a 0,8
5	0,006	0,002	0,12 a 2,4
6	0,02	0,006	0,36 a 8
7	0,6	0,02	1,2 a 24
8	0,2	0,06	3,6 a 80
9	0,6	0,2	12 a 240
10	2,0	0,6	36 a 800
11	6,0	2,0	120 a 2400
12	20,0	6,0	360 a 8000
13	60,0	20,0	1.200 a 24.000
14	200,0	60,0	3.600 a 80.000

- a) Los factores de calibración exactos se deben determinar con viscosidades normales.
- b) Los rangos de viscosidad mostrados en esta tabla corresponden al tiempo de llenado de 60 a 400 seg. Se pueden usar tiempos de flujo mayores (sobre 1.000 seg).

Tabla 6.2_12. TAMAÑO VISCOSÍMETROS NORMALES, RADIO DEL CAPILAR, FACTORES DE CALIBRACIÓN APROXIMADO K, Y RANGOS DE VISCOSIDADES PARA VISCOSÍMETROS CAPILARES DE VACÍO KOPPERS MODIFICADO.

Viscosímetro Tamaño N°	Radio del capilar mm	Factor de calibración aproxima- do K _a Vacío de 300 mmHg; poi- ses por segundo			Rango de vis- cosidades Poi- ses ^b
		Bulbo B	Bulbo C	Bulbo D	
25	0,125	2	1	0,7	42 a 800
50	0,25	8	4	3	180 a 3.200
100	0,5	32	16	10	600 a 12.800
200	1	128	64	40	2.400 a 52.000
400	2	500	250	160	9.600 a 200.000

- a) Los factores de calibración se deben determinar con viscosidades normales.
- b) Los rangos de viscosidad mostrados en esta Tabla corresponden al tiempo de llenado 60 a 400seg. Se pueden usar tiempos de flujo mayores (sobre 1.000 seg)

Tabla 6.2_13. VISCOSIDAD NORMAL

Viscosidad normal	Viscosidad absoluta aproximada (Poises)		
	A 20°C	A 30°C	A 37,8°C
N 30.000	1.500	--	240
N 190.000	8.000	--	1.600
S 30.000	--	460	240

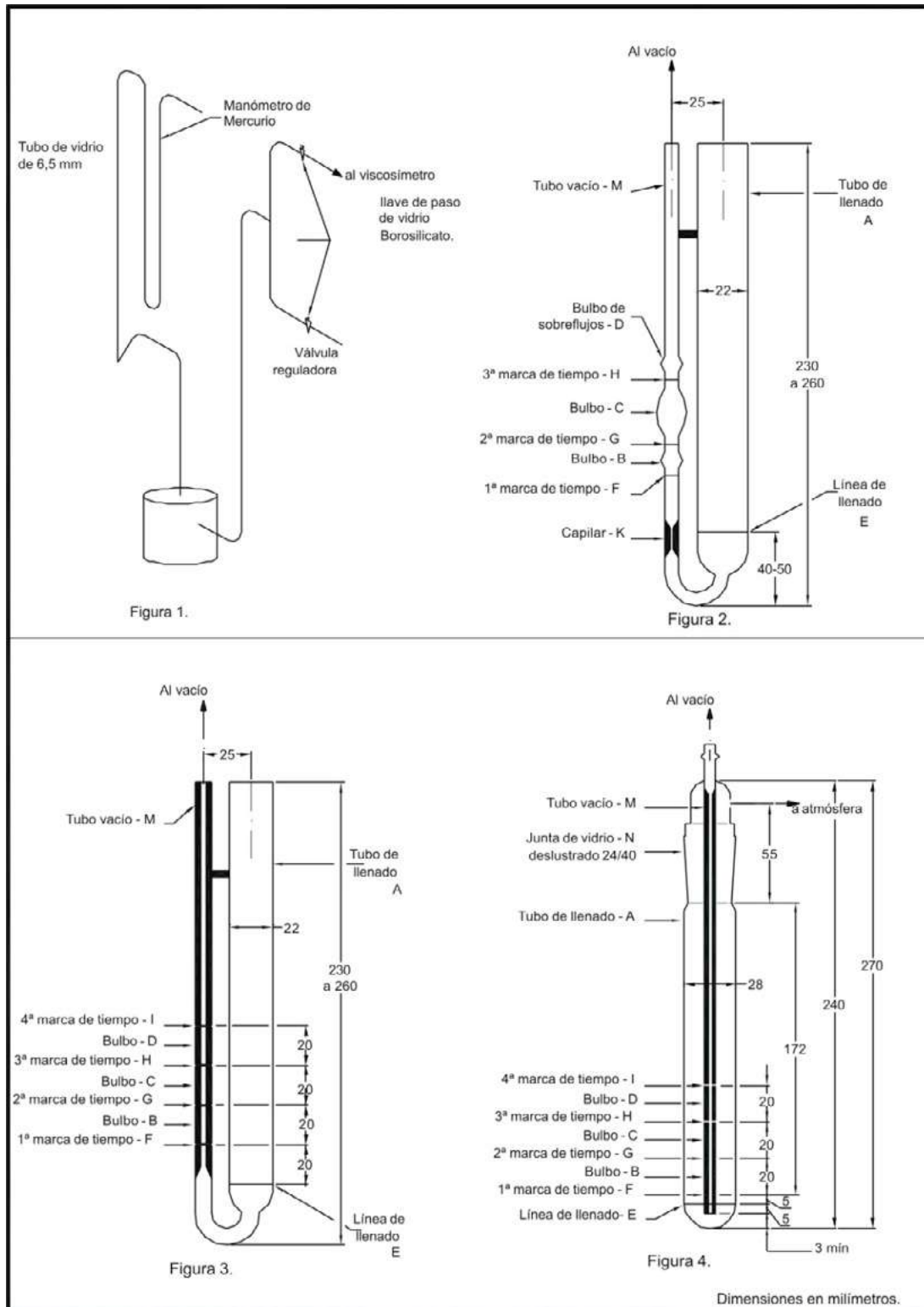


Figura 6.2_16. FIG.1 SISTEMA ESENCIAL DE VACÍO,

FIG.2 VISCOSÍMETRO CAPILAR DE VACÍO CANNON-MANNING,

FIG.3 VISCOSÍMETRO CAPILAR DE VACÍO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO.

FIG.4 VISCOSÍMETRO CAPILAR DE VACÍO KOPPERS MODIFICADO

SECCION 6.2.1.10.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL PUNTO DE ABLANDAMIENTO CON EL APARATO DE ANILLO Y BOLA (ASTM D 36 AASHTO T53-96)

6.2.1.10.1. OBJETO

Este método describe un procedimiento para determinar el punto de ablandamiento de materiales asfálticos, cuyo valor se encuentre en el rango de 30 a 200°C, por medio del aparato de anillo y bola.

6.2.1.10.2. GENERALIDADES

En general, con materiales de este tipo, el ablandamiento no ocurre a una temperatura definida; a medida que la temperatura aumenta, el material cambia gradual e imperceptiblemente, de un estado quebradizo o excesivamente espeso y de poca fluidez, a líquidos blandos y menos viscosos. Por esta razón, la determinación del punto de ablandamiento se debe efectuar mediante un método arbitrario, pero bien definido, de manera de comparar resultados.

6.2.1.10.3. DEFINICIONES

A. PUNTO DE ABLANDAMIENTO

Es la menor temperatura a la que una muestra, suspendida en un anillo horizontal de dimensiones especificadas, es forzada a caer 25 mm por el peso de una bola de acero especificada, cuando la muestra se calienta mediante incrementos a una velocidad prescrita, en un baño de agua o de glicerina.

6.2.1.10.4. EQUIPOS Y MATERIALES

A. EQUIPO NORMAL

- a) Anillo de bronce que cumpla con las dimensiones que se muestran en la **Figura 6.2_17, Figura 1.**
- b) Bolas de acero con un diámetro de 9,5 mm y que pesen entre $3,50 \pm 0,050$ g.
- c) Una guía para centrar la bola, construida de bronce, que tenga en general la forma y las dimensiones indicadas en la **Figura 6.2_17, Figura 3.**

B. BAÑO

Un vaso de vidrio de 800 ml, capaz de resistir el calor, que tenga un diámetro no menor que 85 mm y una profundidad no menor que 120 mm.

C.SOPORTE DEL ANILLO

El anillo deberá estar sujeto sobre un soporte (**Figura 6.2_17, Figura 2**), como se muestra en el conjunto en la **Figura 6.2_17, Figura 4**.

- a) Los anillos deberán sujetarse en posición horizontal, con el fondo a 25 mm por encima de la superficie superior de la placa, y la superficie inferior de ésta a una distancia de por lo menos 13 mm y no mayor de 19 mm al fondo del vaso. La profundidad del líquido en el vaso deberá ser mayor que 100 mm.
- b) El termómetro deberá suspenderse de manera que el fondo del bulbo esté a nivel con el fondo del anillo y dentro de 13 mm de distancia del anillo, pero de manera que no lo toque.

D.TERMÓMETROS

Termómetros del tipo ASTM para punto de ablandamiento bajo que tengan un rango de -2° a $+80^{\circ}\text{C}$ y cumplan con los requisitos para termómetro 15C, descritos en la **Norma ASTM E 1** y un ASTM 16C (rango 30 a 200°C) para puntos de ablandamientos altos.

6.2.1.10.5. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- a. Caliente con cuidado la muestra, agitándola continuamente para prevenir un sobrecalentamiento local, hasta que esté suficientemente fluida para verterla. En ningún caso la temperatura de la muestra debe exceder de 110°C por sobre del punto de ablandamiento estimado. Elimine las burbujas de aire incorporadas en la muestra mediante agitación continua.
- b. Lleve la muestra de asfalto a la temperatura de vertido, en un tiempo no mayor que 240 min; vierta la muestra caliente dentro de los dos anillos, precalentados aproximadamente a la temperatura de vertido. Mientras se llenan los anillos debe apoyarse sobre una placa de bronce, previamente recubierta con un agente desmoldante, para prevenir que el material bituminoso se adhiera a la placa. Enfríe por lo menos durante 30 min; en ningún caso deje transcurrir más de 4 h antes de terminar el ensayo. Las muestras que estén blandas a temperatura ambiente, se deben enfriar durante un mínimo de 30 min. a una temperatura mínima de 8°C por debajo del punto de ablandamiento esperado.
- c. Después de enfriado, corte el exceso de material con una espátula o cuchillo ligeramente caliente. En caso de que se repita el ensayo, utilice una muestra nueva y un recipiente limpio.

6.2.1.10.6. PROCEDIMIENTO

- a. Procedimiento para materiales que tengan un punto de ablandamiento igual o menor que 80°C
- b. Ensamble el aparato con los anillos, el termómetro y la guía para centrar las bolas en posición y llene el baño con agua fresca destilada a $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$ a una profundidad no menor de 100 mm ni mayor de 110mm. Mantenga la temperatura del baño a 5°C durante 15 min, colocando el recipiente del ensayo en agua helada, si es necesario. Utilizando unas pinzas, coloque una bola previamente ajustada a la misma temperatura del baño, en cada una de las guías de centraje de las bolas.

- c. Aplique calor de tal manera que la temperatura del líquido aumente con una velocidad uniforme de 5°C por min; evite el efecto de las corrientes de aire, utilizando protectores si es necesario.

Nota 1: Para el calentamiento se permite el uso de un mechero de gas o un plato caliente eléctrico. Sin embargo; el plato eléctrico precisa tener un sistema para incrementar las temperaturas sin demora, para mantener la velocidad de calentamiento.

- d. La velocidad de aumento de temperatura deberá ser uniforme y no se promediará durante el período del ensayo. La variación máxima permisible para cualquier minuto de tiempo, después de los tres minutos, será $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Elimine todos los ensayos en los que la velocidad de aumento de temperatura no esté dentro de estos límites.
- e. Anote para cada anillo y bola la temperatura indicada por el termómetro; en el instante que la muestra que rodea la bola, toque la placa inferior. Si la diferencia entre estos dos valores excede 1°C , repita el ensayo.

D.1. Procedimiento para materiales que tengan un punto de ablandamiento mayor que 80°C

Utilice el mismo procedimiento descrito en 10, con las siguientes modificaciones:

- a) Use glicerina en vez de agua.
- b) La temperatura inicial del baño de glicerina será 32°C .

6.2.1.10.7. PRECISIÓN

El siguiente criterio se debe utilizar para juzgar la aceptabilidad de los resultados (95% de probabilidad):

A. REPETIBILIDAD.

La duplicidad del punto de ablandamiento obtenido por el mismo operador no se considerará dudosa a menos que difieran entre sí más de 1°C (desviación normal estimada 0,73%).

B. REPRODUCIBILIDAD.

Los puntos de ablandamiento informados por cada uno de dos laboratorios, no se considerarán dudosos a menos que los dos informes difieran en más de 2°C (desviación normal estimada 1,26%).

6.2.1.10.8. INFORME

Calcule el promedio de los valores de las temperaturas registradas en el ensayo. Informe este valor con precisión de $0,5^\circ\text{C}$ como el punto de ablandamiento para termómetros 16C, y de $0,2^\circ\text{C}$ para termómetros 15C.

Para materiales con un punto de ablandamiento cercano a 80°C , anote en el informe el tipo de baño utilizado, agua o glicerina; el baño de glicerina da un punto de ablandamiento mayor que el de agua.

Nota 2: La utilización de agua recién destilada es esencial, ya que de otra manera pueden formarse burbujas de aire en la muestra, lo cual afecta los resultados. El

ceñirse a la velocidad prescrita de calentamiento es absolutamente esencial para la reproducibilidad de los resultados.

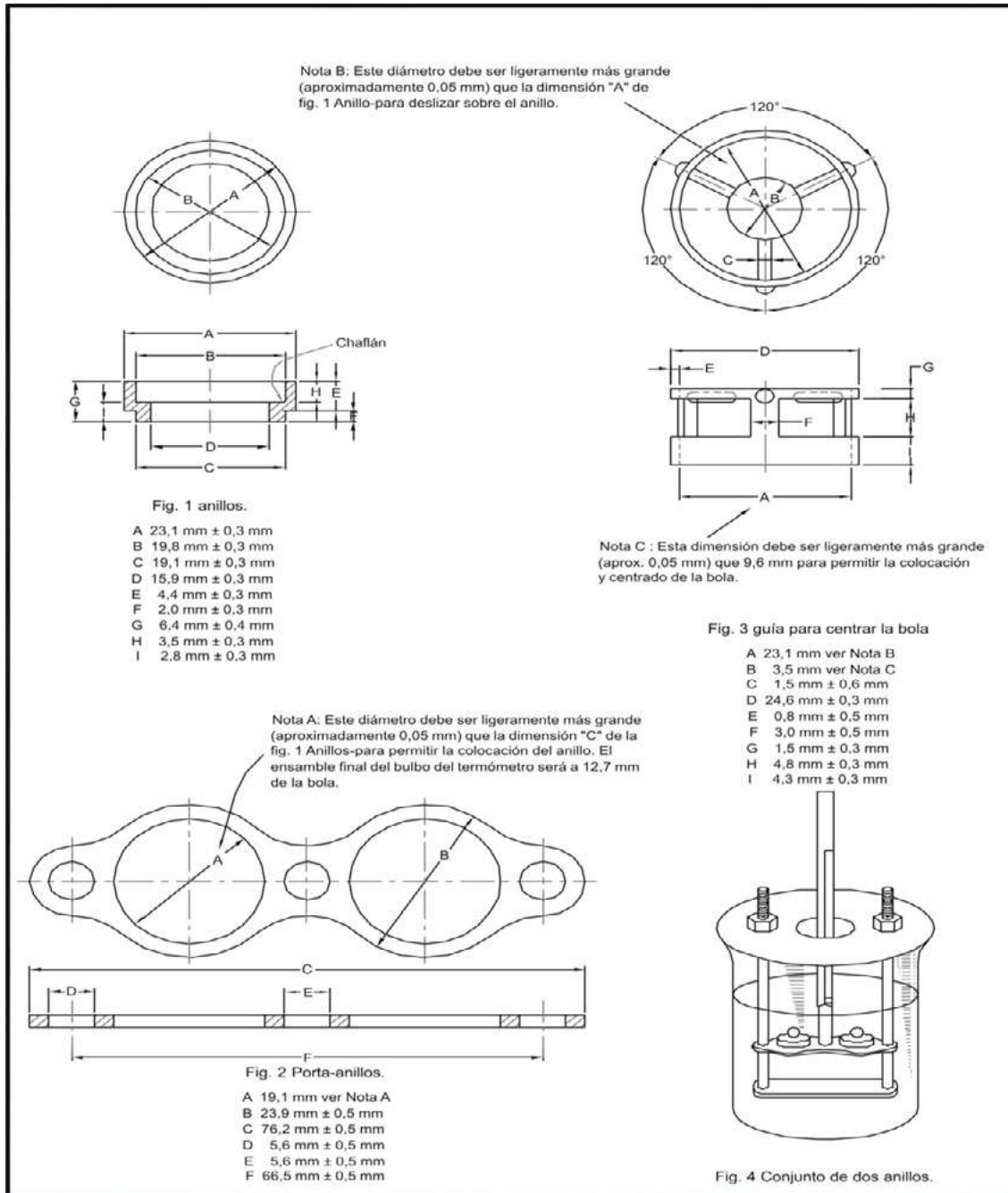


Figura 6.2_17. ANILLO, PORTA-ANILLO, GUÍA PARA CENTRAR LA BOLA Y ENSAMBLE DEL APARATO MOSTRANDO DOS ANILLOS

SECCION 6.2.1.11.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL PUNTO DE FRAGILIDAD FRAASS (IP 80-53)

6.2.1.11.1. OBJETO

Este método describe el procedimiento para determinar el punto de fragilidad de los materiales bituminosos de consistencia sólida o semisólida, por medio del aparato Fraass.

En el ensayo, una película del material se somete, en condiciones especificadas, a ciclos sucesivos de flexión a temperaturas decrecientes. Se define como Punto de Fragilidad Fraass la temperatura a la cual, debido a la consistencia adquirida por el material bituminoso, se observa la primera fisura o rotura en la superficie de la película.

6.2.1.11.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A.MECANISMO DE FLEXIÓN

(Figura 6.2_19). Consiste en dos tubos concéntricos, uno exterior fijo y otro interior móvil, contruidos de un material aislante. Por la parte inferior, los tubos terminan en una garra o mandíbula de acero fijada sólidamente y separadas una distancia máxima de $40 \pm 0,1$ mm. En la zona comprendida entre las mandíbulas (B), el tubo móvil lleva unas aberturas longitudinales, con el fin de que el bulbo del termómetro que va alojado en él quede al descubierto. En la parte superior este tubo va unido a una espiga metálica (A), deslizante a lo largo de un cono (I) comandado por la manivela (C). Diez a doce vueltas de esta manivela deben producir un acortamiento máximo de $3,5 \pm 0,2$ mm en la distancia entre ambas mandíbulas.

B.PLACAS DE ENSAYO

Son láminas planas, de acero inoxidable y forma rectangular, de las siguientes dimensiones: largo $41 \pm 0,5$ mm, ancho $20 \pm 0,2$ mm y espesor $0,15 \pm 0,02$ mm.

Nota 1: Cuando no se utilicen, las placas de ensayo deben mantenerse apoyadas sobre una superficie plana.

C.APARATO DE ENFRIAMIENTO

(Figura 6.2_18). Está formado por tres tubos de vidrio, un tubo E colocado excéntricamente en el interior de un segundo tubo G de mayor diámetro, por intermedio de un tapón de goma F, en cuyo orificio lateral va inserto un embudo H. El conjunto va suspendido por un tapón de goma o corcho, en el interior de un tercer tubo K. Todos los tubos van cerrados por su parte inferior y en el fondo de los designados como E y K, se coloca una pequeña cantidad de un producto desecante como, por ejemplo, cloruro cálcico. El mecanismo de flexión se coloca en el interior del tubo E por medio de un tapón de goma D.

D.TERMÓMETRO

Un termómetro de varilla IP 42 C, que cumpla con la norma ASTM E1, de las siguientes características:

Escala	38 °C a 30°C
Graduación	0,5 °C
Inmersión (mm)	250
Longitud total (mm)	370 ± 10
Forma del bulbo	cilíndrica
Longitud del bulbo (mm)	10 a 16
Diámetro de la varilla (mm)	6,0 a 7,0
Diámetro del bulbo (mm)	No mayor que el de la varilla
Longitud de la parte graduada (mm)	No mayor que 60
Error máximo de la escala	±0,5 °C

La escala del termómetro deberá estar marcada con líneas más largas cada 1° C y numerada cada 5° C. La cámara de expansión debe permitir un calentamiento del termómetro hasta 80° C.

Para una correcta inmersión dentro del aparato, el termómetro llevará un ensanchamiento uniforme de la varilla de 8 a 10 mm de diámetro y a una distancia del fondo del bulbo de 250 ± 2 mm.

E. PLACA DE CALENTAMIENTO Y SOPORTE

Para permitir y regular la correcta distribución del material sobre la placa de ensayo, se debe disponer de una placa metálica para calentamiento, de aproximadamente 5 mm de espesor y cuya cara superior sea perfectamente plana. Coloque esta placa sobre un trípode con tornillos de nivelación y provisto de un plato calefactor de 1 a 2 mm de espesor, situado a una distancia aproximada de 50 mm por debajo de la cara superior de la placa de calentamiento.

F. BALANZA DE PRECISIÓN

Con precisión de 0,01 g.

6.2.1.11.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. ELIMINACIÓN DEL AGUA

Si la muestra contiene agua, elimínela mediante calentamiento uniforme a una temperatura que no exceda de 130° C, con agitación constante.

B. MATERIALES CON PUNTO DE ABLANDAMIENTO INFERIOR QUE 70° C.

Coloque a temperatura ambiente 0,40 ± 0,01 cm³ del material sobre una placa de ensayo tarada, limpia y seca (Nota 2). Ubique a continuación la placa con el material sobre la placa de calentamiento previamente nivelada y comience a calentar suavemente el plato calefactor, pudiendo inclinar la placa con objeto de favorecer la distribución del material, hasta que quede completamente cubierta. Mantenga durante un corto lapso de tiempo en posición horizontal y en caliente, para conseguir una superficie lisa del material. Enfríe la placa y pese nuevamente.

C. MATERIALES CON PUNTO DE ABLANDAMIENTO SUPERIOR QUE 70° C.

Coloque, a temperatura ambiente, 0,40 ± 0,01 cm³ del material sobre una placa de ensayo tarada, limpia y seca (Nota 2). Ubique, a continuación, la placa con el material sobre la placa de calentamiento previamente nivelada y comience a calentar suavemente el

plato calefactor hasta que la muestra alcance la consistencia apropiada para moldearse con los dedos, pero sin adherirse a los mismos. Extienda la muestra hasta que cubra toda la placa y, finalmente, deje en reposo en caliente hasta obtener una superficie lisa del material. Deje enfriar la placa y pese nuevamente (Nota 3).

Nota 2: En materiales bituminosos normales, sin aditivos, con densidades, a 25° C, comprendidas entre 0,99 y 1,07 g/cm³, deben pesarse una cantidad de muestra de 0,40 ± 0,01 g.

Nota 3: En materiales bituminosos de alto punto de ablandamiento o muy volátiles puede ser aconsejable el empleo de una prensa en la preparación de las placas de ensayo, formada por dos bloques metálicos termos atizados, de caras planas y paralelas, entre los que se coloca la placa de ensayo con una cantidad de muestra algo superior a la especificada. Mediante espaciadores o rebaje superficial es en alguno de los bloques, se comprime y extiende el material hasta el espesor correspondiente al volumen especificado. Para evitar que el material se adhiera a las caras de la prensa se pueden interponer láminas de celofán virgen, que se despegan posteriormente de la muestra por inmersión en agua fría. Finalmente se recorta el exceso de material que sobresalga de la placa de ensayo.

D.ELIMINACIÓN BURBUJAS

Para la eliminación de eventuales burbujas en la película del material recomienda un enfriamiento brusco de la muestra, comprimiéndola con nieve carbónica sólida y calentando de nuevo hasta obtener una superficie lisa.

E.EVITAR ALTERACIONES

Para evitar alteraciones de las muestras, se recomienda que los períodos totales de calentamiento no excedan de 10 min. y que la temperatura del material no sobrepase en 70 a 80°C la del punto de ablandamiento.

F.ENSAYO

Las placas preparadas se dejan en reposo en posición horizontal y protegidas del polvo, debiendo ser ensayadas dentro de un período comprendido entre 1 y 4 h.

6.2.1.11.4. PROCEDIMIENTO

- a. Llene con acetona el espacio anular entre los tubos E y G hasta la mitad de su altura. Montar, curvando suavemente, la placa por ensayar entre las mandíbulas del mecanismo de flexión y coloque éste en el interior del tubo E. Inserte el termómetro en el interior del tubo móvil y añada nieve carbónica sólida a la acetona a través del embudo, de forma tal que la temperatura descienda a una velocidad uniforme de 1° C por min. Cuando se alcance una temperatura por lo menos superior en 10° C a la supuesta para el Punto de Fragilidad, realice, cada 1 min., una prueba de flexión, girando la manivela a la velocidad de una vuelta por segundo hasta el tope final, volviendo a girar sin interrupción en sentido contrario a la misma velocidad, hasta volver a su posición inicial.
- b. Determine la temperatura a que aparece la primera fisura o rotura a la flexión en la superficie del material.
- c. Efectúe al menos tres determinaciones del presente ensayo.

6.2.1.11.5. CÁLCULOS

Se denomina Punto de Fragilidad Fraass la temperatura en grados Celsius obtenida como el valor promedio de tres determinaciones, las que no deben diferir entre sí en más de 3° C. El resultado se expresará con aproximación de 1° C.

6.2.1.11.6. PRECISIÓN

Los resultados obtenidos para el Punto de Fragilidad por repetición del ensayo no deberán diferir entre sí en más de 2° C.

6.2.1.11.7. OBSERVACIONES

Debe comprobar frecuentemente que la distancia entre las mandíbulas sea la correcta, actuando, si fuese preciso, sobre el tornillo de ajuste que lleva el mecanismo de flexión.

Es imprescindible que las placas de ensayo se conserven rigurosamente planas y sin defectos, debiendo mantenerse un estrecho control sobre las dimensiones y estado de las mismas.

Para una mejor apreciación del Punto de Fragilidad suele ser útil la iluminación de la muestra con una lámpara de 10 W, colocada a unos 10 cm de distancia y que deberá encenderse solamente durante los períodos de flexión.

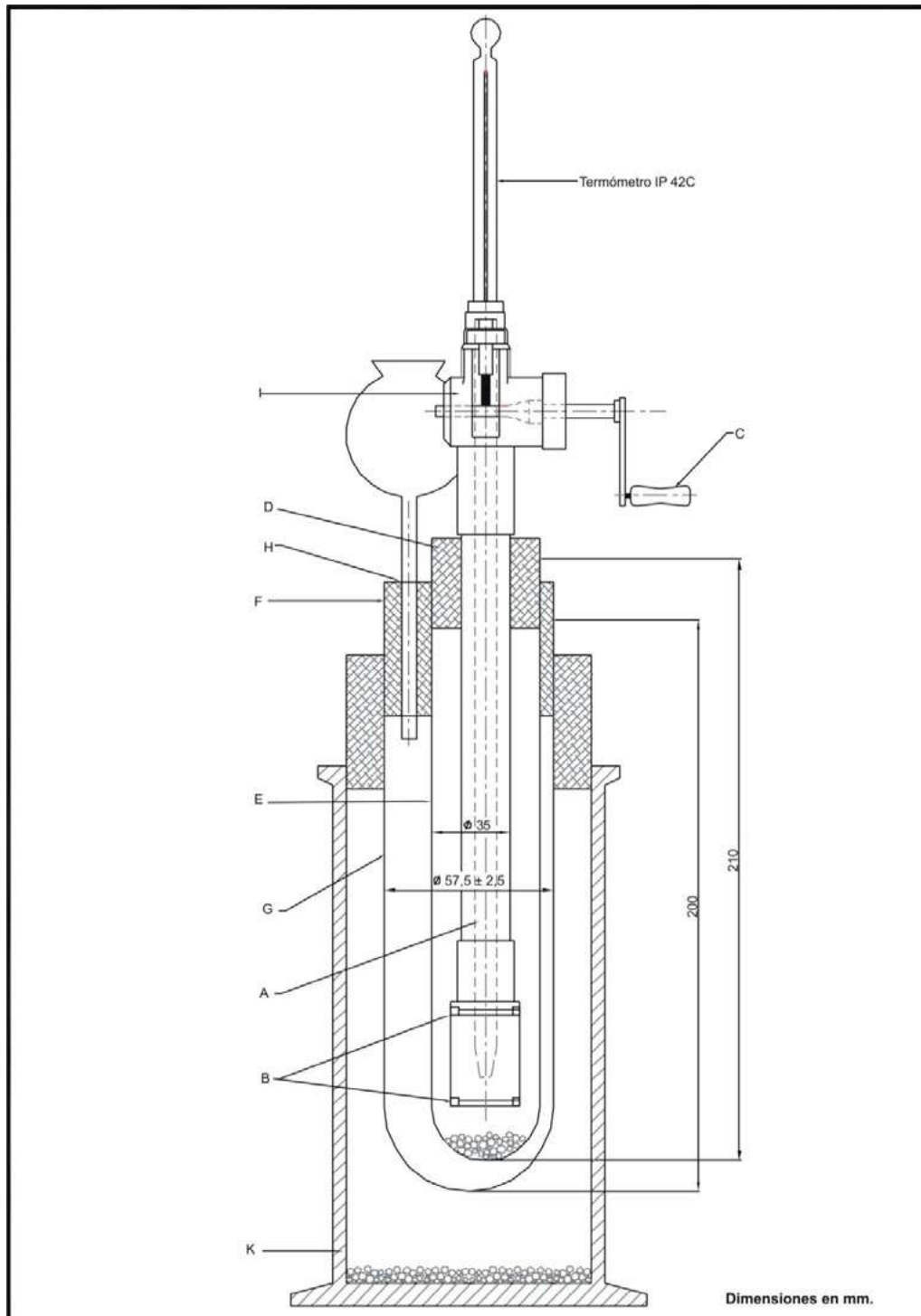


Figura 6.2_18. APARATO FRAAS

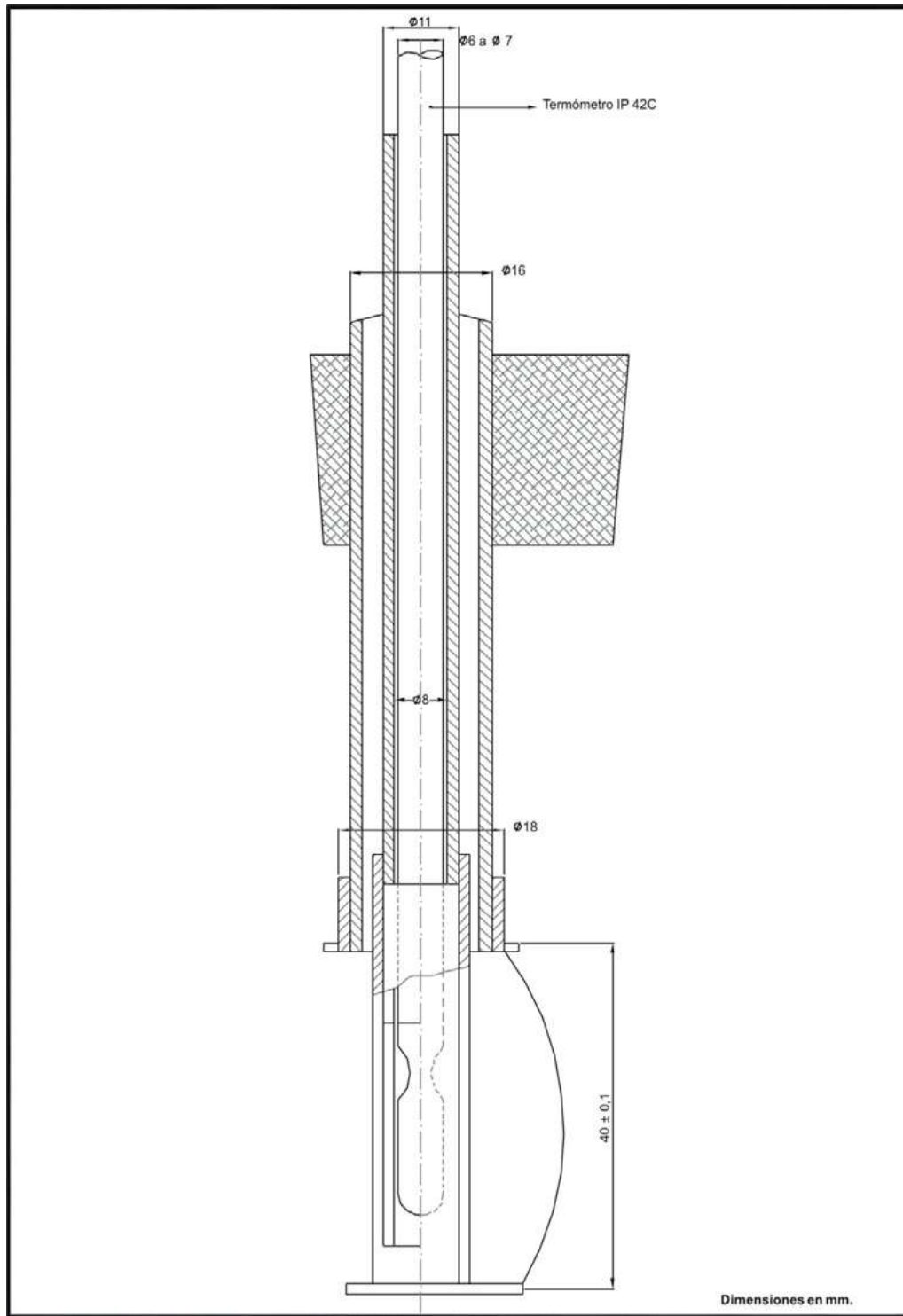


Figura 6.2_19. MECANISMO DE FLEXIÓN

SECCION 6.2.1.12.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA MEDIANTE EL NOMOGRAMA DE HEUKELOM

6.2.1.12.1. OBJETO

A partir de cuatro ensayos reológicos: Penetración, Punto de Ablandamiento anillo y bola, Punto de Fragilidad Fraass y medidas de viscosidad; Heukelom elaboró en 1969 un nomograma para caracterizar los ligantes asfálticos desde el punto de vista de su comportamiento reológico, y que permite obtener información sobre el origen y tratamiento de éstos.

Los ensayos de penetración y de viscosidad se efectúan bajo las siguientes condiciones:

- Ensayo de Penetración: 100 g, 25 ° C, 5 seg.
- Ensayo de Viscosidad Absoluta: 60°C, 300 mm Hg de presión de vacío.
- Ensayo de Viscosidad Cinemática: 135° C.

A.DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA

A.1.Nomograma de Heukelom

- El Nomograma de Heukelom, tal como muestra la **Figura 6.2_20**, tiene en la abscisa principal una escala lineal de temperatura y en las ordenadas dos escalas logarítmicas: una, en el sector superior izquierdo donde se encuentran los valores de penetración y la otra, en el sector inferior derecho donde se encuentran los valores de viscosidad. Este nomograma tiene además dos abscisas intermedias: una para el Punto de Fragilidad Fraass y otra para el Punto de Ablandamiento de anillo y bola. El diagrama se completa con un punto ubicado en la parte superior y una escala de Índice de Penetración o Índice de Pfeiffer.
- Con los valores obtenidos de los ensayos de Penetración, Punto de Ablandamiento, Punto de Fragilidad Fraass, Viscosidad Cinemática y Viscosidad Absoluta, se traza la mejor recta, la cual se traslada en forma paralela hasta el punto ubicado en la parte superior del diagrama. La intersección de esta última recta con la escala de Índice de Penetración entrega el valor de IP.
- En función de la representación obtenida, Heukelom clasifica los ligantes asfálticos en tres tipos:
 - **Tipo S:** Corresponden a este tipo los ligantes de destilación directa (Straight) normalmente utilizados en pavimentación, representados por una línea recta.
 - **Tipo W:** Corresponden a este tipo los ligantes parafínicos (Wax), representados por dos rectas sensiblemente paralelas y con una zona intermedia de discontinuidad. La zona de transición es consecuencia de los posibles estados de cristalización (fusión de las parafinas).
 - **Tipo B:** Corresponden a este tipo los ligantes soplados (Blown), representados por dos rectas que se cortan. A bajas temperaturas la recta tiene menor pendiente que la obtenida a altas temperaturas.

En la **Figura 6.2_ 21** se representan los tipos de ligante mencionados anteriormente.

A partir de las representaciones obtenidas con este nomograma es posible evaluar el comportamiento reológico de los ligantes asfálticos, así como también determinar en forma indirecta la presencia de parafinas y si ha habido durante su fabricación algún proceso de soplado.

A.2. Índice de Penetración o Índice de Pfeiffer

- a) Proporciona un criterio de medida de la susceptibilidad térmica de los ligantes asfálticos a los cambios de temperatura, dando además una indicación de su estructura coloidal y de su comportamiento reológico.
- b) En función del valor de IP obtenido, los ligantes asfálticos se pueden clasificar en:
 - Asfaltos con $IP > +1$: Son poco susceptibles a la temperatura y presentan un comportamiento de flujo no newtoniano, con cierta elasticidad y tixotropía. Corresponden a este grupo los asfaltos soplados.
 - Asfaltos con $IP < -1$: Son altamente susceptibles a la temperatura y presentan un comportamiento de flujo newtoniano.
 - Asfaltos con $-1 < IP < +1$: Poseen características, reológicas y de flujo, intermedias entre los dos casos anteriores. La mayoría de los ligantes asfálticos empleados en pavimentación presentan valores de IP comprendidos en este rango.

6.2.1.12.2. INFORME

Expresa e informe el IP obtenido del Nomograma de Heukelom (**Figura 6.2_ 20**), con aproximación a un decimal.

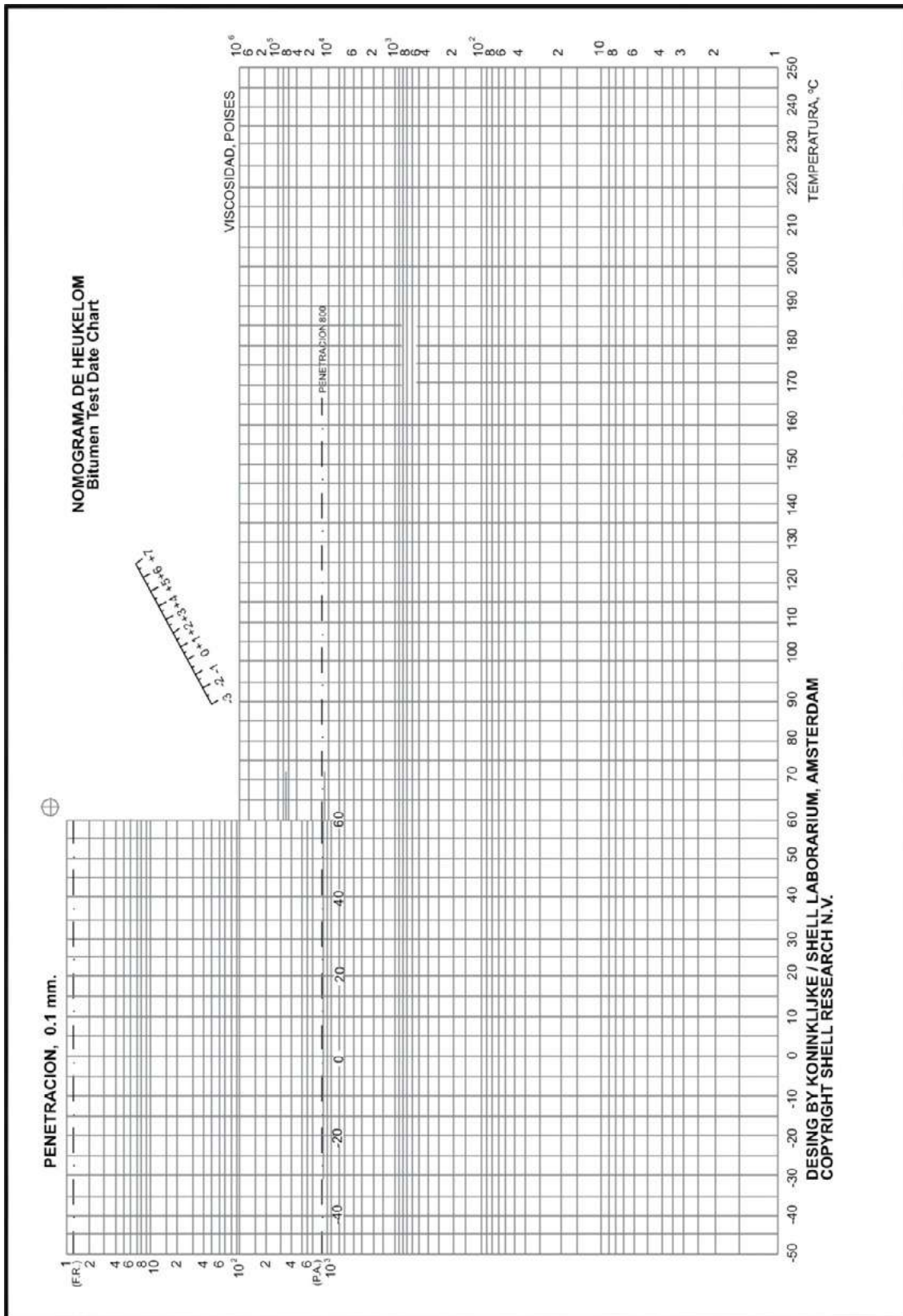


Figura 6.2_20. NOMOGRAMA DE HEULKELOM

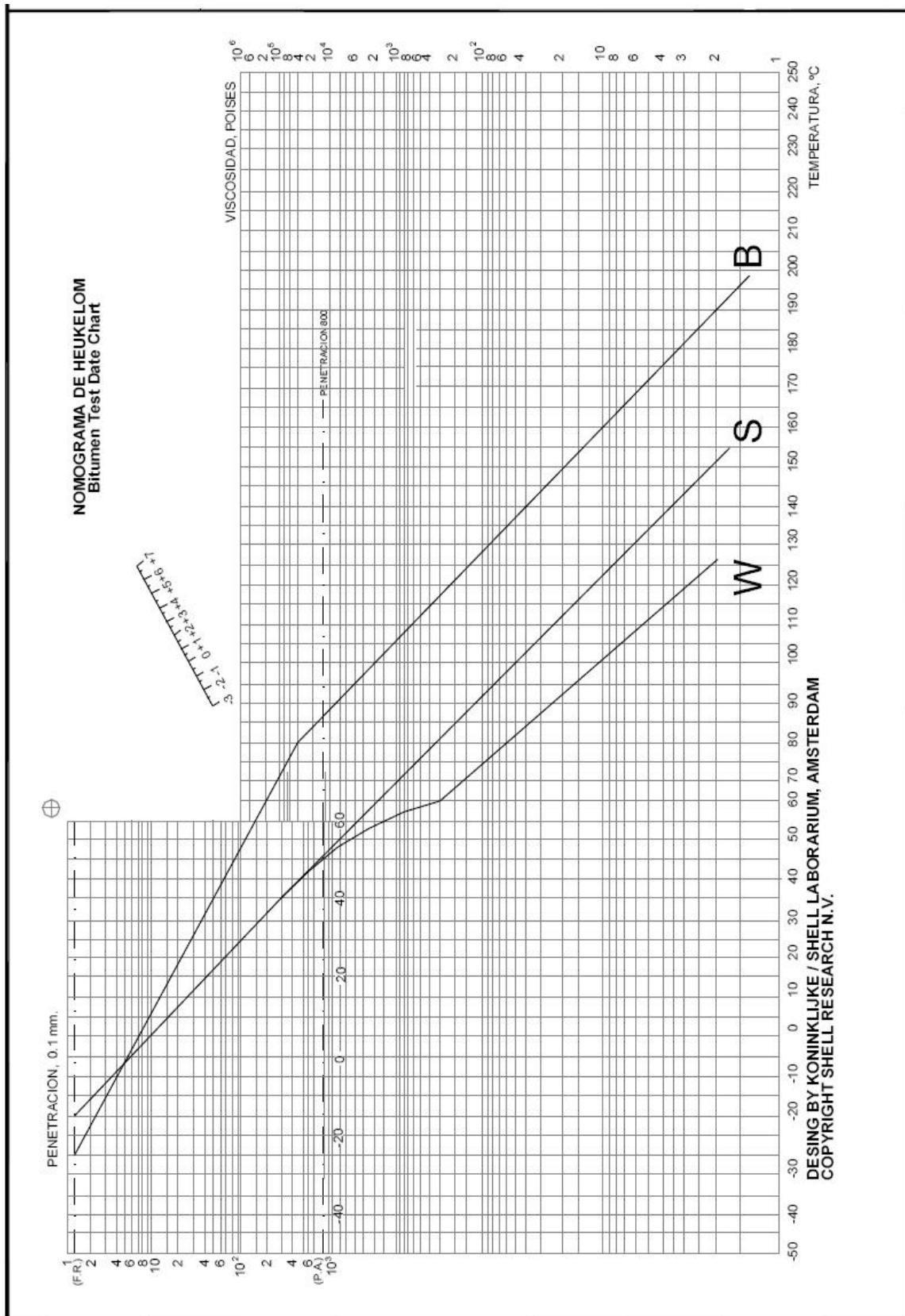


Figura 6.2_21. REPRESENTACIÓN DE LOS TIPOS DE LIGANTE EN EL NOMOGRAMA DE HEUKELOM

SECCION 6.2.1.13.

MÉTODO SUPERPAVE DE MEDICIÓN- DE PROPIEDADES REOLÓGICAS ME- DIANTE EL REÓMETRO DE CORTE DI- NÁMICO (ASTM D 7175 AASHTO TP5-98)

6.2.1.13.1.OBJETO

Este Método cubre la determinación del módulo de corte dinámico y el ángulo de fase de un ligante asfáltico cuando es ensayado al corte dinámico (oscilatorio), utilizando una geometría de ensayo de platos paralelos. Es aplicable a ligantes asfálticos con valores de módulo de corte dinámico de 100 Pa a 10 MPa. Este rango se obtiene típicamente entre 5 y 85° C. Este ensayo está pensado para determinar las propiedades lineales viscoelásticas de ligantes asfálticos, para requerimiento de especificación y no como un procedimiento para comprender la caracterización completa de las propiedades viscoelásticas del ligante.

El ensayo es apropiado para material original o envejecido según **Secciones 6.2.1.20 o 6.2.1.14.**

Este Método de ensayo no es aplicable a ligantes asfálticos que contengan material particulado de dimensiones mayores que 250 μm .

El procedimiento puede implicar operaciones, equipos y materiales peligrosos. Aquí no se proporcionan todas las medidas de seguridad asociadas con su uso. Es responsabilidad del usuario de este procedimiento establecer apropiadas medidas de seguridad e higiene y determinar la aplicabilidad de limitaciones regulatorias, previo al desarrollo del ensayo.

El procedimiento está basado en **AASHTO TP 5-98.**

6.2.1.13.2. DEFINICIONES

A.LIGANTE ASFÁLTICO

Cemento asfáltico producido a partir de residuos de petróleo, con o sin la adición de modificadores orgánicos no particulados.

B.MÓDULO DE CORTE COMPLEJO, G^*

Razón calculada dividiendo el valor absoluto de la tensión de corte máximo, por el valor absoluto de la deformación de corte máxima.

C.ÁNGULO DE FASE

El ángulo en radianes entre una deformación aplicada sinusoidalmente y la resultante de tensión sinusoidal en un ensayo tipo deformación controlada, o entre la tensión aplicada y la deformación resultante en un ensayo tipo tensión controlada.

D.MÓDULO DE PÉRDIDA DE CORTE, G''

El módulo complejo de corte multiplicado por el seno del ángulo de fase expresado en grados. Representa la componente del módulo complejo que mide la energía perdida (Disipada durante un ciclo de carga).

E.MÓDULO DE ALMACENAMIENTO DE CORTE, G'

El módulo complejo de corte multiplicado por el coseno del ángulo de fase expresado en grados. Representa la componente en fase del módulo complejo que es una medida de la energía almacenada durante un ciclo de carga.

F.GEOMETRÍA DE PLATOS PARALELOS

Se refiere a la geometría de ensayo, en la cual la muestra de ensayo es colocada entre dos platos paralelos relativamente rígidos y sometidos a corte oscilatorio.

G.CORTE OSCILATORIO

Se refiere al tipo de carga en la cual una tensión de corte o deformación de corte es aplicada a la muestra de ensayo de una manera oscilatoria, de modo que la tensión o deformación de corte varíe en amplitud alrededor de cero de manera sinusoidal.

H.VISCOELÁSTICO LINEAL

Dentro del contexto de esta especificación, se refiere a la región de comportamiento en la cual el módulo de corte dinámico es independiente de la tensión o deformación de corte.

I.ASOCIACIÓN MOLECULAR

Se refiere a la asociación que ocurre entre las moléculas de ligante asfáltico durante el almacenamiento a temperatura ambiente. A menudo referida como endurecimiento estérico en la literatura técnica, las asociaciones moleculares pueden incrementar el módulo dinámico de corte de ligantes asfálticos. El efecto de la asociación molecular es específico de cada asfalto y puede presentarse, incluso, después de pocas horas de almacenamiento.

6.2.1.13.3. SIGNIFICADO Y USO

La temperatura de ensayo utilizada en este procedimiento está relacionada con la temperatura a que estará sometido el pavimento en el área geográfica donde se usará el ligante asfáltico.

El módulo complejo de corte es un indicador de la rigidez o resistencia del ligante asfáltico a la deformación bajo carga. El módulo complejo de corte y el ángulo de fase definen la resistencia a la deformación de corte de un ligante asfáltico en la región lineal visco elástica. Otras propiedades lineales viscoelásticas, tales como el módulo de almacenamiento (G'), o el módulo de pérdida de la energía disipada durante cada ciclo de carga (G''), se pueden calcular a partir del módulo complejo y el ángulo de fase. El módulo de pérdida (G'') es una medida de la energía disipada durante cada ciclo de carga.

6.2.1.13.4. EQUIPOS Y MATERIALES

A.SISTEMA DE ENSAYO - REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO

El sistema de ensayo incluye los platos metálicos paralelos, una cámara ambiental, un dispositivo de carga y un sistema de control y registro de datos.

- 1) Platos de ensayo. Platos metálicos de ensayo, de superficies pulidas suaves. Uno de $8,00 \pm 0,05$ mm de diámetro y otro de $25,00 \pm 0,05$ mm de diámetro. En algunos reómetros, el plato base es un plato plano. Se requiere un relieve de 2 a 5

mm de alto, del mismo diámetro del plato superior. La porción en relieve hace más fácil conformar la probeta y puede mejorar la repetibilidad del ensayo.

- 1) **Cámara ambiental.** Una cámara para controlar la temperatura de la probeta de ensayo, mediante calentamiento o enfriamiento (en forma discreta), para mantener la probeta en un ambiente constante. El medio usado para el enfriamiento o calentamiento puede ser gas o líquido (Nota 1), de modo que no afecte las propiedades del ligante asfáltico. La temperatura en la cámara puede ser controlada por la circulación de un fluido o un gas acondicionado; (agua o nitrógeno son adecuados). Cuando se use aire se debe incluir un secador adecuado para prevenir la condensación de la humedad sobre los platos y fijaciones y, si se opera bajo el punto de congelación, prevenir la formación de hielo. La cámara ambiental y el controlador deben controlar la temperatura de la probeta, incluyendo gradientes térmicos dentro de la muestra, con una precisión de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. La cámara incluirá completamente los platos superior e inferior para minimizar los gradientes térmicos.

Nota 1: Si se utiliza un medio fluido, se puede requerir una unidad de baño circulatorio separada del reómetro de corte dinámico, la que bombeará el fluido a través de la cámara.

- **Controlador de temperatura.** Un controlador capaz de mantener la temperatura de las probetas dentro de $0,1^{\circ}\text{C}$, para temperaturas de ensayo en el rango de 5 a 85°C .
- **Sensor de temperatura.** Un sensor de resistencia térmica (RTD) montado dentro de la cámara ambiental, en contacto directo con el plato fijo, con un rango de temperatura de 5 a 85°C y con lectura y precisión de $0,1^{\circ}\text{C}$. Este sensor será usado para controlar la temperatura en la cámara y registrar lecturas continuas de temperatura durante el montaje, acondicionamiento y ensayo de la probeta.

Nota 2: Para este propósito se recomiendan sensores RTD de platino de acuerdo a Norma DIN 43760 (Clase A) o equivalente. El RTD será calibrado como una unidad integral con su respectivo medidor o circuito electrónico.

- **Sensor térmico de referencia.** Debe usarse un RTD o termocupla como se describe en 24.
- 1) **Dispositivo de carga.** El dispositivo de carga aplicará una carga oscilatoria sinusoidal a la probeta, a una frecuencia de $10,0 \pm 0,1$ rad/seg. Si se usan frecuencias diferentes a 10 rad/seg, la precisión debe ser de un 1%. El dispositivo de carga será capaz de aplicar carga bajo modalidad de tensión controlada o deformación controlada. Si la carga se aplica bajo modalidad de deformación controlada, el dispositivo de carga aplicará un torque cíclico suficiente para producir una deformación angular rotacional con una precisión de 100 micro radianes alrededor de la deformación especificada.

Si la carga se aplica bajo modalidad de tensión controlada, el dispositivo de carga aplicará un torque cíclico con una precisión de 10 mNm alrededor del torque especificado. La deformabilidad total del sistema a un torque de 100 NM, será menor que 2 miliradianes/Nm.

- 1) **Sistema de control y registro de datos.** Este sistema proveerá un registro de temperatura, frecuencia, ángulo de deflexión y torque. Los dispositivos usados para

medir estas cantidades satisfacen los requerimientos de precisión de la Tabla 6.2_14. Además, el sistema calculará y registrará la tensión de corte, deformación de corte, módulo complejo de corte (G^*) y ángulo de fase.

El sistema medirá y registrará G^* , en el rango de 100 Pa a 10 MPa, con una precisión menor o igual a 0,5%, y el ángulo de fase en el rango de 0 a 90 grados, con una precisión de 0,1 grados.

Tabla 6.2_14. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS

Propiedad	Precisión
Temperatura	0,1 °C
Frecuencia	1%
Torque	10 mNm
Angulo de deflexión	100 μ rad

B.MOLDE DE LA PROBETA (OPCIONAL)

Un molde de goma de silicona para formar las probetas de ensayo, con un diámetro aproximadamente igual al diámetro del plato de ensayo superior y altura aproximadamente igual a 1,5 veces la separación entre platos.

C.ESPÁTULA

Una espátula especial para conformar los bordes de la probeta de asfalto, con un canto recto de al menos 4 mm de ancho.

D.SENSOR DE TEMPERATURA CALIBRADO

Una termocupla calibrada, RTD, de espesor o diámetro 2,0 mm, es adecuada para la medición de la temperatura de una probeta o muestra de ligante asfáltico. Las termocuplas y sensores no son confiables al $\pm 0,1^{\circ}$ C a menos que se calibren de acuerdo al estándar correspondiente al Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST), siendo calibrados como unidad integral, con sus medidores asociados o circuitos electrónicos. Típicamente los RTD de platino no son adecuados debido a que son demasiado grandes para ajustarse a la separación o distancia de separación entre los platos del reómetro.

6.2.1.13.5. PRECAUCIONES

Se debe tener precaución al manipular el ligante asfáltico caliente cuando se preparan las probetas de ensayo.

6.2.1.13.6. PREPARACIÓN DE APARATOS

- Prepare los aparatos de ensayo según las recomendaciones del fabricante. Los requerimientos específicos varían para diferentes modelos y fabricantes de reómetros.
- Monte los platos de ensayo sobre las fijaciones de ensayo y ajústelos firmemente.
- Seleccione la temperatura de ensayo según el grado del ligante asfáltico o de acuerdo a la planificación preseleccionada de ensayo (Nota 3). Espere a que el reómetro alcance una temperatura estable alrededor de $\pm 0,1^{\circ}$ C de la temperatura de ensayo.

Nota 3: En La práctica AASHTO PP6 es una guía para la selección de las temperaturas de ensayo.

- Con los platos a la temperatura de ensayo, o en el medio del rango de temperatura esperado, establezca el nivel inicial de separación, (1) girando manualmente el plato móvil para reducir la separación hasta que el plato móvil toque al plato fijo (la separación cero se logra cuando el plato deja de girar completamente) o, (2) para reómetros con transductores de fuerza normal, reduciendo la separación y observado la fuerza normal y, una vez establecido el contacto entre los platos, poner la separación en cero aproximadamente cuando la fuerza normal es cero.
- Separe los platos y establezca un ajuste de separación de 1 mm más 0,05 mm (para probetas de 25 mm de diámetro) o de 2 mm más 0,05 mm (para probetas de 8 mm de diámetro).

Nota 4: En el reómetro de corte, el marco, los sensores y las fijaciones, cambian de dimensión con la temperatura, causando que la separación cero cambie durante la operación del equipo. Los ajustes en la separación no se hacen necesariamente cuando las mediciones son hechas sobre un rango limitado de temperaturas. La separación debiera ajustarse a la temperatura de ensayo o, si los ensayos se realizan en un rango de temperatura, la separación debiera ajustarse en la temperatura media del rango esperado. Para la mayoría de los instrumentos, el ajuste de la separación no es necesario mientras la temperatura de ensayo esté dentro de $\pm 12^{\circ}\text{C}$ de la temperatura a la cual se ajustó la separación cero.

6.2.1.13.7. CALIBRACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN

Realice los siguientes procedimientos de calibración y verificación a lo menos cada seis meses.

D.1. Temperatura

Prepare una probeta de prueba de ligante asfáltico o use un sello de silicona siguiendo los procedimientos estándar. Use la probeta sólo para mediciones de verificación de temperatura. Las mediciones de corte dinámico no son válidas si un detector de temperatura se inserta dentro del ligante. Verifique la temperatura de la probeta indicada por el RTD del reómetro en la prueba, usando un detector de temperatura inserto dentro de la probeta de prueba o del sello de silicona.

- a) Compare las mediciones de temperatura obtenidas desde la probeta de prueba por el RTD del reómetro. Usando la temperatura medida dentro de la probeta de prueba como temperatura de referencia, aplique una corrección apropiada a la medición de temperatura indicada por el RTD del reómetro, si es que ambas mediciones no están dentro de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.
- b) Los gradientes térmicos dentro del reómetro y la dificultad de calibración del RTD mientras está montado en el reómetro (Nota 5), hacen necesaria una medición directa de la temperatura entre los platos, usando una probeta de prueba y un sensor térmico de referencia. Esto se lleva a cabo colocando la probeta de prueba entre los platos y leyendo la temperatura en la probeta con un sensor térmico de referencia. Como sensor térmico de referencia, se usará un RTD o termocupla como se describe más abajo en este mismo punto. Ajuste la temperatura en la cámara a la mínima temperatura que será empleada en los ensayos y espere a que la cámara llegue al equilibrio térmico. Lea el instrumento RTD y la temperatura de la probeta de prueba. Suba la temperatura en incrementos de no más de 6°C y repita las mediciones hasta cubrir el rango de temperaturas de ensayo. Usando los resultados medidos, obtenga la variación de temperatura

entre el instrumento RTD y el sensor térmico de referencia inserto entre los platos. Esta variación no será una constante, sino que variará con la temperatura de ensayo. Compense el controlador térmico sobre el reómetro, de modo que se obtenga la temperatura esperada de ensayo entre los platos.

Nota 5: El RTD puede ser calibrado por un proveedor comercial. La verificación de la calibración puede ser obtenida comparando la salida desde el RTD con un termómetro de mercurio calibrado según ASTM E220. Un baño de agua con agitador es adecuado para calibrar el sensor térmico.

Seleccione un termómetro de mercurio de inmersión parcial con un rango apropiado (ASTM 90C para 0 a 30°C, o ASTM 91C para 20 a 50°C) y coloque el sensor térmico y el termómetro en el baño de agua con agitador. Fije el detector al termómetro con una banda o anillo de goma.

Espere a que el baño, el sensor y el termómetro lleguen a la temperatura de equilibrio y registre la temperatura del termómetro y la lectura del sensor. La temperatura en el baño deberá ser constante dentro de $\pm 0,1^\circ$ C.

- Inserte un sello de silicona de 2 mm de espesor por 25 mm de diámetro entre las placas como probeta de prueba, que contenga un RTD calibrado aproximado a $0,1^\circ$ C. Use un revestimiento delgado de jalea de petróleo para asegurar el buen contacto térmico.
 - Monte un RTD con forma de sello entre los platos y úselo como se describe en 24). El RTD debe ser calibrado como se describe en la Nota 5, aproximando a $0,1^\circ$ C. Este RTD no es impermeable y debe ser sumergido en asfalto caliente previo a su calibración. Para obtener medidas, el RTD es montado en el reómetro dentro de la muestra de ligante asfáltico. Después de montar la muestra y recortar el exceso de ligante, proceda con las mediciones de temperatura como se describe en 24).
 - Use una termocupla de prueba para medir la temperatura de la muestra, insertándola dentro de una muestra montada en el reómetro como se describe en "Calibración y Estandarización". La termocupla debe ser calibrada cada 3 meses usando el procedimiento descrito en la Nota 5, aproximando al $0,1^\circ$ C. Cuando se obtenga la temperatura de la muestra, el cableado y la instrumentación deben permanecer sin cambios desde que se usaron en la calibración. Para realizar una lectura de temperatura de la muestra, inserte la termocupla en el ligante asfáltico entre los platos y proceda como describe en 24).
4. Calibre el transductor de carga según las instrucciones y accesorios provistos con el aparato.
 5. Calibre el transductor de deformación según las instrucciones y accesorios provistos con el aparato.
 6. Verifique la calibración general del reómetro usando fluidos adecuados de referencia, con propiedades viscoelásticas similares al ligante asfáltico. No intente verificar la carga individual o los sensores de flexión con un fluido de referencia. No se han identificado patrones adecuados.

Nota 6: Para propósitos de verificación, se pueden usar fluidos de referencia que exhiban módulos y ángulos de fase dentro del rango de medición. Debido a que los fluidos de referencia no tienen la misma dependencia de la temperatura que

los ligantes asfálticos, la interpretación de resultados obtenidos a partir de tales fluidos debe ser realizada con precaución.

6.2.1.13.8. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS

A. PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE ENSAYO

Si se va a ensayar un ligante original, obtenga las muestras de ensayo de acuerdo al **Método A0101** "Método de Muestreo".

- Caliente el ligante asfáltico del cual se obtendrá la probeta, calentándolo hasta que esté suficientemente fluido para vaciar las probetas. Este calentamiento previo elimina las asociaciones moleculares reversibles (endurecimiento estérico) que ocurren durante el almacenamiento normal a temperatura ambiente. No exceda una temperatura de 163° C. Cubra la muestra y agite ocasionalmente durante el proceso de calentamiento para asegurar la homogeneidad y remover las burbujas de aire. Minimice la temperatura y tiempo de calentamiento, para evitar el endurecimiento de la muestra

Nota 7: Se recomiendan temperaturas mínimas de vertido que produzcan una consistencia equivalente al aceite de motor SAE 10W30 a temperatura ambiente (de fácil vertido, pero no excesivamente fluido). Se debe evitar el calentamiento de ligantes asfálticos a temperaturas superiores a 135° C, sin embargo, con algunos asfaltos modificados o ligantes muy envejecidos, pueden requerirse temperaturas de vertido por sobre 135° C.

- El material frío proveniente de los contenedores de almacenamiento debe ser calentado previo a su uso. La estructura desarrollada durante el almacenamiento puede resultar en una sobreestimación de los módulos hasta en un 50%.

B. PREPARACIÓN DE PROBETAS DE ENSAYO

Ponga en cero la separación como se describe en "Precauciones". Cuidadosamente limpie y seque las superficies de los platos de ensayo, para que la probeta se adhiera a ambos platos uniforme y fuertemente. Lleve la cámara a aproximadamente 45° C cuando use las probetas de 8 mm.

Lleve la cámara a la temperatura de ensayo o comienzo del rango (ver Nota 4) cuando use las probetas de 25 mm. Esto es para precalentar los platos y así permitir la adhesión de la probeta a éstos. Prepare una probeta de ensayo usando uno de los métodos especificados en 27a) o 27b).

- Remueva el plato móvil y mientras sostiene el contenedor de muestras aproximadamente 15 mm sobre la superficie del plato de ensayo, vierta el ligante asfáltico en el centro del plato superior continuamente hasta que cubra el plato entero, excepto aproximadamente una franja de 2 mm de ancho en el perímetro (Nota 8). Espere varios minutos para que la probeta se enfríe y adquiera rigidez; entonces monte el plato móvil en el reómetro.

Nota 8: Se puede usar un gotario o una jeringa, para transferir el asfalto caliente al plato.

- Vierta el ligante asfáltico caliente dentro del molde de goma de silicona, lo que formará una píldora de diámetro aproximadamente igual al diámetro del plato superior y altura aproximadamente igual a 1,5 veces el ancho de la separación de ensayo. Permita al molde de goma de silicona enfriarse a temperatura am-

biente. Remueva la probeta del molde y centre la pílora sobre el plato inferior del reómetro.

Nota 9: El molde lleno puede ser enfriado en un congelador para facilitar el desmolde de ligantes asfálticos de grados blandos. Enfríe el molde en el congelador sólo el tiempo mínimo necesario para facilitar el desmolde de la probeta.

C.CONFORMADO DE LA PROBETA DE ENSAYO

Después que la probeta ha sido colocada sobre uno de los platos de ensayo como se describe arriba, acerque los platos de carga para comprimir la masa de ligante entre los dos platos. Mueva los platos juntos hasta que la separación entre ambos iguale la distancia de separación de la probeta de ensayo en $\pm 0,05$ mm.

- Retire el exceso de asfalto del borde de la probeta moviendo la espátula adecuada en caliente alrededor del perímetro de los platos superior e inferior. La herramienta puede ser calentada sobre una plancha caliente o en una llama.

Nota 10: El módulo calculado es proporcional a la cuarta potencia del radio de la probeta. Enrase cuidadosamente para asegurar que las medidas sean confiables.

- Cuando se ha conformado la probeta, disminuya la separación de los platos en 0,05 mm hasta la separación deseada de ensayo. Esto causará una suave salida del ligante asfáltico en la periferia de la probeta de ensayo.

6.2.1.13.9. PROCEDIMIENTO

- a. Lleve la probeta a la temperatura de ensayo $\pm 0,1^{\circ}$ C. Vea la Nota 3

Nota 11: La separación debiera ajustarse al inicio de la temperatura de ensayo (ver 31 a) o al medio del rango de temperatura de ensayo esperada (ver 31 b). Vea la Nota 4 para guiarse en el ajuste de la separación.

Típicamente se obtienen resultados de ensayo confiables con una sola muestra, en un plato de 8 a 25 mm, usando temperaturas alrededor de 12° C de la temperatura a la cual se ajustó la separación.

- b. Ajuste el controlador de temperatura a la temperatura deseada de ensayo, incluyendo cualquier compensación requerida como en 23. Permita que la temperatura indicada en el RTD llegue a la temperatura deseada. El ensayo se iniciará sólo después que la lectura ha permanecido a la temperatura deseada $\pm 0,1^{\circ}$ C, por al menos 10 min.

Nota 12: Es imposible especificar un sólo tiempo de equilibrio que sea válido para los reómetros producidos por distintos fabricantes.

El diseño (baño de fluido u horno de aire) del sistema de control ambiental y la temperatura de inicio determinarán el tiempo requerido para alcanzar la temperatura seleccionada.

- c. Modo de control de deformación. Cuando se opere en un modo de control de deformación, determine el valor de deformación de acuerdo a los valores del módulo complejo. Controle la deformación dentro del 20 % del valor dado por la ecuación 1.

$$\gamma(\%) = \frac{12,0}{(G^*)^{0,29}} \quad (1)$$

Donde:

γ : Deformación de corte (%).

G^* : Modulo complejo (kPa).

Tabla 6.2_15. VALORES DE DEFORMACIÓN

Materiales	kPa	Deformación (%)	
		Nivel	Rango
Ligante Original	1,0 G^* /sen δ	12	9 a 15
Residuo horno rotatorio (RTOFT) Sección 6.2.1.20	1,0 G^* /sen δ	10	8 a 12
Residuo cámara Sección 6.2.1.14	1,0 G^* /sen δ	1	0,8 a 1,2

- d. Modo de control de tensión. Cuando opere en modo de control de tensión, determine el nivel de tensión de acuerdo al valor del módulo complejo. Controle la tensión dentro del 20% del valor calculado por la ecuación 2.

$$\tau = 0,12 (G^*)^{0,71}$$

Donde:

τ : Tensión de corte (kPa).

G^* : Modulo complejo (kPa.)

Tabla 6.2_16. NIVELES OBJETIVOS DE TENSIÓN

Material	kPa	Tensión (kPa)	
		Nivel	Rango
Ligante original	1,0 G^* /sen δ	0,12	0,09 a 0,15
Residuo horno rotatorio (RTOFT) en Sección 6.2.1.20	2,2 G^* /sen δ	0,22	0,18 a 0,26
Residuo de cámara de presión (PAV) en Sección 6.2.1.14	5.000 G^* /sen δ	50	40 a 60

- e. Cuando la temperatura se ha equilibrado, acondicione la muestra aplicando la tensión requerida por 10 ciclos a una frecuencia de 10 rad/seg (Nota 13). Obtenga las mediciones de ensayo registrando datos de 10 ciclos adicionales. Reduzca los datos obtenidos para la segunda serie de 10 ciclos y así producir un valor del módulo complejo y ángulo de fase. Para reducir los datos se usa típicamente una transformada rápida de Fourier. Se pueden obtener múltiples mediciones para verificar que la muestra está apropiadamente preparada. La separación entre el ligante y los platos, o la fractura en la muestra, pueden provocar disminuciones en los módulos en mediciones repetidas. Algunos ligantes pueden exhibir un módulo reducido con aplicación continua de tensiones de corte (múltiples mediciones). El sistema de registro de datos automáticamente obtiene y reduce los datos cuando está apropiadamente activado. Cuando se realicen ensayos

a más de una frecuencia, inicie el ensayo a la frecuencia más baja e incremente hasta la frecuencia mayor.

- f. El sistema de adquisición de datos especificado en 17 d) automáticamente calcula G^* y a partir de la información registrada, cuando está apropiadamente activado.
- g. Inicie el ensayo inmediatamente después de preparar y conformar la probeta. El ensayo a temperaturas subsecuentes deberá ser hecho tan rápidamente como sea posible para minimizar el efecto de las asociaciones moleculares (endurecimiento estérico) que pueden causar un incremento en los módulos si la probeta permanece en el reómetro por un período prolongado. Cuando ensaye a múltiples temperaturas todos los ensayos deben ser realizados dentro de 4 h.

6.2.1.13.10. CÁLCULOS

El módulo dinámico y el ángulo de fase dependen de la magnitud de la deformación de corte; el módulo y el ángulo de fase para cementos asfálticos modificados y no modificados disminuye al aumentar la deformación de corte, como muestra la Figura 6.2_ 22. Un gráfico como el mostrado en la Figura 6.2_ 22 se puede generar aumentando gradualmente la amplitud de carga o deformación, con lo cual produce un barrido de deformación. No es necesario generar tales barridos durante ensayos normales, sin embargo, tales gráficos son útiles para verificar los límites de la región lineal.

Una región lineal puede ser definida en base a pequeñas deformaciones, donde el módulo es relativamente independiente de la deformación de corte. Esta región variará según la magnitud del módulo complejo. La región lineal es definida como el rango en deformación donde el módulo complejo es 95% o más del valor para deformación cero.

La tensión de corte varía linealmente desde cero en el centro de los platos hasta un máximo en las extremidades del perímetro del plato. La tensión de corte se calcula a partir del torque aplicado o medido, de la deformación aplicada o medida y de la geometría de las probetas de ensayo.

6.2.1.13.11. PRECISIÓN

Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados de corte dinámico obtenidos por este método, están dados en la **Tabla 6.2_ 17**. Los valores en la columna 2 de la **Tabla 6.2_ 17** son los coeficientes de variación que se consideran apropiados para las condiciones de ensayo descritas en la columna 1.

6.2.1.13.12. REPETIBILIDAD

Precisión para un mismo operador. Resultados duplicados obtenidos por el mismo operador, usando el mismo equipo y en el mismo laboratorio, no serán considerados dudosos a menos que la diferencia en los resultados, expresada como porcentaje de sus promedios, exceda los valores dados en la **Tabla 6.2_ 17 columna 3**.

6.2.1.13.13. REPRODUCIBILIDAD

Precisión multilaboratorio. Dos resultados emitidos por dos diferentes operadores, ensayando el mismo material en diferentes laboratorios, no serán considerados dudosos a menos que la

diferencia en los resultados, expresada como porcentaje de sus promedios, exceda los valores dados en la **Tabla 6.2_ 17** columna 3.

6.2.1.13.14. SESGO

Aún no existen referencias aceptables que permitan determinar el sesgo.

Tabla 6.2_17. PRECISIONES ESTIMADAS

Condición	Coefficiente de Variación I (1 s %)	Rango de dos resultados de ensayo (d2s%)
Precisión mismo operador:		
Ligante original: $G^*/\text{sen } \delta$ (kPa)	3,4	9,5
Residuo RTOFT: $G^*/\text{sen } \delta$ (kPa)	3,9	11
Residuo PAV: $G^* \text{ sen } \delta$ (kPa)	7,9	22,4
Precisión multilaboratorio:		
Ligante original: $G^*/\text{sen } \delta$ (kPa)	10,3	29,1
Residuo RTOFT: $G^*/\text{sen } \delta$ (kPa)	11,1	31,3
Residuo PAV: $G^*/\text{sen } \delta$ (kPa)	19,8	56,1

(1) Estos valores representan el 1s% y el 2s% descritos en Práctica ASTM C670

6.2.1.13.15. INFORME

Entregue la identificación y descripción completa del material ensayado, incluyendo nombre, código, fuente y tipo de contenedor de la muestra.

Describa el instrumento usado para el ensayo, incluyendo marca y modelo y, si se realizó en un reómetro a deformación o tensión constante, tipo de cámara ambiental y cualquier otra información necesaria para describir el reómetro.

Los niveles de deformación y tensión especificados en las Tabla 6.2_ 15 y Tabla 6.2_ 16 han sido seleccionados para asegurar un punto de referencia común, que ha mostrado estar dentro de la región lineal para ligantes asfálticos originales y modificados. Algunos sistemas pueden no ser lineales en esta región. Cuando esta situación se observe, informe el módulo a los niveles de tensión o deformación recomendados, pero informe que las condiciones de ensayo resultaron fuera de la región lineal.

Para cada ensayo informe lo siguiente:

- Diámetro del plato de ensayo, aproximado a 0,1 mm y separación de ensayo, aproximados a 1 μ m.
- Temperatura de ensayo, aproximada a 0,1^o C.
- Frecuencia de ensayo, aproximada a 0,1 rad/seg.
- Amplitud de deformación, aproximada a 0,01 %, o el torque, aproximado al mNm.

- e) El módulo complejo G^* para las 10 mediciones, en kPa con tres cifras significativas.
- f) El ángulo de fase para los segundos 10 ciclos, aproximado a 0,1 grados.

6.2.1.13.16. ANEXO

A.LINEALIDAD DE ENSAYO DE LIGANTES ASFÁLTICOS (INFORMACIÓN OBLIGATORIA)

A.1.Alcance

Este procedimiento permite determinar la linealidad de ligantes asfálticos originales (no envejecidos). La linealidad de ligantes asfálticos está determinada para la respectiva temperatura más alta del grado de desempeño del ligante asfáltico.

A.2.A1.2 Procedimiento

Prepare muestras de acuerdo según lo descrito en extracción y preparación de muestras del presente Método.

Programe el reómetro de corte dinámico para realizar un barrido de tensión o deformación.

- a) Para reómetros controlados por deformación, ajuste la deformación inicial al 2 % y la deformación final al 30 %, con un incremento de deformación de 2%. Ajuste la frecuencia a 10 rad/seg.
- b) Para reómetros controlados por tensión, ajuste la frecuencia a 10 rad/seg y calcule las tensiones inicial y final como sigue:

$$\text{Tensión inicial, (kPa)} = (12 \% \text{ de tensión})/6$$

$$\text{donde: } 12 \% \text{ de tensión} = 0,12G^*$$

$$\text{Tensión final (kPa)} = \text{Tensión inicial} \times 15$$

Nota A1.1: G^* puede ser obtenido a partir de datos de clasificación de acuerdo a este Método.

Nota A1.2: Ejemplo de cálculo. Asumiendo un ligante asfáltico PG 64-22, con $G^* = 1,290$ al 12% de deformación.

Donde:

$$12 \% \text{ de tensión} = 1,290 * 0,12 = 0,1548 \text{ kPa}$$

$$\text{Tensión de inicio} = 0,1548/6 = 0,0258 \text{ kPa}$$

$$\text{Tensión final} = 0,0258 * 15 = 0,387 \text{ kPa}$$

Siga los pasos de acuerdo con Procedimiento del presente Método, con la modificación mostrada en la sección A1.2.2 para realizar el ensayo de barrido por tensión o deformación.

Después de alcanzado el equilibrio térmico, condicione la muestra por 10 ciclos. Inicie la toma de mediciones para los próximos 10 ciclos. El ensayo se repite para cada nivel de tensión / deformación.

A.3. Informe lo siguiente:

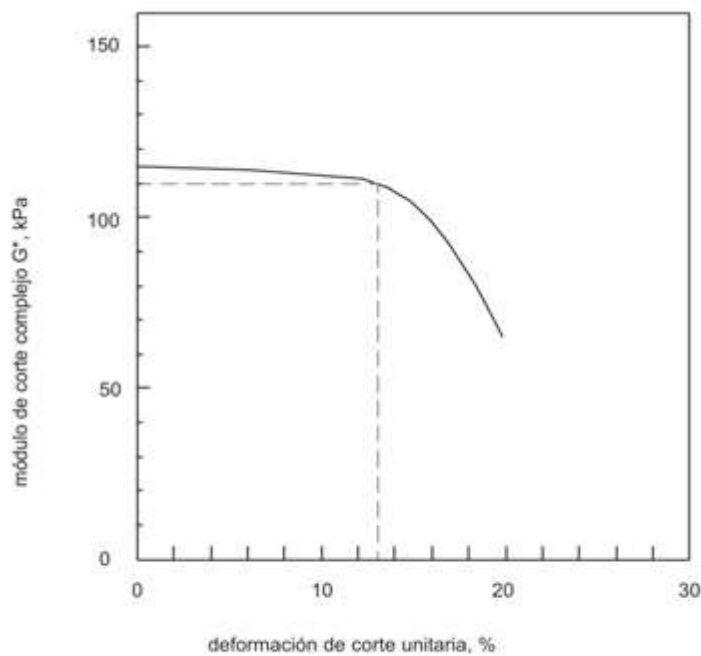
- a) Módulo de corte complejo (G^*) con tres cifras significativas.
- b) Deformación, aproximada al 0,1%.
- c) Frecuencia, aproximada a 0,1 rad/seg.

A.4. Interpretación de datos

Calcule $0,9 G^*$ al nivel de deformación mínimo de 2%

Determine G^* al 12 % de deformación

Considere el material lineal si G^* (al 12 % de deformación), $0,9 G^*$ (al 2% deformación).
Si no, el material se considera no lineal



Ejemplo de un ensayo de barrido de deformación usado para definir el límite viscoelástico lineal para el ensayo mecánico dinámico del asfalto

Figura 6.2_22. ENSAYO DE BARRIDO

SECCION 6.2.1.14.

MÉTODO SUPERPAVE DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO DE LIGANTES ASFÁLTICOS EN CÁMARA A PRESIÓN (PAV) ASTM D 6521 AASHTO PP 195-98)

6.2.1.14.1. OBJETO

Este método cubre el envejecimiento (oxidación) acelerado de ligantes asfálticos mediante aire presurizado y temperaturas elevadas. El método de ensayo pretende simular el envejecimiento por oxidación de ligantes asfálticos en servicio; está prescrito para residuos provenientes del ensayo de película delgada rotatoria, **Sección 6.2.1.20**

Este método está diseñado para simular el envejecimiento por oxidación que ocurre en ligantes asfálticos durante la vida de servicio del pavimento. El residuo proveniente de este ensayo puede ser usado para estimar las propiedades físicas o químicas de ligantes asfálticos después de cinco a diez años de envejecimiento en el pavimento.

El ligante asfáltico es envejecido con el **Sección 6.2.1.20** "Película delgada rotatoria", previo al envejecimiento acelerado descrito en este método. Muestras de ligante asfáltico originales, así como residuos de horno de película delgada rotatoria y el residuo del presente ensayo, se usan para determinar propiedades de desempeño del asfalto.

El envejecimiento de ligantes asfálticos durante el servicio es afectado por un conjunto de variables asociadas, tales como las proporciones volumétricas de la mezcla, la permeabilidad de la mezcla, propiedades de los áridos y posiblemente otros factores. Este ensayo permite evaluar la resistencia relativa, de distintos ligantes asfálticos, al envejecimiento por oxidación para temperaturas seleccionadas y no considera el conjunto de todas las variables descritas.

Para ligantes asfálticos de diferentes grados o provenientes de distintas fuentes, no existe una correlación única entre el tiempo de envejecimiento y la temperatura, utilizados en el ensayo, con la edad y temperatura del pavimento en servicio. Por lo tanto, para un conjunto de condiciones climáticas de servicio no es posible seleccionar una sola temperatura y tiempo de envejecimiento en la cámara presurizada, que prediga las propiedades de todos los ligantes asfálticos para un conjunto específico de condiciones de exposición en servicio.

El grado de endurecimiento relativo de diferentes ligantes asfálticos varía para diferentes temperaturas de envejecimiento en la cámara presurizada. Por lo tanto, dos ligantes asfálticos pueden envejecer similarmente a una cierta temperatura, pero hacerlo de manera distinta a otra temperatura.

Este método puede implicar operaciones, equipos y materiales peligrosos. El método no indica todas las medidas de seguridad asociadas con el ensayo. Es responsabilidad del usuario establecer procedimientos y las medidas de seguridad e higiene apropiadas.

6.2.1.14.2. DEFINICIONES

A.LIGANTE ASFÁLTICO

Cemento de base asfáltica producido a partir de residuos de petróleo, ya sea con o sin adición de modificadores orgánicos no particulados.

B.EN SERVICIO

Hace referencia al envejecimiento del ligante asfáltico que ocurre en el pavimento como resultado de los efectos combinados del tiempo, el tránsito y el medio ambiente.

6.2.1.14.3. EQUIPOS Y MATERIALES

A.SISTEMA DE ENSAYO

Consiste en una cámara de presión, dispositivos controladores de presión, dispositivos controladores de temperatura, dispositivos de medición de presión y temperatura y un dispositivo de registro de temperatura. **Figura 6.2_ 23.**

- a) **Cámara de presión.** Una cámara de presión de acero inoxidable diseñada para operar a $2,1 \pm 0,1$ MPa, entre 90 y 110° C, con dimensiones interiores adecuadas para alojar una repisa con 10 bandejas estándares (de acuerdo a **Sección 6.2.1.19**).

La cámara de presión alojará en su interior una repisa apta para sostener 10 bandejas de acero inoxidable en posición horizontal, de modo que el espesor de una delgada capa de ligante ubicada en el fondo de cada bandeja no varíe más de 0,5 mm a través de cualquier diámetro del recipiente.

El bastidor será diseñado para una fácil inserción y remoción desde la cámara, cuando todos los elementos y el ligante estén a la temperatura de ensayo. En la **Figura 6.2_ 24** se muestra un esquema de la cámara, el bastidor con las bandejas y los requerimientos dimensionales específicos.

Nota 1: La cámara puede ser una unidad independiente para ser colocada en un horno de tiro forzado para el acondicionamiento del ligante asfáltico o parte integrante del sistema de control de temperatura (por ejemplo, por calentamiento directo de la cámara o por un sistema envolvente con una unidad de calentamiento adjunta, horno de tiro forzado o baño líquido).

b) Dispositivos controladores de presión

- i. Una válvula de seguridad que evite presiones superiores a 2,2 MPa en la cámara durante el proceso de envejecimiento.
- ii. Un regulador de presión capaz de controlar la presión dentro de la cámara con una precisión de $\pm 1\%$, y con una capacidad adecuada para reducir la presión proveniente de la fuente de aire comprimido, tal que la presión dentro de la cámara cargada se mantenga a $2,1 \pm 0,1$ MPa durante el ensayo.
- iii. Una válvula de desangrado de liberación lenta que reduzca la presión en la cámara una vez terminada el ensayo, a velocidad

constante, desde 2,1 MPa hasta la presión atmosférica local, en un lapso de 9 ± 1 min.

c) Dispositivos controladores de temperatura

Uno de los dispositivos de control de temperatura descritos en i, ii, iii, para mantener la temperatura durante el proceso de envejecimiento en todos los puntos dentro de la cámara presurizada con una precisión de $\pm 0,5^\circ\text{C}$, y un controlador digital proporcional para mantener la temperatura especificada de control.

Un horno de tiro forzado o baño líquido (Nota 1) capaz de llevar la cámara cargada despresurizada a la temperatura de envejecimiento deseada $\pm 0,5^\circ\text{C}$, en un lapso de no más de 2 h, de acuerdo al registro del sensor térmico de resistencia (RTD) dentro de la cámara (Nota 2).

Mantener la temperatura de envejecimiento $\pm 0,5^\circ\text{C}$ en todos los puntos del interior de la cámara. Las dimensiones interiores del horno deben ser lo suficientemente amplias para permitir la libre circulación del aire forzado dentro del él, y alrededor de la cámara cuando ésta se encuentre dentro del horno. El horno tendrá un soporte que sostenga la cámara cargada en una posición elevada sobre la superficie inferior del horno (además debe mantener el espesor de la película de ligante en las bandejas dentro de la tolerancia especificada).

Una cámara de presión con un sistema integral de control de temperatura, que sea capaz de llevar la cámara de presión cargada presurizada (Nota 1) a la temperatura de condicionamiento deseada $\pm 0,5^\circ\text{C}$ dentro de 2 h, de acuerdo al registro del RTD dentro de la cámara de presión cargada, y mantener la temperatura en todos los puntos dentro de la cámara a presión a la temperatura de envejecimiento $\pm 0,5^\circ\text{C}$. (Nota 2)

d) Dispositivos de medición de presión y temperatura:

Un RTD de platino con precisión de $0,1^\circ\text{C}$ y que satisfaga el estándar DIN 43760 (Clase A) o equivalente, para medir la temperatura dentro de la cámara de presión. El RTD será calibrado como una unidad integral con su respectivo medidor o circuito electrónico.

Nota 2: El RTD o resistencia térmica y su medidor pueden ser calibrados por el fabricante o por el proveedor comercial. La verificación del RTD se puede realizar de acuerdo con ASTM E 220. Un baño de agua con agitador es adecuado para calibrar el detector térmico. Seleccione un termómetro de mercurio de vidrio de inmersión parcial con un rango apropiado y coloque el detector térmico y el termómetro en el baño de agua.

Fije el detector al termómetro de vidrio con una banda de goma o una liga. Permita que se alcance el equilibrio térmico entre el baño, el detector y el termómetro, y luego registre la temperatura del termómetro de vidrio y la lectura exterior proveniente del detector térmico. La temperatura en el baño no debe cambiar más de $0,1^\circ\text{C}$ por minuto durante el proceso de calibración.

Dispositivo de registro de temperatura. Una registradora de cinta u otro tipo de sistema de adquisición de datos capaz de registrar temperaturas durante el ensayo con exactitud de $0,1^\circ\text{C}$.

Como alternativa se puede usar un dispositivo electrónico capaz de registrar temperaturas máximas y mínimas (precisión $\pm 0,1^\circ\text{C}$).

Un manómetro capaz de medir la presión dentro de la cámara con una precisión de $\pm 1 \%$ durante el ensayo.

B.BANDEJAS DE ACERO INOXIDABLE

Diez bandejas de acero inoxidable de acuerdo a lo dispuesto en la **Sección 6.2.1.19**.

C.BALANZA

Una balanza conforme a los requerimientos de **AASHTO M231**, Clase G2.

D.HORNO DE VACÍO

Un horno de vacío capaz de mantener una temperatura sobre los 180°C con una precisión de $\pm 5,0 \text{ }^\circ\text{C}$ y un vacío de 1,0 kPa absoluto.

E.SISTEMA DE VACÍO

Un sistema de vacío capaz de generar y mantener presiones bajo 15 kPa absolutos. Un sistema de vacío adecuado incluye una bomba de vacío, aspirador de aire o un sistema casero de vacío.

F.MATERIALES

Aire comprimido comercial o equivalente.

G.CALIBRACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN

H.DETECTOR DE TEMPERATURA

Verifique la calibración del RTD a 0,1°C al menos cada 6 meses, usando un termómetro calibrado.

I.MEDIDOR DE PRESIÓN

Calíbrelo para una precisión de un 1 % al menos cada 6 meses.

Nota 3: Usualmente el manómetro de presión es calibrado por el fabricante o por un servicio de calibración comercial. La verificación de la estabilidad continua del manómetro dentro de los requerimientos especificados debería hacerse periódicamente, comprobándolo con respecto a otro dispositivo de medición de presión certificado.

J.PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA ÓPTIMA PARA APLICAR PRESIÓN A LA CÁMARA, EFECTÚE VARIAS PRUEBAS.

Cargue la cámara con la repisa y las bandejas vacías e incremente la temperatura hasta la temperatura de envejecimiento. Cuando la temperatura dentro de la cámara esté a 10°C de la temperatura de envejecimiento, aplique una presión de aire de $2,1 \pm 0,1 \text{ MPa}$. Registre el incremento de temperatura producido al aplicar la presión. Repita el procedimiento al menos tres veces y use el promedio del incremento de las temperaturas para establecer la temperatura a la cual se debe aplicar la presión a la cámara para realizar el proceso de envejecimiento.

6.2.1.14.4. PROCEDIMIENTO

1. Use los procedimientos estándares de seguridad en el laboratorio para la manipulación del ligante asfáltico caliente, cuando prepare la muestra y remueva el residuo desde la cámara de presión. Tenga especial precaución cuando libere la presión de la cámara.
2. Envejezca el ligante asfáltico mediante la **Sección 6.2.1.20**, Método de ensayo de película delgada rotatoria, y determine el cambio de masa producido.

3. Combine el residuo caliente proveniente del ensayo anterior dentro de un sólo recipiente, agite para mezclar y vacíelo en las bandejas de acero inoxidable o bien deje que el residuo se enfríe a temperatura ambiente, cubra y reserve hasta realizar el ensayo de envejecimiento acelerado. Si el ligante asfáltico se deja enfriar a temperatura ambiente, se debe calentar nuevamente hasta que esté suficientemente fluido, luego agite para mezclar y después vierta a las bandejas.

Para remover el asfalto desde las botellas de envejecimiento de película delgada rotatoria, puede raspar las mismas para asegurar que hay suficiente material para ensayos posteriores. Actualmente el raspado no está permitido en la **Sección 6.2.1.20**. Si se usa este Método, se debe informar con los resultados del ensayo.

4. Coloque la repisa dentro de la cámara de presión. Si se va a usar un horno, coloque la cámara dentro del horno. Si se va a usar un control integrado de temperatura en la cámara, encienda el calentador. Seleccione una temperatura de envejecimiento y precaliente la cámara de presión a la temperatura de envejecimiento seleccionada.

Nota 4: Se puede precalentar la cámara de presión 10 a 15°C por sobre la temperatura de acondicionamiento para reducir la caída de temperatura en la cámara durante el proceso de carga de las bandejas, y minimizar el tiempo requerido para estabilizar el sistema una vez cargado y obtener así la temperatura requerida con mayor facilidad.

Nota 5: La temperatura de envejecimiento en el PAV o Cámara de envejecimiento acelerado se selecciona considerando diferentes regiones climáticas. Temperaturas que excedan aproximadamente 115°C pueden cambiar la estructura química del ligante asfáltico envejecido en ensayos acelerados, y deben evitarse.

5. Coloque las bandejas de acero inoxidable sobre una balanza y agregue $50 \pm 0,5$ g de ligante asfáltico a cada una. Esto producirá una capa de ligante de 3,2 mm de espesor, aproximadamente.

Nota 6: El cambio de masa no se mide como parte de este procedimiento. El cambio de masa no es significativo porque el ligante asfáltico absorbe aire como resultado de la presurización. Cualquier ganancia en masa como resultado de la oxidación se ve enmascarado por la absorción de aire por parte del ligante como resultado de la presurización.

6. Si la cámara es precalentada a una temperatura distinta a la deseada, reajuste el control de temperatura del dispositivo calentador a la temperatura de envejecimiento.
7. Coloque las bandejas con ligante asfáltico en el bastidor (bandejas con ligantes asfálticos provenientes de distintas fuentes o grados pueden ser colocadas en la cámara durante un mismo ensayo). Coloque la repisa con las bandejas llenas dentro de la cámara de presión y ciérrela.
8. Si se usa un horno, coloque la cámara de presión cargada y ciérrela dentro del mismo.
9. Conecte las líneas transductoras de temperatura y presión a las conexiones externas de la cámara.
10. Realice las operaciones descritas en los numerales 6 al 9 tan pronto como sea posible para evitar el enfriamiento de la cámara y la repisa.
11. Espere hasta que la temperatura dentro de la cámara de presión esté dentro de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ debajo de la temperatura de envejecimiento, aplique una presión de aire de $2,1 \pm 0,1$ MPa e inicie el registro del tiempo del ensayo. Si la temperatura dentro de la cámara de

presión no alcanza la temperatura deseada mediante la aplicación de presión dentro de 2 h a contar de la carga del bastidor con las bandejas, interrumpa el procedimiento y descarte las muestras de asfalto.

Nota 7: Presiones que excedan 2,1 MPa no incrementan sustancialmente la rapidez de envejecimiento. Por ello, presiones mayores que la señalada no se justifican.

Nota 8: Una vez presurizada, la temperatura dentro de la cámara de presión se equilibra rápidamente. El tiempo bajo presión, sin incluir el período de precalentamiento a presión ambiente, corresponde al tiempo de envejecimiento. Dado que el ligante asfáltico ha sido envejecido a 163 °C en el ensayo de película delgada rotatoria, el envejecimiento producido a presión ambiente durante el período de precalentamiento es pequeño, y por lo tanto, ese tiempo no se considera.

12. Mantenga la temperatura y la presión de aire dentro de la cámara por 20 h \pm 10 min.
13. Al final del período de ensayo de 20 h, comience a reducir lentamente la presión dentro de la cámara usando la válvula desangradora o válvula de alivio. Ajuste dicha válvula a una apertura tal que requiera 9 \pm 1 min. para igualar las presiones externas e internas de la cámara, evitando así el excesivo burbujeo y la formación de espuma en el ligante. Durante este proceso puede ser necesario ajustar la configuración de la aguja de la válvula a la caída de presión para mantener una rapidez de caída de presión aproximadamente lineal. No incluya los tiempos de liberación e igualación de presión, como parte de las 20 h del período de envejecimiento.
14. Si la temperatura indicada por el dispositivo de registro de temperatura se sitúa sobre o bajo la temperatura de envejecimiento \pm 0,5 °C por más de 60 min. durante el período de 20 h, el ensayo se declara no válido, y deseche el material.
15. Remueva el bastidor con las bandejas desde la cámara y coloque las bandejas en un horno a 163 °C por 15 \pm 1 min. Caliente hasta que el ligante esté lo suficientemente fluido. Agite suavemente para ayudar a la remoción de burbujas de aire.

Nota 9: Se recomiendan las temperaturas mínimas de vertido que producen una consistencia equivalente al grado de aceite de motor SAE 10W.

Nota 10: Se recomiendan temperaturas de vaciado que produzcan una consistencia tal que el asfalto se vierta fácil, pero no se recomienda que esté muy fluido. Como sea, se puede requerir para algunos ligantes modificados o ligantes excesivamente envejecidos, temperaturas sobre 135 °C. Residuos de PAV (Cámara de Envejecimiento a Presión) pueden calentarse en los platillos del ensayo de Horno de Película Delgada (RTFOT) a 163 °C y agitarse. Estas precauciones ayudarán a evitar endurecimiento por oxidación y pérdidas de volátiles que endurecerán a las muestras. Durante el proceso de calentado, la muestra debe cubrirse y revolverse ocasionalmente, raspando el fondo de los platillos para asegurar homogeneidad.

16. Precaliente el horno de vacío hasta estabilizarlo a 170 \pm 5°C. Remueva las bandejas desde el horno y vierta el residuo caliente desde las bandejas a un sólo recipiente. Si los ensayos para determinar las propiedades del residuo no se realizan inmediatamente, se puede dividir el contenido del recipiente en recipientes individuales, cubrir y almacenar a temperatura ambiente para futuros ensayos.
17. Retire las bandejas del horno y vierta el residuo caliente a un sólo recipiente. Seleccione un recipiente de dimensiones tales que la profundidad del residuo sea de 15 a 40 mm.

Después de haber vaciado la última bandeja, transfiera el recipiente al horno de vacío dentro de un 1 min. Y mantenga la temperatura en $170 \pm 5^\circ \text{C}$ durante 10 ± 1 min., sin aplicar vacío. Después de los 10 min. de equilibrio, abra la válvula de vacío tan rápidamente como sea posible para reducir la presión en el horno a $15 \pm 2,5$ kPa absolutos durante 30 ± 1 min. Al final de los 30 min., libere el vacío y retire la repisa. Si hay burbujas visibles en la superficie del residuo, se deben remover aplicando una antorcha o un cuchillo caliente sobre la superficie.

Nota 11: Una presión absoluta de $15 \pm 2,5$ kPa es equivalente a una lectura de 25 a $26 \frac{1}{2}$ pulgadas de mercurio (in Hg) en un medidor de vacío estándar.

6.2.1.14.5. PRECISIÓN

La investigación requerida para desarrollar estimaciones de precisión para los ensayos en residuos de PAV no se ha efectuado.

6.2.1.14.6. INFORME

Registre la siguiente información:

- a) Identificación de la muestra.
- b) Temperatura de envejecimiento del ensayo, aproximada a $0,5^\circ \text{C}$.
- c) Registro de temperaturas máximas y mínimas, aproximadas a $0,1^\circ \text{C}$.
- d) Tiempo total de envejecimiento durante el cual la temperatura estuvo fuera del rango específico, aproximado al minuto.
- e) Tiempo total de envejecimiento.
- f) Indique la temperatura y el tiempo de calentamiento, si fueron requeridas temperaturas mayores que 163°C en cualquier momento durante la manipulación del material

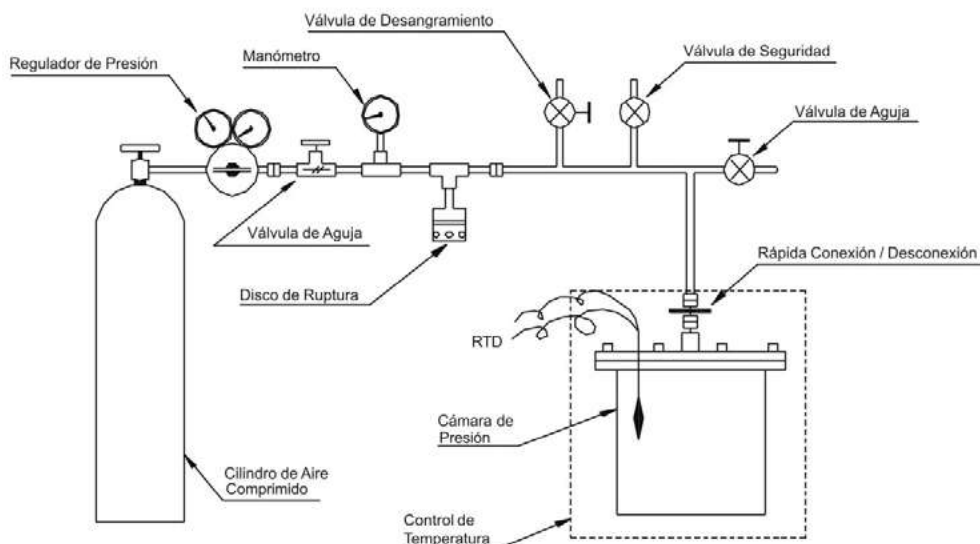
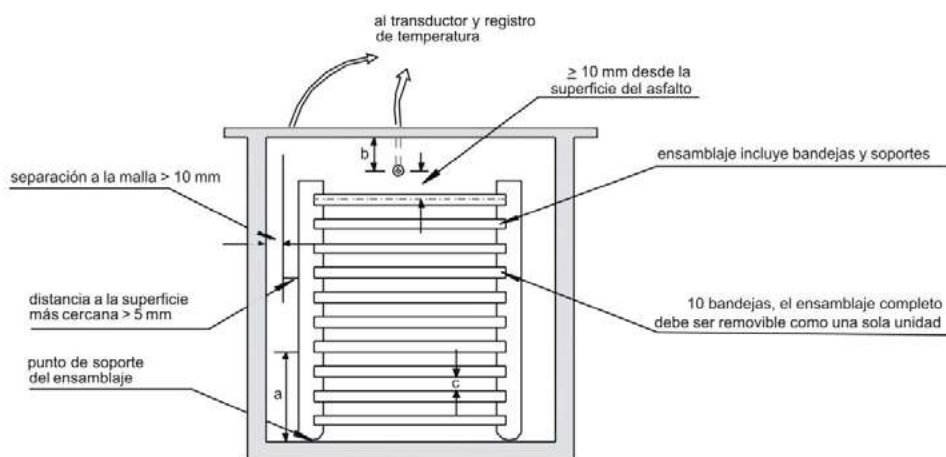


Figura 6.2_23. ESQUEMA DE LA CONFIGURACIÓN TÍPICA DE UN SISTEMA DE ENSAYO DE ENVEJECIMIENTO ACCELERADO DE CÁMARA DE PRESIÓN PAV



Nota 1 : La distancia "a" controla la horizontalidad de las bandejas. El ensamble debe estar sostenido en tres o más puntos. La distancia "a", medida desde cada punto de soporte a la parte inferior de la bandeja (o al soporte de la bandeja), debe ser controlada con una precisión de $\pm 0,05$ mm. Se debe estar seguro que el fondo de la cámara está nivelado, de modo que el espesor de la película de asfalto en cada bandeja, no varíe más de $\pm 0,05$ mm a lo largo de cualquier diámetro.

Nota 2 : La distancia "b" debe ser tal que cualquier parte activa del transductor de temperatura está a más de 10 mm desde la superficie superior de la cámara.

Nota 3 : La distancia "c" debe ser mayor o igual a 12 mm.

Figura 6.2_24. DIAGRAMA QUE MUESTRA LA UBICACIÓN DE LAS BANDEJAS Y RTD DENTRO DE LA CÁMARA DE PRESIÓN

SECCION 6.2.1.15.

MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA VISCOSIDAD MEDIANTE EL VISCO-SÍMETRO ROTACIONAL BROOKFIELD (ASTM D 4402-06 AASHTO TP 48)

6.2.1.15.1. OBJETO

Este método entrega un procedimiento para medir la viscosidad aparente del asfalto a temperaturas desde 60 a 200°C, usando un Viscosímetro Rotacional equipado con el sistema Thermosel.

La viscosidad del asfalto a altas temperaturas se mide para determinar si un asfalto puede ser manejado y bombeado en la refinería, terminal o planta asfáltica. Los valores medidos mediante este procedimiento se pueden utilizar para desarrollar diagramas temperatura-viscosidad, los que se utilizan para estimar las temperaturas de mezclado y compactación a utilizar durante el diseño de las mezclas asfálticas en caliente.

Algunos asfaltos pueden exhibir un comportamiento no Newtoniano bajo las condiciones de este ensayo, o a temperaturas dentro del rango de este método. Los valores de viscosidad no Newtonianos no son la única propiedad del material, pero reflejan el comportamiento del fluido bajo las condiciones particulares del ensayo. En estos casos, las medidas hechas con este método no siempre predicen el comportamiento bajo las condiciones de uso posterior. Las comparaciones entre valores de viscosidad no Newtonianos se deben hacer sólo para mediciones realizadas con viscosímetros similares, bajo condiciones similares de esfuerzo de corte e historia de tensiones.

Nota 1: El procedimiento puede implicar operaciones, equipos y materiales peligrosos. En este Método no se indican todas las medidas de seguridad asociadas con su uso. Es responsabilidad del usuario de este procedimiento establecer las medidas apropiadas de seguridad e higiene.

6.2.1.15.2. DEFINICIONES

A. VISCOSIDAD

Se denomina coeficiente de viscosidad a la razón entre el esfuerzo de corte aplicado y la tasa de corte; es una medida de la resistencia del líquido a fluir y comúnmente se denomina viscosidad. En el Sistema Internacional, la unidad de viscosidad es el pascal segundo (Pa•s); en el sistema CGS, la unidad de viscosidad es el poise (dina•seg/cm²) y equivale a 0,1 Pa•s. Frecuentemente, se usa como unidad de viscosidad el centipoise, que equivale a un mili pascal segundo (mPa•s).

6.2.1.15.3. EQUIPOS Y MATERIALES

A. VISCOSÍMETRO ROTACIONAL

Capaz de medir el torque necesario para hacer girar un vástago sumergido en asfalto a temperatura de ensayo fija y a una velocidad constante; el equipo debe poseer una pantalla digital y mostrar la viscosidad en Pa•s automáticamente.

B.VÁSTAGOS O SPINDLES

De varias medidas para ser utilizados con asfaltos de diferentes viscosidades.

C.CONTROLADOR DE TEMPERATURA

Un controlador de temperatura (como el Thermosel, Brookfield), capaz de mantener la temperatura de la muestra con una precisión de $\pm 0,1^{\circ}$ C para temperaturas de ensayos de 65 a 165 $^{\circ}$ C o mayores.

D.HORNO

Capaz de mantener y controlar la temperatura hasta 212 $^{\circ}$ C, con una precisión de $\pm 3^{\circ}$ C.

E.TERMÓMETROS

Para medir temperaturas desde 60 hasta 212 $^{\circ}$ C con una lectura de 0,1 $^{\circ}$ C.

F.BALANZA

Con capacidad para 2.000 g y lectura de 0,1 g.

G.SOLVENTES

Solventes o limpiadores desgrasantes, formulados para limpiar los contenedores de muestras, vástagos y accesorios.

6.2.1.15.4. CALIBRACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN

Realice la calibración del equipo según las instrucciones dadas por el proveedor.

La precisión del transductor rotacional del viscosímetro se verifica usando un líquido de referencia (Líquido Newtoniano) de viscosidad conocida a varias temperaturas. El comportamiento Newtoniano del líquido, en todo el rango de temperaturas de ensayo, debe estar certificado. La viscosidad medida con el viscosímetro debe estar dentro de un $\pm 2\%$ o el transductor rotacional requiere recalibración.

La precisión de la lectura de temperatura del controlador se verifica colocando una muestra de asfalto en la cámara hasta que la temperatura se estabilice. La temperatura indicada debe ser verificada mediante un dispositivo NIST, tal como se indica en la norma ASTM E1.

6.2.1.15.5. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Obtenga las muestras de asfalto original o modificado, de acuerdo a la Sección 6.2.1.1.

Caliente el asfalto hasta que esté suficientemente fluido para ser vertido. El calentamiento previo al ensayo remueve asociaciones moleculares reversibles (endurecimiento estérico) el cual puede ocurrir durante el almacenamiento a temperatura ambiente.

Nota 2: Se recomienda una temperatura mínima de calentamiento que produzca una consistencia equivalente a la del aceite SAE 10W30 a temperatura ambiente. La temperatura específica dependerá del grado asfáltico y su historia de envejecimiento previa, si la tiene. Es deseable no calentar los asfaltos a más de 135°C, sin embargo, algunos asfaltos modificados o envejecidos pueden requerir temperaturas mayores.

6.2.1.15.6. PROCEDIMIENTO

- a. Lea y entienda la información contenida en el manual de instrucciones del fabricante del viscosímetro rotacional antes de proceder.
- b. Encienda el viscosímetro rotacional y el controlador de temperatura.
- c. Precaliente el contenedor de asfalto, el soporte y el vástago seleccionado de acuerdo a las instrucciones del fabricante.
- d. Configure el controlador de temperatura a la temperatura de ensayo deseada.
- e. Caliente la cantidad requerida de ligante asfáltico, según lo recomendado por el fabricante, de acuerdo a lo descrito en “Extracción y preparación de la muestra”.
- f. Cuando el controlador de temperatura indique que se ha alcanzado la temperatura de ensayo deseada, retire el soporte de las muestras y coloque la cantidad de asfalto requerida en el contenedor de asfalto.
- g. Inserte el contenedor de la muestra en la unidad controladora de temperatura.
- h. Inserte un vástago previamente precalentado y únalo a la parte inferior del viscosímetro, utilizando los accesorios de acoplamiento incluidos con el equipo. Una vez acoplado, bájelo suavemente de modo que penetre en la muestra asfáltica hasta que el asfalto cubra la parte cónica superior del vástago.
- i. Lleve la muestra de asfalto a la temperatura de ensayo dentro de, aproximadamente, 30 min. y permita que la temperatura se estabilice por 10 min.
- j. Configure la velocidad de giro del viscosímetro a 20 rpm y ajuste el equipo para la lectura de la viscosidad en Pascal segundos (Pa•s). Esto se puede realizar en forma manual o utilizando un software especial. Si la lectura de torque desplegada por el equipo está fuera de rango para el vástago y velocidad de giro seleccionado, cambie el vástago o la velocidad de ensayo, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante y considerando las viscosidades que se cree tenga el asfalto en estudio. Reemplace la muestra asfáltica por una nueva.
- k. Después que el asfalto ha alcanzado la temperatura de ensayo especificada y una vez estabilizada, inicie el ensayo.
- l. Realice tres lecturas de viscosidad a intervalos de 3 minutos.
- m. Repita el procedimiento para mediciones a otras temperaturas.

6.2.1.15.7. CÁLCULOS

Determine la viscosidad del asfalto como el promedio de las tres mediciones realizadas. Si la viscosidad está expresada en unidades de centipoise (cP), multiplique por 0,001 para obtener pascal segundos (Pa•s).

6.2.1.15.8. INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Fecha y hora de ensayo.
- b) Temperatura de ensayo aproximada a 0,1°C.
- c) Velocidad de giro en rpm.
- d) N° de vástago utilizado.
- e) Torque medido, expresado en %.
- f) Promedio de las viscosidades, en Pa's.

6.2.1.15.9. PRECISIÓN

Use los siguientes criterios para juzgar la aceptabilidad de resultados de medición de viscosidad de asfaltos medidos a una temperatura de 135° C:

A.PRECISIÓN PARA UN MISMO OPERADOR (REPETIBILIDAD)

El coeficiente de variación de un sólo operador es de 2,6%; en consecuencia, valores obtenidos por duplicado, por un mismo operador, en un mismo laboratorio y con los mismos equipos, no serán considerados sospechosos a menos que difieran en más de un 7,3% (diferencias de los promedios).

B.PRECISIÓN MULTILABORATORIO (REPRODUCIBILIDAD)

El coeficiente de variación íter laboratorios es de 7,4%; en consecuencia los valores reportados por dos laboratorios, sobre un mismo material, no serán considerados sospechosos a menos que difieran en más de un 21,1%.

C.SESGO

El sesgo para este ensayo no ha sido determinado.

SECCION 6.2.1.16.

MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA RIGIDEZ EN FLUENCIA POR FLEXIÓN A BAJAS TEMPERATURAS MEDIANTE REÓMETRO DE VIGA DE FLEXIÓN (ASTM D 6648-01 AASHTO TP1-98)

6.2.1.16.1. OBJETO

Este método cubre la determinación de la rigidez o fluencia en flexión bajo carga constante de ligantes asfálticos, mediante un reómetro de viga de flexión. Es aplicable a materiales con valores de rigidez en flexión entre 20 MPa y 1 GPa (valores de deformabilidad en flexión de 50 nPa-1 a 1 nPa-1) y puede ser usado con material original o envejecido usando las Secciones 6.2.1.20 o 6.2.1.14. El equipo de ensayo está diseñado para operar en un rango de temperatura desde - 36 a 22 °C.

Los resultados obtenidos no son válidos para vigas de ligante asfáltico que se deflecten más de 4 mm o menos de 0,08 mm, cuando se ensayen de acuerdo a este método.

Este procedimiento puede implicar operaciones, equipos y materiales peligrosos. En este método no se proporcionan todas las medidas de seguridad asociadas con su uso. Es responsabilidad del usuario de este procedimiento establecer apropiadas medidas de seguridad e higiene.

Este procedimiento se basa en AASHTO TP1-98, Standard Test Method for Determining the Flexural Creep Stiffness of Asphalt Binder Using the Bending Beam Rheometer (BBR).

6.2.1.16.2. DEFINICIONES

A.LIGANTE ASFÁLTICO

Cemento asfáltico, producido a partir del residuo de petróleo, con o sin la adición de modificadores orgánicos no particulados.

B.ENDURECIMIENTO FÍSICO

Rigidización tiempo - dependiente que sufren los ligantes asfálticos, que resulta del incremento retardado de rigidez cuando el asfalto es almacenado a bajas temperaturas.

C.CREEP EN FLEXIÓN

Para el propósito de este método, se usa este término para definir cualquier característica del ligante asfáltico que se determina en un ensayo de creep en flexión, en el cual una viga simplemente apoyada es solicitada bajo carga constante en su punto medio, midiéndose la deflexión de la viga con respecto al tiempo de carga (t). Cualquier propiedad que sea determinada a partir de los datos registrados en un ensayo como el descrito, es una propiedad en creep.

D.RIGIDEZ FLEXURAL EN CREEP, S(T)

Razón entre la máxima tensión de flexión y la máxima deformación de flexión en la viga.

E.DEFORMABILIDAD FLEXURAL EN CREEP, D(T)

Razón entre la máxima deformación de flexión y la máxima tensión de flexión en la viga. D(t) es el inverso de S(t). S(t) ha sido usado históricamente en la tecnología del asfalto donde D(t) es comúnmente usado en estudios de viscoelasticidad

F.VALOR-M

Valor absoluto de la pendiente de la curva del logaritmo de la curva de rigidez versus el logaritmo del tiempo.

G.CARGA DE CONTACTO

Carga requerida para mantener contacto positivo entre la viga y la columna de carga; 35 ± 10 mN.

H.CARGA DE ASENTAMIENTO

Carga de 1 seg de duración requerida para asentar la viga; 980 ± 50 mN.

I.CARGA DE ENSAYO

Carga de 240 seg de duración requerida para determinar la rigidez del material ensayado 980 ± 50 mN.

J.TIEMPO CERO DE ENSAYO

Tiempo en segundos, en el cual se envía la señal a la válvula solenoide para cambiar desde el regulador de carga cero (carga de contacto) al regulador de carga de ensayo (carga de ensayo).

6.2.1.16.3. SIGNIFICADO Y USO

La temperatura de ensayo está relacionada con las temperaturas experimentadas por el pavimento en el área geográfica en el cual el ligante asfáltico se considera usar.

La rigidez o la deformabilidad flexural en creep, determinados a partir de este ensayo, Describe la respuesta tensión-deformación-tiempo de ligantes asfálticos a bajas temperaturas, a la temperatura de ensayo, dentro del rango de respuesta viscoelástica lineal.

La resistencia de mezclas asfálticas al agrietamiento térmico a bajas temperaturas, está relacionada con la rigidez en creep y el “valor m” (pendiente de la curva del logaritmo de la rigidez en creep en función del logaritmo del tiempo de carga), para el ligante asfáltico contenido en la mezcla.

La rigidez flexural en creep y el “valor m” se usan como criterio de especificación basado en el desempeño de ligantes asfálticos.

6.2.1.16.4. EQUIPOS Y MATERIALES

A.EQUIPOS

1. Sistema de Ensayo Reómetro de Viga de Flexión (BBR).

El sistema de ensayo reómetro de viga de flexión consiste en:

- Un marco de carga que permita que la viga de ensayo, soportes y la parte más inferior del marco de ensayo, sean sumergidos en un baño fluido a temperatura constante.
- Un baño líquido a temperatura controlada que permita mantener la viga de asfalto a la temperatura de ensayo y que provea de una fuerza capaz de contrarrestar la fuerza resultante de la masa de la viga.
- Un componente de registro de datos controlado automáticamente por computador.

a) **Marco de carga.**

El marco de carga consiste en soportes para la muestra, un vástago de punta redondeada que aplique la carga en el punto medio de la probeta, una celda de carga montada en el vástago, instrumentos para inicializar la carga sobre la probeta, instrumentos para aplicar carga constante a la columna de carga y un transductor medidor de deflexión adosado a la columna de carga. La **Figura 6.2_25** muestra un esquema del dispositivo.

b) **Apoyos para la viga.**

Apoyos transversales para la viga de asfalto, consistentes en una base y un soporte horizontal con una superficie superior curva de radio $3,0 \pm 0,25$ mm y costados inclinados en un ángulo de 45° con la horizontal (**Figura 6.2_25**). Los apoyos, hechos de acero inoxidable (u otro material resistente a la corrosión), deben estar separados $102,0 \pm 0,5$ mm entre sí. El ancho útil del soporte será de $9,5 \pm 0,25$ mm. Esto se requiere para asegurar que los bordes de la viga, resultantes del proceso de moldeado, no interfieran con la medición de la deflexión durante el ensayo.

Además, los apoyos deben incluir chavetas de alineamiento en el punto superior, a $6,75 \pm 0,25$ mm desde el centro de los apoyos. Estas chavetas deben ser colocadas sobre el lado posterior de los apoyos para alinear la probeta en el centro de dichos apoyos. Ver detalles en **Figura 6.2_25**.

c) **Vástago de carga.**

Vástago de punta redondeada, con superficie de contacto esférica, de radio $6,25 \pm 0,25$ mm, continua con una celda de carga y un transductor medidor de deflexión, capaz de aplicar una carga de contacto de 35 ± 10 mN y mantener una carga de ensayo de 980 ± 50 mN, constante dentro de ± 5 mN, usando presión diferencial de aire u otro medio para tal ajuste como, por ejemplo, un sistema electro hidráulico. El tiempo de carga de ensayo debe ser menor que 0,5 seg, donde el tiempo de carga de ensayo se define como el tiempo requerido para que la carga se incremente desde una precarga de 35 ± 10 mN. Hasta la carga de ensayo de 980 ± 50 mN. Durante el tiempo de carga, el sistema amortiguará la carga de ensayo después de los primeros 5 seg a un valor constante de ± 10 mN.

d) **Celda de carga.**

Con una capacidad mínima de 2.000 mN, y una precisión mínima de 2,5 mN, montada en línea con el vástago de carga y por encima del fluido del baño, para medir la carga de contacto y la carga de ensayo.

e) **Transductor Diferencial Variable Lineal (LVDT).**

Un transductor diferencial variable lineal u otro dispositivo montado axialmente sobre el vástago de carga, capaz de registrar un movimiento lineal menor o igual a $2,5 \mu\text{m}$, con un rango de al menos 6 mm para medir la deflexión en la viga.

f) **Baño líquido de temperatura controlada.**

Capaz de mantener la temperatura en todos los puntos dentro del baño entre -36 y 22°C , con un margen de $\pm 0,1^\circ\text{C}$. La colocación de una probeta fría en el baño puede causar que la temperatura del baño con una precisión de $\pm 0,2^\circ\text{C}$ de la temperatura de ensayo requerida, por lo tanto se permitirán fluctuaciones en el baño de $\pm 0,2^\circ\text{C}$ bajo condiciones isotérmicas.

g) **Agitador.**

Un agitador para mantener la temperatura homogénea, con una intensidad de agitación tal que las corrientes en el fluido no perturbe el proceso de ensayo, ni provoque vibraciones que produzcan variaciones en las lecturas mayores a las especificadas en el tercer y cuarto párrafo de 20 a.

h) **Circulador (opcional).**

Unidad circuladora de fluido, separada del marco de ensayo, la cual bombea el fluido a través del baño. Si se emplea, las vibraciones producidas por el equipo deben ser aisladas de la cámara del baño, de manera que su efecto en los registros sea menor que lo indicado en el tercer y cuarto párrafo de 20 a.

i) **Sistema de adquisición de datos.**

Sistema que registre la carga con una precisión de $2,5 \text{ mN}$, la deflexión de la viga con precisión de $2,5 \mu\text{m}$, y la temperatura del baño líquido con una precisión de $0,1^\circ\text{C}$. El sistema debe detectar el momento en el cual se envía la señal a la válvula(s) solenoide para cambiar el regulador de carga cero (carga de contacto) al regulador de carga de ensayo (carga de ensayo). Ese instante es el tiempo cero del ensayo. Usando este instante como referencia, el sistema debe registrar las medidas de carga y deflexión relativas a partir del tiempo cero. El sistema debe registrar la carga y deflexión a los. 0,0; 0,5; 8,0; 15,0; 30,0; 60,0; 120,0 y 240 seg. Cada registro será el promedio de tres o más lecturas tomadas dentro de $\pm 0,2$ seg del tiempo especificado de registro. Por ejemplo, se mide para un tiempo de carga de 7,8; 7,9; 8,0; 8,1 y 8,2 seg.

j) **Filtro digital o análogo.**

Se puede requerir el filtrado digital o análogo de los datos de deflexión y carga para eliminar el ruido electrónico que, de lo contrario, podría afectar la capacidad de la polinomial de segundo orden para calzar los datos con suficiente exactitud como para obtener una estimación confiable del "valor-m". Las señales de carga y deflexión pueden ser filtradas con un filtro digital o análogo de bajo paso, que remueva las señales de frecuencia mayor que 4 Hz.

El promedio deberá ser obtenido en un período menor o igual que $\pm 0,2$ seg con respecto al tiempo especificado de registro.

2. Equipo para medición de temperatura

Transductor de temperatura calibrado, capaz de medir temperaturas con una precisión de 0,1 °C en el rango de - 36 a 22° C. Debe ir montado dentro de los 50 mm del punto medio de los apoyos de la probeta.

Nota 1: La medición de temperatura puede ser llevada a cabo con un termómetro de resistencia de platino (RTD) o con un termistor calibrado apropiadamente. La calibración del RTD o termistor puede ser verificada como se indica en 25. Se recomienda el uso de RTD bajo estándar DIN 43760 (Clase A). Para obtener la exactitud y precisión requeridas es necesario que cada RTD sea calibrado como un sistema, con su respectivo medidor o circuito electrónico.

3. Moldes para la viga de ensayo

Moldes para producir vigas de asfalto cuyas dimensiones, una vez desmoldadas, sean de $6,35 \pm 0,05$ mm de espesor por $12,70 \pm 0,05$ mm de ancho y $127 \pm 2,0$ mm de largo. Los moldes serán fabricados de aluminio liso, en las dimensiones indicadas en la **Figura 6.2_ 26**.

4. Vigas de acero inoxidable

Una viga de acero inoxidable de $6,35 \pm 0,10$ mm de espesor por $12,7 \pm 0,2$ mm de ancho y $127 \pm 2,0$ mm de largo para el sistema de medición de deformabilidad, y una viga de acero inoxidable de 1,0 a 1,6 mm de espesor por $12,7 \pm 0,1$ mm de ancho, medidos al $\pm 0,01$ mm, por 127 mm de largo medidos al ± 1 mm, de módulo elástico conocido (especificado por el fabricante) para comprobar periódicamente el desempeño del BBR. El espesor y el ancho de esta última viga deben ser medidos e informado, para los cálculos, con una precisión de $\pm 0,01$ mm.

5. Masas estándares

Una o más masas estandarizadas de 50,0 a 100,0 g, certificadas a $\pm 0,2$ g, para la verificación periódica de la calibración del BBR.

6. Termómetros calibrados

Termómetros calibrados de líquido en vidrio, para la verificación de la temperatura del transductor, con un rango adecuado y subdivisiones de 0,1° C. Estos termómetros deben estar calibrados de acuerdo con **ASTM E77**.

7. Medidor de espesor

Un medidor de espesores escalonados, para verificar las calibraciones del transductor de desplazamiento, como describe la **Figura 6.2_ 27**.

6.2.1.16.5. MATERIALES

8. Láminas plásticas

Plástico laminado limpio, de 0,08 a 0,15 mm de espesor, para revestir las tres caras interiores más grandes del molde de aluminio. Las láminas no deben ser deformadas por el ligante asfáltico caliente. Las transparencias para impresora láser han dado resultados adecuados.

9. Grasa a base de petróleo

Grasa basada en petróleo para adherir las láminas plásticas a las caras interiores del molde. No se deben usar productos a base de silicona.

10. Mezcla glicerol-talco

Lubricante usado como desmoldante para revestir las piezas extremas de los moldes de aluminio. Para este propósito, se puede utilizar una mezcla de 20 % en peso de glicerina grado USP y 80 % de talco grado USP o caolín (arcilla para loza china).

11. Fluido para el baño térmico

Un fluido que no sea absorbido por el ligante asfáltico y que no afecte sus propiedades. La densidad del fluido no debe exceder $1,05 \text{ g/cm}^3$ en el rango de temperaturas de ensayo. El fluido debe ser transparente para el rango de temperaturas de ensayo. Se considera que fluidos como el etanol, el metanol y mezclas de glicolmetanol (por ejemplo, 60% glicol, 15% de metanol y 25% de agua) son adecuados.

6.2.1.16.6. PREPARACIÓN DE LOS APARATOS

12. Limpie los apoyos, la cabeza de carga y el baño de fluido; retire cualquier partícula o revestimiento.

Nota 2: Debido a la fragilidad del ligante asfáltico a las temperaturas a las que se realiza este ensayo, es posible que en el líquido del baño haya pequeños fragmentos de ligante. Si estos fragmentos se ubican en los apoyos o en la cabeza de carga, se afectará la medición de deflexión. Los fragmentos pequeños, debido a su tamaño, se deformarán al ser cargados y agregarán una deflexión aparente a la viga. El uso de filtros puede ayudar a preservar los requerimientos de limpieza del baño.

13. Seleccione la temperatura de ensayo y ajuste el baño líquido a la temperatura seleccionada. Espere hasta que la temperatura se estabilice y luego permita el equilibrio del baño a la temperatura de ensayo $\pm 0,1^\circ \text{C}$.

14. Active el sistema de adquisición de datos y cargue el software como se explica en el manual del fabricante para el sistema de ensayo.

6.2.1.16.7. ESTANDARIZACIÓN

15. Verificación

Verifique la calibración del transductor de desplazamiento, de la celda de carga y del transductor de temperatura, tal como se describe en 34 y 35. Realice cada paso de esta sección cada día antes de realizar un ensayo. Además, realice una verificación general sobre el desempeño del BBR, como se describe en 36.

a) Verificación del transductor de desplazamiento.

Verifique la calibración del transductor de desplazamiento usando un calibrador de espesor escalonado, de dimensiones conocidas, similar al mostrado en la **Figura 6.2_27**. Coloque el medidor en una plataforma de referencia bajo la columna de carga según las instrucciones del fabricante. Mida la elevación de los escalones con respecto al borde superior de la superficie del medidor con el transductor de desplazamiento. Si las mediciones varían más de $\pm 5 \mu\text{m}$ con respecto a las dimensiones especificadas por el fabricante, se requerirá una mantención o calibración adicional. Informe la constante de calibración ($\mu\text{m/bit}$) para el transductor de desplazamiento con 3 cifras significativas. Las constantes

de calibración deben ser repetibles diariamente, de lo contrario la operación del sistema será sospechosa.

b) Verificación de la celda de carga.

Verifique la calibración de la celda de carga usando cuatro cargas estáticas estandarizadas, distribuidas uniformemente sobre el rango de carga del ensayo.

16. Realice la calibración dejando la columna de carga sobre la viga de acero inoxidable de 6,35 mm de espesor y cárguela secuencialmente con las cuatro masas, en cuatro etapas sucesivas, registrando la carga después de cada etapa. Si la carga indicada por el sistema de adquisición de datos no concuerda con la fuerza impuesta por las masas dentro de ± 2 mN en todas las etapas, se requerirá una calibración o mantenimiento adicional. Informe la constante de calibración (mN/bit) para los transductores de carga con 3 cifras significativas. Las medidas de calibración serán reproducibles diariamente, de lo contrario la operación del sistema será considerada sospechosa.

a) **Verificación de la calibración del detector de temperatura.** Verifique la calibración del detector de temperatura por medio de un termómetro calibrado de rango adecuado, que cumpla los requerimientos de 21 y 25. Sumerja el termómetro en el líquido del baño, próximo al detector térmico, y compare la temperatura indicada por el termómetro calibrado con la que despliega el detector.

17. Si la temperatura indicada por el detector térmico no concuerda con la indicada por el termómetro de mercurio dentro de $\pm 0,1^\circ$ C, aplique una corrección apropiada a la medida indicada por el detector de temperatura, o realice un mantenimiento o calibración adicional.

18. Determine la deformabilidad del sistema de carga colocando la viga de acero inoxidable de 6,35 mm de espesor sobre los apoyos de ensayo, poniendo el extremo de la columna de carga contra la viga de acero inoxidable y aplicando una carga de 980 ± 50 mN. La deflexión medida será causada por la celda de carga u otras partes del sistema de ensayo. El sistema de adquisición de datos debe ser capaz de dividir la medida de deflexión por la carga aplicada. El cociente, informado por el sistema de adquisición de datos, es la deformabilidad del sistema de carga en $\mu\text{m}/\text{N}$. El valor típico de deformabilidad es de 2 a 5 $\mu\text{m}/\text{N}$. Si la deformabilidad es mayor que 5 $\mu\text{m}/\text{N}$ se debe realizar una mantención o calibración adicional. Durante el ensayo, el sistema de adquisición de datos automáticamente descontará la deformabilidad del sistema de carga, a partir de la medida de deflexión durante un ensayo.

19. Diariamente, realice una verificación general del funcionamiento del sistema, usando la viga de acero inoxidable de espesor 1,0 a 1,6 mm y de módulo conocido. Cargue la viga de acero con 1.961 mN (200 g) usando las masas estandarizadas y midiendo la deflexión en la mitad de la luz (distancia entre los apoyos de la viga). Calcule el módulo elástico de la viga a partir de la carga aplicada y la deflexión medida, y compárelo con el módulo conocido. Si el módulo calculado difiere del módulo medido (de acuerdo a lo informado por el fabricante) en 10 % o más, la operación del sistema será considerado dudosa. En dicho caso, realice el mantenimiento del sistema y repita los numerales 16,17 y 18. El sistema de adquisición de datos puede ser usado para registrar la deflexión después de un tiempo de carga especificado (usualmente 20 seg), realice los cálculos del módulo y compare el módulo calculado con el módulo conocido. Esta comparación debe registrarse como parte de los resultados de los ensayos de asfaltos para el día en que se realiza la verificación.

6.2.1.16.8. PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS DE ENSAYO

20. Para preparar los moldes, extienda una capa muy delgada de grasa (basada en petróleo), sólo lo suficiente para sostener el plástico al molde, sobre las caras interiores de las tres

piezas más largas del molde de aluminio. Coloque las láminas plásticas sobre las caras de las piezas de aluminio y frote el plástico con la presión firme del dedo. Ensamble el molde como lo muestra la **Figura 6.2_ 26**, usando los anillos de goma, tipo ligas, para sostener las piezas del molde juntas. Inspeccione el molde y presione la película plástica contra el aluminio para expulsar cualquier burbuja de aire. Si persisten burbujas de aire, desarme el molde y reaplique grasa sobre las caras de aluminio. Cubra las caras interiores de las dos piezas extremas con una película delgada de glicerol y talco, para prevenir que el ligante asfáltico se adhiera. Una vez ensamblados los moldes, almacénelos a temperatura ambiente.

Nota 3: El espesor de la probeta está controlado por las piezas extremas. El espesor de las piezas extremas se debe medir periódicamente para asegurar que cumplen los requerimientos del numeral 4. La rigidez es proporcional a la tercera potencia del espesor.

21. Si se ensaya asfalto original, obtenga muestras de ensayo según **Sección 6.2.1.1**.

22. Caliente el material hasta que esté suficientemente fluido

Nota 4: Se recomiendan temperaturas mínimas de vertido que produzcan una consistencia equivalente al aceite de motor SAE 10W30 a temperatura ambiente (de fácil vertido, pero no excesivamente fluido). Se debe evitar el calentamiento de ligantes asfálticos no envejecidos a temperaturas superiores a 135° C, sin embargo, con algunos asfaltos modificados o ligantes muy envejecidos, pueden requerirse temperaturas de vertido por sobre 135° C. El residuo obtenido del ensayo de envejecimiento acelerado en cámara de presión (**Sección 6.2.1.14**) debe ser puesto en sus bandejas y puede ser calentado hasta 163° C. En todos los casos el tiempo de calentamiento debe ser el mínimo posible. Estas precauciones ayudarán a evitar el endurecimiento oxidativo y la pérdida de volátiles que endurecerán aún más la muestra asfáltica. Durante el proceso de calentamiento la muestra deberá ser cubierta y agitada ocasionalmente para asegurar homogeneidad.

23. Moldeo

Llene el molde con asfalto, vertiéndolo desde un extremo del molde hacia el otro, sobrellenando ligeramente el molde. Al verter, mantenga la cápsula con la muestra 20 a 100 mm por encima de la parte superior del molde, y vierta continuamente hacia el otro extremo en un solo paso. Deje enfriar 45 a 60 min. a temperatura ambiente y enrase la superficie de asfalto de la cara de llenado, usando un cuchillo o espátula caliente. Retire el plástico laminado (revestimiento del molde) si éste se ha distorsionado.

24. Almacene todas las muestras de ensayo en sus moldes a temperatura ambiente, previamente al ensayo planifique el ensayo de tal manera que se realice dentro de 4 h desde el llenado de los moldes.

Nota 5: Los incrementos tiempo-dependientes de la rigidez pueden ocurrir cuando los ligantes son almacenados a temperatura ambiente, incluso por cortos períodos de tiempo. Este incremento de la rigidez es el resultado de asociaciones moleculares y en la literatura se le denomina endurecimiento estérico.

25. Inmediatamente antes de realizar el ensayo, enfríe el molde de aluminio con asfalto en un congelador o baño de hielo a $-5 \pm 5^\circ \text{C}$ durante 5 a 10 min, sólo lo suficiente para rigidizar la viga de ligante asfáltico, de modo que pueda ser desmoldada con facilidad y sin distorsionarse (verNota 7). Algunos grados más blandos pueden requerir temperaturas más bajas. No enfríe los moldes con las muestras en el baño de ensayo, debido a que pueden producirse fluctuaciones de temperatura en el baño que excedan los $\pm 0,2^\circ \text{C}$.

Nota 6: El enfriamiento excesivo puede causar un endurecimiento no deseado de la viga, lo que ocasiona un incremento en la variabilidad de los datos de ensayo.

26. Inmediatamente desmolde la probeta, cuando esté lo suficientemente rígida como para ser desmoldada sin que se produzcan distorsiones al desarmar el molde.

Nota 7: Se debe minimizar la distorsión de la probeta durante el desmolde. En el análisis de los datos se asume un contacto total entre la probeta y los apoyos. Una viga alabeada producirá una rigidez medida menor que la real.

6.2.1.16.9. PROCEDIMIENTO

- a. Después de desmoldar, coloque inmediatamente la probeta de ensayo en el baño, y acondiciónelo a la temperatura de ensayo por 60 ± 5 min.

Nota 8: Los ligantes asfálticos pueden endurecer rápidamente cuando se mantienen a bajas temperaturas. Este efecto, llamado endurecimiento físico, es reversible cuando el ligante asfáltico es calentado a temperatura ambiente o ligeramente superior.

Por ello, el tiempo de acondicionamiento debe ser cuidadosamente controlado si se desean obtener resultados repetibles.

- b. Después del acondicionamiento, coloque la viga de asfalto sobre los apoyos e inicie el ensayo.
- c. Mantenga el baño a la temperatura de ensayo $\pm 0,1^{\circ}$ C durante la prueba, de otro modo el ensayo debe ser rechazado.
- d. Ingrese la siguiente información en el computador que controla el sistema de ensayo: identificación de la probeta, carga de ensayo, temperatura de ensayo, tiempo en que la probeta se ubica en el baño a temperatura de ensayo y cualquier otra información apropiada.
- e. Manualmente aplique una carga de contacto de 35 ± 10 mN a la viga de asfalto, para asegurar el contacto entre la viga y el vástago de carga, por no más de 10 segundos.

Nota 9: La carga de contacto especificada permite asegurar el contacto continuo entre el vástago de carga, los apoyos y la probeta. Si no se establece el contacto continuo dentro del rango de carga requerido, los resultados no son válidos.

- f. Active el sistema automático de ensayo, el cual está programado para proceder como se indica a continuación.

- Aplique una carga de asentamiento de 980 ± 50 mN. Durante $1,0 \pm 0,1$ seg.

Nota 10: Las cargas de asentamiento descritas son aplicadas y removidas automáticamente por el sistema controlador de carga y son independientes del operador. Los datos no son registrados durante la carga inicial.

- Reduzca la carga a 35 ± 10 mN y permita a la viga recuperarse por $20,0 \pm 0,1$ seg.
- Aplique la carga de ensayo en un rango de 980 ± 50 mN, y mantenga la carga constante a ± 50 mN por los primeros 5 seg y a ± 10 mN durante el resto del ensayo.

Nota 11: La carga actual que actúa sobre la viga, medida en la celda de carga, es usada en el cálculo de la tensión en la viga. Tanto la carga de ensayo como la carga de asentamiento de 980 ± 50 mN, incluyen la precarga de 35 ± 10 mN.

- Retire la carga al finalizar el ensayo.
- Al final de la carga de asentamiento inicial y al final del ensayo, revise la pantalla del computador para verificar que la carga en la viga en cada caso retorna a 35 ± 10 mN.
- Retire la probeta de los apoyos y proceda con el siguiente ensayo.

6.2.1.16.10. CÁLCULOS

Ver Anexo

6.2.1.16.11. PRECISIÓN

El criterio para juzgar la aceptabilidad de la rigidez y pendiente de rigidez en creep obtenidos con este método se muestra en la **Tabla 6.2_ 18**. Los valores de la columna 2 de la **Tabla 6.2_ 18** son los coeficientes de variación que se consideran apropiados para las condiciones descritas en la columna 1.

Nota 12: Los valores estimados de precisión presentados en la **Figura 6.2_ 25**, se basan en el análisis de una serie limitada de resultados de diversos laboratorios. El análisis incluyó los siguientes grados asfálticos: PG 64-28, PG 52-34, PG 76-22 y PG 64-22.

A.1.Precisión de un mismo operador (Repetibilidad).

Resultados duplicados obtenidos por el mismo operador, usando el mismo equipo y en el mismo laboratorio, no serán considerados dudosos a menos que la diferencia en los resultados duplicados, expresada como porcentaje del promedio, exceda los valores dados en la **Figura 6.2_ 25**, columna 3.

A.2.Precisión multilaboratorio (Reproducibilidad).

Dos resultados referidos por 2 operadores diferentes ensayando el mismo material en diferentes laboratorios, no serán considerados dudosos a menos que la diferencia de los resultados, expresado como porcentaje de su promedio, exceda los valores dados en la **Figura 6.2_ 25**, **columna 3**.

Tabla 6.2_18. PRECISION ESTIMADA

Condición	Coeficiente de Variación	Rango aceptable del resultado de 2 ensayos (d2s%) ¹
Precisión de un mismo operador:		
Rigidez de Creep (Mpa)	3,2	9,1
Valor -m	1,4	4,0
Precisión de un mismo operador:		
Rigidez de Creep (Mpa)	9,5	26,9
Valor -m	4,6	13,0
(1) Estos valores representan los límites 1s% y d2s% descritos en la especificación ASTM C670		

6.2.1.16.12. SESGO

Debido a que no hay un valor aceptable de referencia, el sesgo no ha sido determinado.

6.2.1.16.13. INFORME

Entregue la información tal como se muestra en la tabla de la Figura 6.2_ 28, que describe un ensayo individual, incluyendo:

- Temperatura máxima y mínima del baño líquido, medidas durante los 240 seg del ensayo, a intervalos de 1,0 seg y con precisión de 0,1 ° C.
- Fecha y hora en que se aplica la carga de ensayo.
- Nombre del archivo con los datos del ensayo.
- Nombre del operador.
- Número de identificación de la muestra.
- Hora en que la viga se introduce en el baño.
- Hora de inicio del ensayo.
- Cualquier mensaje mostrado por el software durante el ensayo.
- Coeficiente de correlación, R2, para el logaritmo de la rigidez versus logaritmo del tiempo, aproximado a 0,000001.
- Otros comentarios (máximo 256 caracteres).
- Informe constantes A, B y C con 3 cifras significativas.
- Diferencia entre la rigidez medida y estimada, calculada como:

$$100\% = \frac{\textit{estimada} - \textit{medida}}{\textit{medida}}$$

Informe carga y deflexión a los 0,0 y 0,5 seg

Presente la información que se indica en la tabla de la Figura 6.2_ 28, Resultados, a los 8, 15, 30, 60, 120, y 240 seg, incluyendo:

- Tiempo de carga, aproximando a 0,1 seg.
- Carga, aproximada a 1,0 mN.
- Deflexión de la viga, aproximada a 1 µm.
- Módulo de rigidez medido, en MPa, con 3 cifras significativas.
- Módulo de rigidez estimado, en MPa, con 3 cifras significativas.
- Diferencia entre módulo de rigidez medido y estimado (%).
- “Valor-m” estimado, aproximado a 0,001.
- Coeficientes de Regresión y ajuste de mínimos cuadrados, valor R2.

A.ANEXO A1

(Información Obligatoria)

A1.1 La **Figura 6.2_ 28** incluye una tabla que muestra el resultado típico de un ensayo mediante viga reométrica de flexión. Desprecie las medidas obtenidas y las curvas proyectadas en la pantalla del computador durante los 8 seg iniciales de la aplicación de la carga de ensayo. Los datos obtenidos inmediatamente después de la aplicación de la carga de ensayo pueden no ser válidos debido a los efectos de carga dinámica y al tiempo de aumento finito. Use sólo los datos obtenidos entre 8 y 240 seg después de aplicada la carga de ensayo, para calcular $S(t)$ “valor-m”.

A1.2 Deflexión de una viga elástica.

Usando la teoría elemental de flexión, la deflexión en el medio de la luz de una viga elástica prismática de sección constante, cargada en tres puntos, puede ser obtenida aplicando las ecuaciones 1 y 2.

$$\delta = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} \quad (1)$$

Donde:

- δ: Deflexión de la viga al medio de la luz (mm).
- P: Carga aplicada (N).
- L: Luz (distancia entre apoyos) (mm).
- E: Módulo de elasticidad (MPa).
- I: Momento de Inercia (mm⁴).

Además:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (2)$$

Donde:

- I: Momento de inercia de la sección transversal de la viga de ensayo (mm⁴).
- b: Ancho de la viga (mm).
- h: Espesor (altura) de la viga (mm).

Nota 13 La probeta de ensayo tiene una razón larga: altura de 16:1, por lo tanto, la contribución del esfuerzo de corte sobre la deflexión puede ser despreciada.

A1.3 Módulo de flexión elástico.

De acuerdo a la teoría elástica, el módulo de flexión de una viga prismática de sección transversal constante cargada en su punto medio se calcula según:

$$E = \frac{P \cdot L^3}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot \delta} \quad (3)$$

Donde:

- E: Rigidez flexural de creep dependiente del tiempo (MPa).
- P: Carga constante (N).
- L: Luz (distancia entre apoyos) (mm).
- b: Ancho de la viga (mm).
- h: Espesor de la viga (mm).
- δ: Deflexión de la viga (mm).

A1.4 Máxima tensión de flexión.

La máxima tensión de flexión en la viga ocurre en el punto medio, en los extremos superior e inferior de la sección. La tensión máxima se calcula según:

$$\sigma = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot h} \quad (4)$$

Donde:

- σ: Máxima tensión de flexión en la viga (MPa).
- P: Carga constante (N).
- L: Luz (distancia entre apoyos) (mm).
- b: Ancho de la viga (mm).
- h: Espesor de la viga (mm).

A1.5 Máxima deformación unitaria de flexión.

La máxima deformación unitaria de flexión en una viga ocurre en el punto medio, en los extremos superior e inferior de la sección. La deformación unitaria máxima se calcula:

$$\varepsilon = \frac{6 \cdot \delta \cdot h}{L^2} \quad (5)$$

Donde:

- ε: Máxima deformación de la viga (mm/mm).
- δ: Deflexión de la viga (mm).
- h: Espesor de la viga (mm).
- L: Luz (distancia entre apoyos) (mm).

A1.6 Módulo de rigidez lineal viscoelástico.

De acuerdo al principio de correspondencia elástico-viscoelástico, se puede suponer que si una viga lineal viscoelástica es sometida a carga constante aplicada en $t = 0$, la dis-

tribución de tensión es la misma que en una viga elástica bajo la misma carga. Más aún, las deformaciones y desplazamientos son dependientes del tiempo y se derivan a partir de los mismos en el caso elástico, reemplazando E por $1/D(t)$. Como $1/D(t)$ es equivalente a $S(t)$, acomodando el resultado de la solución elástica, se obtiene la siguiente relación para la rigidez:

$$S_{(t)} = \frac{P \cdot L^3}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot \delta_{(t)}} \quad (6)$$

Donde:

- $S_{(t)}$: Rigidez flexural en creep, dependiente del tiempo (MPa).
- P: Carga constante (N).
- L: Luz (distancia entre apoyos) (mm).
- b: Ancho de la viga (mm).
- h: Espesor de la viga (mm).
- $\delta_{(t)}$: Deflexión de la viga (mm), y $\delta_{(t)}$ y $S_{(t)}$ indican que la deflexión y la rigidez, respectivamente, son funciones del tiempo.

A1.7 Presentación de la información.

- a) Grafique la respuesta de la viga de ensayo a la carga constante (creep) como el logaritmo de la rigidez con respecto al logaritmo del tiempo de carga. La **Figura 6.2_ 28** muestra una representación típica de los datos del ensayo. Sobre el rango de tiempo de ensayo (de 8 a 240 seg), el gráfico de datos mostrado en la **Figura 29**, se puede representar por un polinomio de segundo orden como sigue:

$$\log S(t) = A + B[\log(t)] + C[\log(t)]^2 \quad (7)$$

y la pendiente del logaritmo de la rigidez versus logaritmo del tiempo, o “valor-m”, es igual a (valor absoluto):

$$m_{(t)} = d \left[\frac{\log S(t)}{\log(t)} \right] = B + 2C[\log(t)] \quad (8)$$

Donde:

- S (t): Rigidez flexural de creep (MPa). Dependiente de t
- t: Tiempo (seg).
- A, B y C: Coeficientes de regresión.

Puede ser necesario ajustar los datos para obtener curvas suaves que permitan el análisis de regresión requerido para determinar el “valor-m”. Este puede ser realizado promediando 5 lecturas tomadas al tiempo de lectura $\pm 0,1$ y $\pm 0,2$ seg.

- b) Obtenga las constantes A, B y C a partir de ajuste por mínimos cuadrados de la ecuación 7). Use datos igualmente espaciados con respecto al logaritmo del tiempo para determinar los coeficientes de regresión de las ecuaciones 7) y 8). Determine experimentalmente los valores de rigidez usados en la regresión para derivar los coeficientes A, B y C y, a su vez, calcular los “valores-m” después de los tiempos de carga de 8, 15, 30, 60, 120 y 240 seg.

A1.8 Cálculo de los coeficientes de regresión y valores estimados de rigidez y de “valor-m”.

- a) Calcule los coeficientes de regresión A, B y C en las ecuaciones 7) y 8) y el denominador D como sigue:

$$A = [S_y(S_{x2} S_{x4} - S_{x3}^2) - S_{xy}(S_{x1} S_{x4} - S_2) + S_{xy}(S_{x1} S_{x3} - S_2^2)] / D \quad (9)$$

$$B = [6(S_{xy} S_{x4} - S_{xy} S_{x3}) - S_{x1}(S_y S_{x4} - S_{xy} S_{x2}) + S_{x2}(S_y S_{x3} - S_{xy} S_2)] / D \quad (10)$$

$$C = [6(S_{x2} S_{xy} - S_{x3} S_y) - S_{x1}(S_{x1} S_{xy} - S_{x3} S_y) + S_{x2}(S_{x1} S_{xy} - S_{x2} S_y)] / D \quad (11)$$

$$D = [6(S_{x2} S_{x4} - S_{x3}^2) - S_{x1}(S_{x1} S_{x4} - S_{x2} S_{x3}) + S_{x2}(S_{x1} S_{x3} - S_{x2}^2)] / D \quad (12)$$

En que, para tiempos de carga de 8, 15, 30, 60, 120 y 240 seg, se tiene:

$$S_{x1} = \log 8 + \log 15 + \dots + \log 240 \dots = \sum \log ti$$

$$S_{x2} = (\log 8)^2 + (\log 15)^2 + \dots + (\log 240)^2 \dots = \sum (\log ti)^2$$

$$S_{x3} = (\log 8)^3 + (\log 15)^3 + \dots + (\log 240)^3 \dots = \sum (\log ti)^3$$

$$S_{x4} = (\log 8)^4 + (\log 15)^4 + \dots + (\log 240)^4 \dots = \sum (\log ti)^4$$

$$S_y = \log S(8) + \log S(15) + \dots + \log S(240) \dots = \sum \log S(ti)$$

$$S_{xy} = \log S(8) \log(8) + \log S(15) \log(15) + \dots + \log S(240) \log(240) = \sum \log S(ti)^2 \times \log(ti)$$

$$S_{xy} = \log S(8)^2 \log(8) + \log S(15)^2 \log(15) + \dots + \log S(240)^2 \log(240) = \sum [(\log ti)^2 \times \log S(ti)]$$

- b) Calcule la rigidez estimada a los 8, 15, 30, 60, 120 y 240 seg como:

$$\log S(t) = A + B[\log(t)] + C[\log(t)]^2 \quad (13)$$

- c) Calcule el “valor- m” estimado a los 8, 15, 30, 60, 120 y 240 seg, como el valor absoluto de:

$$|m| = B + 2C[\log(t)] \quad (14)$$

- d) Calcule la fracción de variación en la rigidez, explicado por el siguiente modelo cuadrático:

$$R^2 = 1.00 - \frac{[\log S_m(8) - \log S_e(8)]^2 + \dots + [\log S_m(240) - \log S_e(240)]^2}{[\log S_m(8) - \log S']^2 + \dots + [\log S_m(240) - \log S']^2} \quad (15)$$

Calcule S' como el promedio de los valores de rigidez a 8, 15, 30, 60 120 y 240 seg, como sigue:

$$\log S' = \frac{[\log S(8) + \log S(240)]}{6} = \sum \frac{\log S(ti)}{n} \quad (16)$$

- e) Use los valores estimados de rigidez y valor de m a 60 seg para propósitos de especificación. Los valores medidos y estimados de rigidez deberían estar acordes dentro de un 2%. En cualquier otro caso, el ensayo es considerado sospechoso.

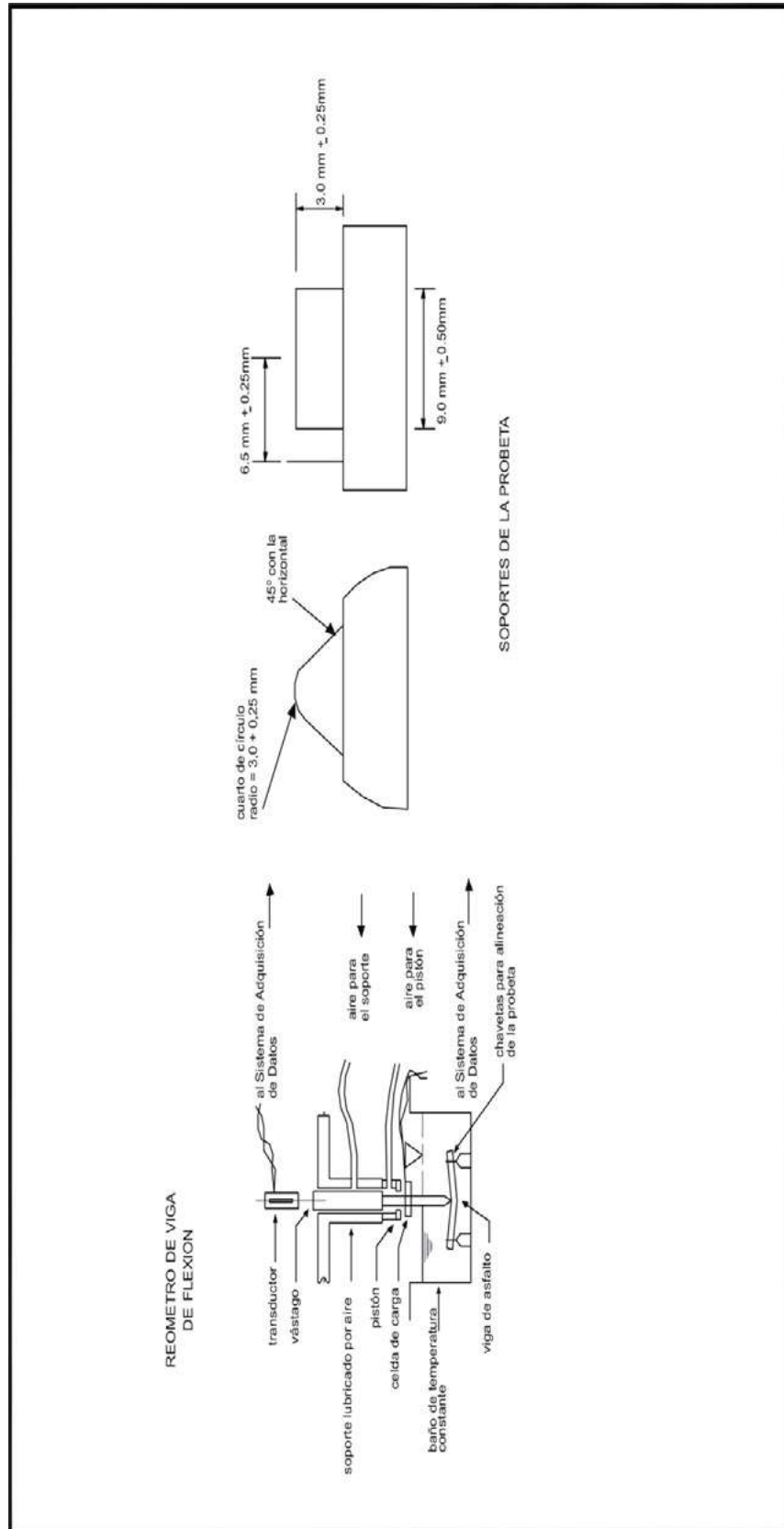


Figura 6.2_25. ESQUEMA DEL REÓMETRO DE VIGA DE FLEXIÓN

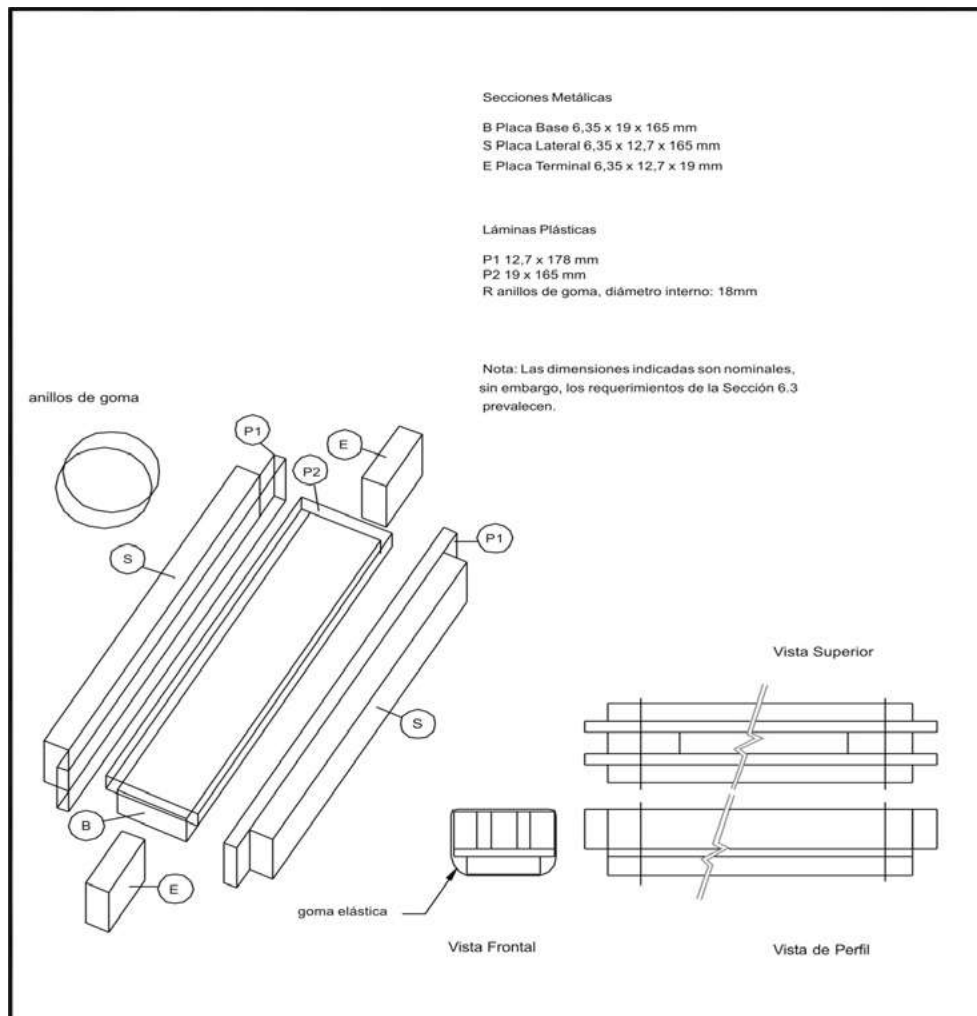


Figura 6.2_26. DIMENSIONES Y ESPECIFICACIÓN PARA LOS MOLDES DE ALUMINIO

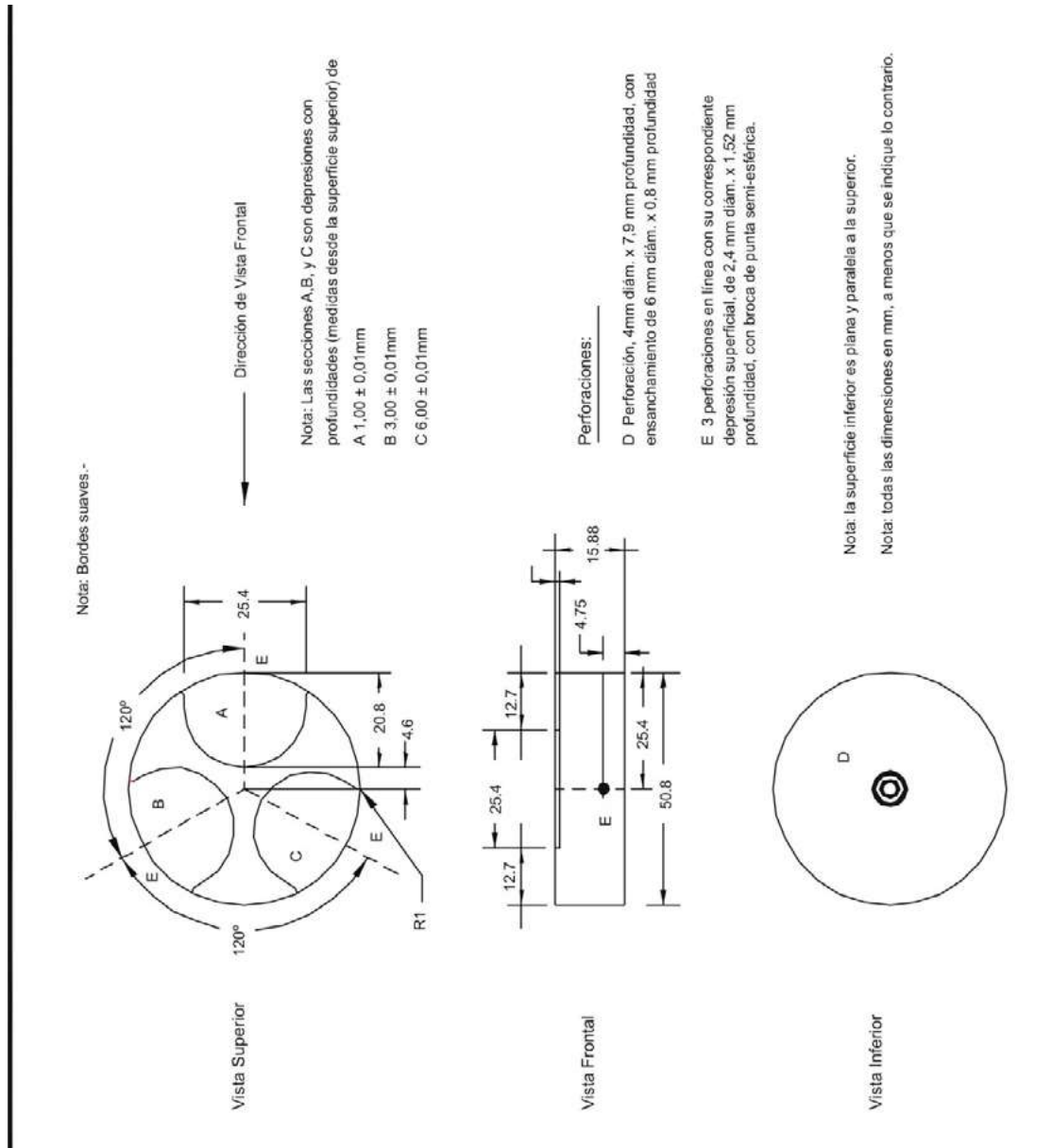


Figura 6.2_27. ESTÁNDAR DE ESPESORES TÍPICOS, USADOS PARA CALIBRAR EL SENSOR DE DEFLEXIÓN

TEST INFORMATION						
Project:	Testing	Target Temp:	23,0 °C	Conf. Test:	2.199c+008	
Operator:	Jsy	Actual Temp:	14,8 °C	Date:	09/17/93	
Specimen:	plastic beam b	Soak Time:	0,0 sec	Load Const:	0,24	
Time:	11:47:03	Beam Width:	12,70 mm	Defl Const:	0,0024	
Date:	09/18/93	Thickness:	6,35 mm	Date:	09/17/93	
Fiel:	0818934.dat					
RESULTS						
t time (sec)	P Force (N)	d Defl (mm)	Measured Stiffness (kPa)	Estimated Stiffness (kPa)	Difference %	m-value
8	0,9859	0,9126	87030,0	87060,0	0,03532	0,176
15	0,9894	1,022	77990,0	77930,0	-0,08120	0,175
30	0,9913	1,158	68960,0	68990,0	0,04809	0,175
60	0,9910	1,308	61110,0	61110,0	0,004487	0,174
120	0,9908	1,475	54150,0	54150,0	0,001551	0,174
240	0,9906	1,664	48010,0	48000,0	0,005077	0,174
Regression Coefficients						
A = 5,100		b = -0,1784		c = 0,001020		R² = 0.999996
CANNON BENDING BEAM RHEOMETER				P to Print – ESC to continue		

Figura 6.2_28. TEST INFORMACIÓN

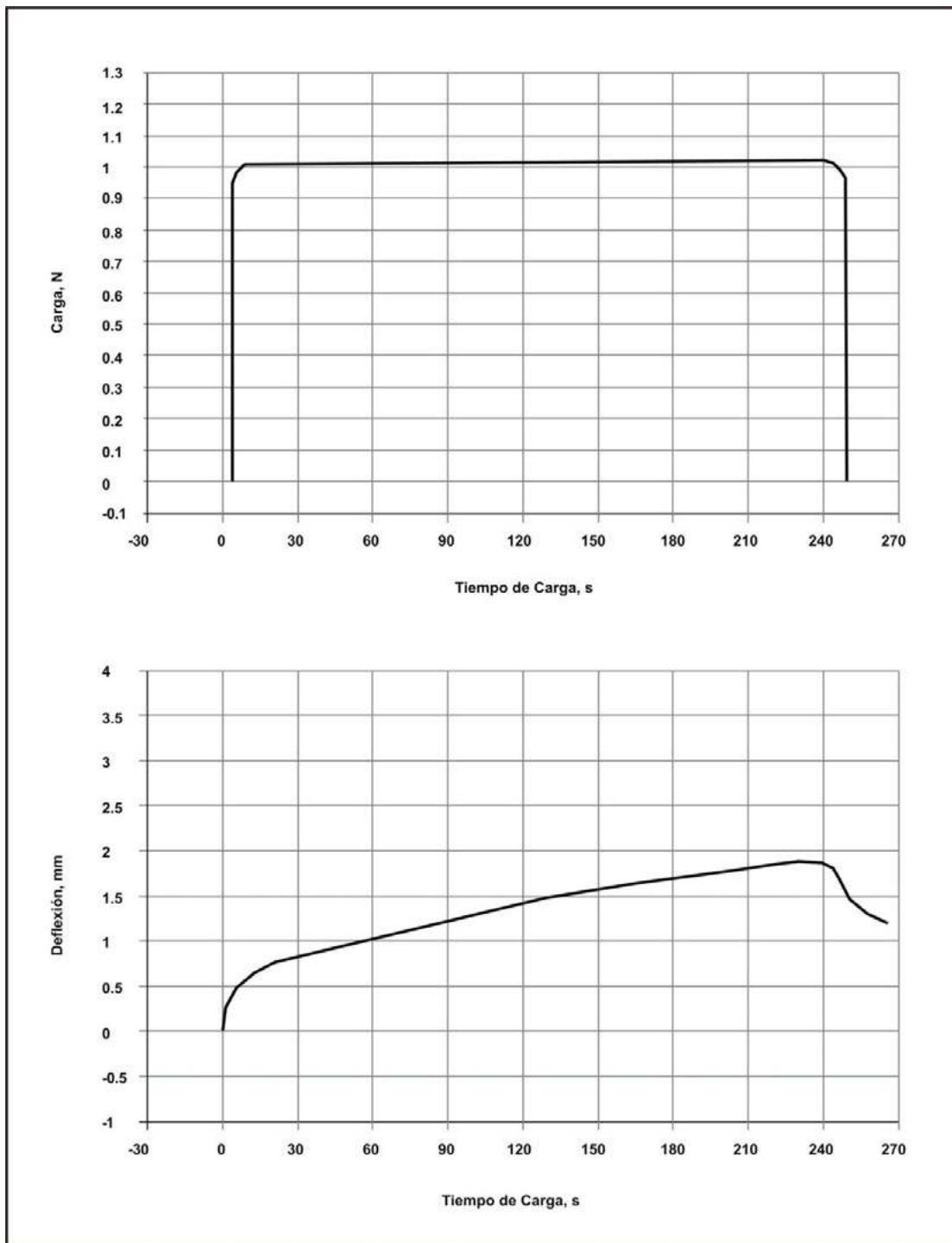


Figura 6.2_29. ENSAYO DE CREEP EN FLEXIÓN A BAJAS TEMPERATURAS

SECCION 6.2.1.17.

MÉTODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA DEFORMACIÓN A LA ROTURA EN EL ENSAYO DE TRACCIÓN DIRECTA (ASTM D 6723-02 AASHTO TP3-00)

6.2.1.17.1. OBJETO

Este método sirve para determinar la deformación y tensión de falla de ligantes asfálticos mediante un ensayo de tracción directa. Se puede utilizar para ensayar tanto asfaltos originales como envejecidos, mediante **Sección 6.2.1.20**: Ensayo de película delgada rotatoria o **Sección 6.2.1.14**: Superpave de envejecimiento acelerado en cámara a presión. El equipo de ensayo está diseñado para un rango de temperatura de + 6 a -36° C.

Este método no es aplicable a ligantes asfálticos que contengan material particulado de dimensiones mayores a 250 µm.

Este método no es válido para asfaltos que exhiban una deformación de falla superior en más de un 10 % del límite del rango considerado frágil-dúctil.

Para la evaluación de un ligante asfáltico se usa una tasa de elongación de 1 mm/min. Es posible usar otras tasas de elongación y temperaturas para ensayar ligantes asfálticos.

Este método puede incluir operaciones, equipos y/o materiales peligrosos. En este método no se describen las medidas de seguridad asociadas con su uso. Es responsabilidad del usuario de este procedimiento, establecer las medidas de seguridad e higiene apropiadas.

Este método se basa en AASHTO TP3-00, Standard Test Method for Determining the Fracture Properties of Asphalt Binder in Direct Tension (DT).

6.2.1.17.2. DEFINICIONES

A.LIGANTE ASFÁLTICO

Cemento asfáltico, producido a partir de petróleo, con o sin la adición de modificadores orgánicos particulados, de tamaño menor a 250 µm.

B.FRÁGIL

Tipo de falla en un ensayo de tracción directa donde la curva tensión-deformación es esencialmente lineal hasta el punto de falla, la que se produce por ruptura súbita del material sin una reducción apreciable de la sección transversal.

C.FRÁGIL-DÚCTIL

Tipo de falla en un ensayo de tracción directa donde la curva tensión-deformación es curvilínea y la falla se produce por ruptura súbita del material. Sólo se produce una pequeña reducción de la sección transversal de la probeta.

D.DÚCTIL

Tipo de falla en un ensayo de tracción directa donde el material no llega a la ruptura, sino que falla por fluencia a grandes niveles de deformación.

E.DEFORMACIÓN DE TRACCIÓN

Deformación axial resultante de la aplicación de una carga de tracción, que se calcula como el cambio de la longitud efectiva de la probeta, causada por la aplicación de la carga de tracción, dividida por la longitud efectiva original, antes de aplicar la carga.

F.TENSIÓN DE TRACCIÓN

Tensión axial resultante de la aplicación de una carga de tracción, calculada como la carga de tracción dividida por el área original de la sección transversal de la probeta.

G.FALLA

Punto en el cual la carga de tracción alcanza un valor máximo mientras la probeta es traccionada a velocidad de deformación constante.

H.TENSIÓN DE FALLA

Tensión de tracción en la probeta cuando la carga alcanza un valor máximo durante el procedimiento de ensayo.

I.DEFORMACIÓN DE FALLA

La deformación de tracción correspondiente a la tensión de falla.

J.SECCIÓN NOMINAL

Parte central de la probeta en la cual la sección transversal no varía longitudinalmente. Para este ensayo la sección nominal tiene 18 mm de largo, ver **Figura 6.2_ 30**.

K.LONGITUD CORREGIDA EFECTIVA

Para las probetas usadas en este ensayo, la longitud corregida efectiva, l_e , ha sido determinada como 33,8 mm. Esta es una longitud de calibración efectiva, que representa la parte de la probeta que contribuye mayormente a la deformación.

6.2.1.17.3. EQUIPOS Y MATERIALES

A.EQUIPOS

A.1.Sistema de ensayo de tracción directa

El sistema de ensayo de tracción directa consiste en:

- Una máquina de Tracción de carga de desplazamiento controlado.
- Un sistema de sujeción de la probeta.
- Un baño líquido o cámara aislada, que permita un control uniforme, preciso y exacto de la temperatura durante el acondicionamiento y ensayo de la probeta.
- Dispositivos de medición y registro de carga en tiempo real.
- Dispositivos de medición y registro de elongación en tiempo real.

- Dispositivos de medición y registro de temperatura en tiempo real.
- Dispositivos de registro y despliegue de datos en tiempo real.

El sistema tendrá una unidad electromecánica o servo hidráulica capaz de aplicar y medir fuerzas de tracción y compresión de al menos 500 N y 20 mm (0,78 in) de desplazamiento. La rigidez del sistema será de al menos 3 mN/m, incluyendo la celda de carga y las mordazas. La unidad contará con un transductor para medir y controlar la separación de las sujeciones y proveer información para el control de la deformación, con una precisión de desplazamiento de 1,0 μm . El sistema será capaz de controlar la velocidad de elongación con una precisión de al menos un 1 % con respecto a la velocidad de elongación especificada de la probeta, usando la información proveniente de un transductor de desplazamiento montado entre los terminales de carga o de un extensómetro sin contacto que mida la elongación de la probeta.

A.2. Máquina de carga de tracción equipada con control de temperatura.

Una máquina de carga de tracción con un marco de carga de desplazamiento controlado, capaz de producir al menos 500 N

El marco de carga debe estar montado sobre una mesa. El sistema de sujeción (mordazas y placas) estará sumergido completamente bajo el líquido del baño (si se usa un sistema de baño líquido), a una profundidad mínima 25 mm bajo la superficie del fluido enfriador. La carga se producirá tirando directamente en tracción en el mismo plano de la probeta. La distancia entre los puntos de carga del marco de carga (entre las mordazas de carga) debe permitir acomodar las probetas con un largo total (incluyendo los terminales) de al menos 100 mm, ver **Figura 6.2_30**. Si se utiliza un sistema enfriado por aire, el marco de carga debe estar equipado con 2 columnas con suficiente espacio como para que la cámara aislada utilizada pueda ser ubicada entre dichas columnas.

A.3. Sistema de sujeción de la probeta.

El sistema de sujeción debe producir una carga axial auto-alineada. Además, debe permitir la inserción de los terminales de la probeta descritos más abajo, y estar diseñado de tal manera que las probetas puedan ser montadas fácilmente en la máquina.

El sistema incluirá 2 mordazas. Cada mordaza debe incluir una chaveta especial que irá montada rígidamente a las platinas de carga de la máquina de ensayo. La Figura 6.2_30, muestra la configuración típica de una mordaza y chaveta de carga. Una mordaza debe estar fija y permanecer inmóvil durante el ensayo, mientras que la otra mordaza se desplaza a la tasa de deformación especificada. Los terminales de la probeta deben ser fabricados en material G-10 fenólico (polimetilmetacrilato), u otro material apropiado, con un coeficiente de expansión térmica lineal similar al asfalto ($0,00006 \text{ mm/mm/}^{\circ}\text{C}$), y de dimensiones como las que se indican en las Figuras 1, 2 y 3 de la Figura 6.2_31. Deben estar adheridos a ambos extremos de la probeta para transferir la carga de tracción al ligante asfáltico. Cada uno de estos terminales contendrá un agujero preciso trabajado a máquina, alineado con un anillo de acero inoxidable 304.

El diámetro del agujero alineado será de $10 \pm 0,05 \text{ mm}$. La sujeción de la muestra será efectuada a través de la adhesión entre el ligante asfáltico y el Terminal. Cada Terminal se montará sobre una chaveta especialmente torneada, la que es parte del sistema de sujeción. La probeta se montará sobre las mordazas, ubicando los terminales en la máquina de ensayo de forma tal que se ajusten sobre las chavetas y queden separadas contra la cara de las mordazas.

A.4. Cámara de ensayo para control de temperatura y ensayo.

La cámara de control de temperatura tendrá suficiente espacio para almacenar al menos doce probetas. El rango de control de temperatura para la cámara de enfriamiento, sin muestras asfálticas, en todos sus puntos interiores debe ser de +6 a -36°C , con una estabilidad de temperatura de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$, como mínimo. Al colocar una probeta a temperatura ambiente dentro

de la cámara de enfriamiento se produce una fluctuación de la temperatura. Esta fluctuación, medida como la diferencia de temperatura entre las mordazas, con respecto a la temperatura especificada de ensayo, debe ser menor que $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$.

Sin embargo, durante el ensayo, el gradiente de temperatura entre las mordazas no excederá $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. La temperatura se medirá mediante un sensor de resistencia térmica (RTD) de platino (calibrado en un rango de 6 a -36°C), ubicado dentro de la cámara en la proximidad del área de ensayo. Si se utiliza un sistema de enfriamiento por aire, se puede usar un enfriador mecánico o nitrógeno líquido para enfriar la cámara.

Debe tener un sistema deshumidificador con una capacidad tal que se elimine la formación de escarcha en el interior de la cámara, en la probeta y en cualquier componente del ensayo. La cámara tendrá la capacidad suficiente para almacenar al menos 12 probetas sobre una repisa, la cual debe estar térmicamente aislada de las paredes y piso de la cámara, de manera que el calor conducido desde las paredes y el piso no afecte la temperatura de las probetas. Si se usa un sistema de enfriamiento por aire, la cámara estará equipada con una puerta frontal para la mantención y propósitos de estandarización, además de una puerta de acceso que permita al operador insertar su antebrazo y mano con el fin de ubicar las probetas sobre la repisa para acondicionamiento o sobre las mordazas para el ensayo.

La puerta de acceso estará diseñada para que los cambios de temperatura en la cámara sean de $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ cuando el operador coloque y saque sus manos desde la cámara. Debe haber acceso visual al interior de la cámara para permitir el montaje apropiado de las muestras y el monitoreo del ensayo. La deformación de la probeta se mide con un láser óptico. El uso del láser requiere que haya ventanas de vidrio óptico en los dos lados de la cámara de temperatura, de manera que el rayo de láser pueda pasar a través de la cámara sin distorsión del haz.

Si se usa líquido como medio de enfriamiento, se recomienda el uso de una mezcla de 42% de polvo de acetato de potasio y 58 % de agua des-ionizada (porcentajes en peso). No se deben usar alcoholes, ya que se ha encontrado que fragilizan los ligantes asfálticos, es decir, afectan sus propiedades de falla en presencia de tensión.

Nota 1: El acetato de potasio se encuentra disponible comercialmente en forma de una mezcla fluida descongela, compuesta aproximadamente de un 50% de acetato de potasio y 50% de agua des-ionizada. Si se usa esta mezcla comercial, la combinación de 42% y 58% mencionada se puede lograr añadiendo a la mezcla agua des-ionizada destilada hasta que la densidad obtenida sea de $1,2375 \pm 0,0025 \text{ g/cm}^3$.

La densidad se puede medir usando un hidrómetro adecuado.

A.5. Dispositivos de medición y registro de carga.

La carga se medirá con una celda de carga, de 500 N de capacidad mínima y precisión de 0,1 N. La celda de carga deberá ser calibrada al menos una vez al año, de acuerdo a **ASTM E4**. La carga y deformación serán monitoreadas con el sistema de adquisición de datos, de manera que se puedan registrar con una precisión del 1% respecto de la carga y deformación de falla, respectivamente. Una vez que se inicia el ensayo, el SAD deberá ser capaz de detectar el momento en el cual la carga comienza a cambiar como resultado de la deformación de la probeta. Esto se logra monitoreando la señal de la celda de carga en el tiempo.

El instante en que se produce un cambio en la señal de carga equivalente a $2 \pm 0,3 \text{ N}$ (umbral de carga), indica el tiempo en el que la lectura en el transductor de desplazamiento se hace cero. El Sistema de Adquisición de Datos registra el instante en que se obtiene la máxima carga, y la deformación de falla se calcula como la deformación acumulada desde la lectura cero hasta la elongación correspondiente a dicha carga máxima. Una vez que el ensayo ha finalizado el dispositivo mostrará la deformación de falla. Usualmente, la carga máxima varía de 10 a 250 N,

dependiendo de la temperatura de ensayo, grado, envejecimiento y origen del ligante asfáltico. La tensión y la deformación unitaria se mostrarán aproximadas a 0,1.

A.6. Dispositivos de medición y registro de elongación.

La elongación de la probeta se medirá mediante la separación de las mordazas, con un transductor de desplazamiento. El transductor de desplazamiento será capaz de medir y controlar la separación de las mordazas, y además deberá suministrar la retroalimentación para el control de la tasa de deformación, con una precisión de 1,0 μm de desplazamiento.

- Si el componente de adquisición de datos consiste en un computador personal tipo IBM o compatible, tendrá tres canales A/D; uno para la carga, uno para la elongación y otro para la temperatura. Los datos serán almacenados en formato ASCII.
- Salida de la curva tensión-deformación. El sistema de registro y despliegue de datos será capaz de mostrar una curva tensión-deformación, en unidades de tensión MPa v/s porcentaje de deformación (eje de abscisas) y MPa (eje de ordenadas). Esto puede llevarse a cabo usando la pantalla de video de la computadora o con un registrador de XY. Si se utiliza un registrador, las unidades pueden estar en volts, pero en este caso, el archivo de ensayo contendrá el factor de calibración en MPa/volts y % de def./volts, para ambos ejes.

A.7. Moldes

Fabricados en aluminio, con las dimensiones especificadas en la **Figura 6.2_ 33**. Para prevenir que el asfalto se adhiera a los elementos del molde se requiere un agente desmoldante para las paredes del molde, y un papel revestido de teflón para la base del molde, tal como se describe en 25 y 26.

A.8. Placas para almacenamiento de las probetas

Cuando se usa un sistema enfriado por aire, se requieren planchas de teflón u otro plástico, para transferir y almacenar las probetas de ensayo a la cámara enfriada por aire.

A.9. Termómetro calibrado

Un termómetro de mercurio, de rango adecuado y con subdivisiones de 0,1^o C, para verificar el transductor de temperatura. El termómetro debe estar calibrado según **ASTM E77**. Un termómetro ASTM 62C es adecuado.

A.10. Congelador

Capaz de mantener una temperatura de $-15 \pm 5^{\circ}$ C. El congelador sólo se requiere cuando se usa un sistema de enfriamiento por aire.

A.11. Horno

Un horno de tiro forzado, capaz de alcanzar y mantener u Requerido para el control de temperatura en sistemas equipados con baño líquido de enfriamiento. Se requiere una mezcla acuosa de 42% en peso de acetato de potasio en polvo y 58 % de agua des-ionizada. Los alcoholes no están permitidos pues afectan las propiedades de falla de todos los asfaltos.

A.12. Agente desmoldante

Mezcla de 20 g de glicerina y 20 g de talco, para lubricar las paredes de los moldes de aluminio y facilitar el desmolde de la probeta.

A.13. Papel de desmolde

Un papel revestido con teflón por ambos lados. El espesor mínimo de revestimiento debe ser de 0,3 micrones.

A.14.Solvente

Solvente mineral o desgrasante en un rociador, formulado para limpieza de asfalto, para limpiar los moldes, terminales y placas.

A.15.Paños

Paños de algodón para secar los moldes, terminales y planchas (guaípe).

6.2.1.17.4. CALIBRACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN

Verificar la calibración del transductor de desplazamiento, celda de carga y transductor de temperatura (Nota 2)

Nota 2: La calibración, en general, es realizada por un servicio de calibración externo. La verificación de la calibración, la estandarización del sistema, y los controles de calidad, pueden ser realizados por el fabricante, otros servicios externos o por personal del laboratorio, de acuerdo a los procedimientos descritos a continuación.

A.VERIFICACIÓN DE LA CELDA DE CARGA Y DEL TRANSDUCTOR DE DESPLAZAMIENTO.

Para verificar la operación de la celda de carga y del transductor de desplazamiento se usará una columna especialmente diseñada. La columna de verificación tendrá un coeficiente de balasto de aproximadamente 135 N/mm y será capaz de resistir una carga de 500 N sin dañarse. La columna de verificación será suministrada por el fabricante del sistema de tracción directa, con sus características de tensión-deformación. El fabricante entregará un certificado con cada columna de verificación, lo cual garantiza el seguimiento del equipo usado para determinar las características tensión-deformación de la columna. Verifique la calibración de la celda de carga y el transductor de desplazamiento al menos cada seis meses, y cuando las mediciones sean dudosas.

B.VERIFICACIÓN DE LA TASA DE DEFORMACIÓN.

La tasa de deformación debe ser verificada usando la columna de verificación descrita en 30. Para realizar la verificación, grafique la tasa de deformación en función del tiempo transcurrido. El gráfico resultante deberá ser una línea recta con pendiente de 1,00 mm/min.

Nota 3: *La medición debe hacerse a -18° C. Espere 10 min para que la columna de verificación alcance el equilibrio térmico.*

C.DETECTOR DE TEMPERATURA.

El detector de temperatura debe ser calibrado como mínimo una vez al año o con mayor frecuencia si se cree que el equipo pueda estar fuera de calibración. La temperatura debe ser calibrada mediante un dispositivo NIST trazable, cuyo error sea menor que 1/3 de la tolerancia requerida en la medición, de acuerdo a ISO 10012-1, par. 4.3. Para el control de temperatura de $\pm 0,1^{\circ} \text{C}$, el error máximo del dispositivo de calibración será $\pm 0,033^{\circ} \text{C}$. La temperatura debe ser calibrada para cada temperatura de ensayo utilizada. Coloque el dispositivo de calibración de temperatura en la cámara de ambiente controlado y mantenga el RTD en contacto íntimo con el dispositivo.

Cuando el dispositivo y el aparato de verificación de temperatura hayan alcanzado el equilibrio, compare la lectura de temperatura indicada por el RTD y la temperatura observada en el dispositivo de calibración. Si la temperatura indicada por el detector térmico no concuerda con el dispositivo de calibración dentro de $\pm 0,1^{\circ} \text{C}$, aplique una corrección apropiada a la medición

de temperatura indicada por el detector, o de lo contrario realice una calibración o mantención mayor.

6.2.1.17.5. CONDICIONES GENERALES

A.MEDIDAS DE SEGURIDAD

Observe procedimientos de seguridad normales de laboratorio cuando maneje ligantes asfálticos calientes y al preparar muestra para ensayos y procedimientos de seguridad cuando se limpie con desgrasantes.

6.2.1.17.6. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- a. Preparación de muestras de ensayo. Si se va a ensayar asfalto original, obtenga las muestras de acuerdo a la **Sección 6.2.1.1**. Caliente el ligante asfáltico del cual se obtendrá la probeta hasta que esté suficientemente fluido. Este calentamiento remueve las asociaciones moleculares reversibles (Endurecimiento estérico) que ocurren durante el almacenamiento normal a temperatura ambiente.

Nota 4: *Se recomiendan temperaturas mínimas de vertido que produzcan una consistencia equivalente al aceite de motor SAE 10W30 a temperatura ambiente (de fácil vertido, pero no excesivamente fluido). Se debe evitar el calentamiento de ligantes asfálticos a temperaturas superiores a 135° C; sin embargo, con algunos asfaltos modificados o ligantes envejecidos, pueden requerirse temperaturas de vertido por sobre 135° C.*

- b. Cubra las superficies de las dos paredes laterales del molde con el agente desmoldante. Aplique el desmoldante de forma que produzca una capa delgada y uniforme sobre la superficie del metal, de modo que ninguna parte del metal quede expuesta. Coloque una lámina precortada de papel de desmolde sobre la placa base del molde. Deslice una plancha lateral sobre la placa base (sobre el papel de desmolde). Coloque los terminales dentro de ambos extremos del molde. Deslice la otra plancha lateral sobre la placa base para completar el ensamblaje del molde. Coloque los moldes y los terminales ensamblados en el mismo horno usado para calentar el ligante, es decir, a la misma temperatura por no más de 3 min. Si son dejados en el horno por más de 3 min., se afectarán las propiedades desmoldantes de la mezcla glicerina- talco.
- c. Retire el molde del horno y colóquelo sobre una superficie plana. Vierta el ligante asfáltico caliente dentro del molde, partiendo desde un extremo de la cavidad y moviéndose hacia el otro extremo, en un sólo paso. Vierta el asfalto en un chorro continuo para evitar la entrada de burbujas de aire o vacíos. Complete la operación de vertido tan rápidamente como sea posible para evitar cualquier caída excesiva de temperatura en el ligante. Detenga el vertido cuando el asfalto esté ligeramente sobre el borde superior de las paredes del molde.
- d. Una vez vertido el asfalto, enfríe el molde y el asfalto a temperatura ambiente por 30 a 60 min. No enfríe rápidamente la probeta intentando alcanzar la temperatura ambiente (25° C o menor).
- e. Tan pronto como la muestra se haya enfriado a temperatura ambiente, enrrese la probeta y retire el exceso de ligante con una espátula (o similar) caliente, a 165° C aproximadamente, de modo que el ligante quede al mismo nivel con el borde superior del molde. Sea cuidadoso durante esta operación, para que el ligante no sea forzado fuera

del molde y evitar así, que la unión entre el ligante y los terminales no se dañe. Enrase la probeta de una manera consistente. Pase la espátula o cuchillo caliente a lo largo del eje de la muestra en forma pareja, al ras con la superficie del molde, para remover el exceso de ligante. Después remueva todos los restos de ligante desde los agujeros o las ranuras de los terminales. Una vez enrasada, deje enfriar la probeta a temperatura ambiente por 10 a 15 min.

- f. Previo al desmolde de las probetas, coloque 2 planchas laterales de un molde de aluminio sin uso **Figura 6.2_ 33** dentro del baño enfriador o cámara de aire y deje enfriar hasta la temperatura de ensayo. Use estas planchas laterales como portadores para transferir la probeta de ensayo hasta el baño o cámara. Además, prepare una placa base para transferir las probetas, de la siguiente manera: coloque una placa base sin usar (**Figura 6.2_ 33**), invertida sobre la plataforma de trabajo, a fin de formar una placa de transferencia.

Coloque dos papeles de desmolde de modo que se traslapen a lo largo y que cubran la superficie de la placa de transferencia. Ahora desmolde la probeta, deslizándola suavemente junto a las dos planchas laterales del molde, hacía una orilla de la placa base, hasta que la plancha lateral más próxima a la orilla esté cruzada a la mitad de dicha orilla. Gire la plancha lateral sobresaliente hacia abajo, usando una presión suave y desmolde ese lado. Coloque la plancha recién liberada nuevamente en su lugar, y ahora deslice la probeta y las dos planchas laterales (una aún adherida y la otra desmoldada pero reensamblada) hacía la orilla opuesta y repita el procedimiento de desmolde indicado arriba.

A continuación, repita el procedimiento de desmolde con la diferencia que ahora se remueve completamente la plancha lateral, y se monta suavemente una de las planchas laterales enfriadas en la cámara o en el baño, a ese lado de la probeta. Ahora desmolde la otra plancha lateral, reemplazándola por aquella enfriada en la cámara de aire o baño líquido. En este punto, la muestra y el molde estarán ensamblados deben verse exactamente como la muestra enrasada antes de desmoldar, excepto que las dos planchas laterales han sido reemplazadas por planchas frías (ambientadas en la cámara o baño de ensayo). Ahora invierta la probeta fría, ensamblada con el molde, tomando el molde por el centro entre el pulgar y el dedo índice de cada mano.

Coloque el molde ensamblado invertido sobre la placa de transferencia, de modo que se forme una cruz, es decir, el molde ensamblado debe quedar perpendicular a la placa base de transferencia, cubierta con papeles de desmolde. Suavemente, remueva la placa base de la probeta invertida, deslizándola y descansando sobre la placa de transferencia. El papel de desmolde del fondo de la probeta debería quedar expuesto. Sostenga las dos planchas laterales con el fin de asegurar la probeta mientras se remueve suavemente el papel desmoldante. Transporte la placa base de transferencia, con la probeta invertida pero expuesta, hasta la cámara o baño de ensayo.

Inmediatamente coloque la probeta (a lo largo, con las dos planchas laterales frías) dentro del baño enfriador o la cámara, sobre una de las bandejas. Remueva las dos planchas laterales después de un período de 2 min. de enfriamiento. Algunos asfaltos más blandos pueden requerir más de 2 min. de enfriamiento antes de remover las planchas laterales. Ahora suelte la probeta recién liberada en el baño de ensayo o en la cámara, de modo que la cara enrasada quede hacia arriba. Siempre se debe ensayar las probetas con la cara de enrasado hacia arriba.

La placa base de transferencia, cubierta con los papeles de teflón, nunca debiera ser puesta en el baño. No es necesario medir las dimensiones de la probeta después de desmoldar, ya que las tolerancias dimensionales son controladas en el proceso de moldeo.

Nota 5: Minimice la distorsión de la probeta durante el desmolde. La variabilidad en las propiedades de falla se incrementa si se ensayan probetas distorsionadas (ya sea doblado a lo largo del eje de carga o perpendicular al mismo). Una probeta distorsionada produce valores de falla menores.

6.2.1.17.7. ACONDICIONAMIENTO DE LA PROBETA

Ajuste el baño enfriador a la temperatura de ensayo deseada y espere hasta que se establezca dentro de $\pm 0,1^\circ$ C de dicha temperatura.

Acondicione las probetas en el baño enfriador o cámara a la temperatura de ensayo por 60 ± 10 min. Planifique los tiempos de cada actividad, para evitar variabilidad en el ensayo debido al endurecimiento físico.

6.2.1.17.8. PROCEDIMIENTO

A.PROCEDIMIENTO DE ENSAYO PARA SISTEMAS CON ENFRIADOR BASADO EN BAÑO DE FLUIDO

- a. Usando pinzas de goma punteadas, monte la probeta sobre el marco de carga haciendo calzar los orificios de los terminales en las chavetas de carga del marco de carga. Si los orificios no encajan con las chavetas, monte una de las chavetas con un extremo de la muestra y ajuste el marco de carga manualmente hasta que el otro extremo de la probeta calce dentro de su lugar como es debido.

Verifique el asentamiento de la probeta moviendo las pinzas suavemente sobre los terminales en cada uno de los extremos de la muestra.

- b. Una vez que la probeta se encuentre sobre las chavetas de carga, elimine la holgura entre la probeta y las chavetas de carga. Idealmente, la holgura debiera ser eliminada automáticamente ajustando el software de ensayo al monitorear la carga. Inicializar la deformación y empezar el ensayo cuando la carga alcance un valor de $2 \pm 0,3$ N.

Si tal control de software no está disponible, o si se usa el ajuste vertical de ensayo de una cámara enfriadora, se debe eliminar la holgura manualmente, manipulando el control de ajuste fino. Ajustar hasta que se produzca una carga de $2 \pm 0,3$ N. Una vez llevado a cabo, verifique nuevamente los ajustes de la probeta con las pinzas para evitar cualquier lectura errónea de carga.

Repita el procedimiento de carga manual descrito arriba hasta que una carga de $2 \pm 0,3$ N sea obtenida nuevamente. Ahora ponga en cero la deformación rápidamente y presione la tecla inicio para comenzar el ensayo. Si la holgura es eliminada automáticamente por el software de control del ensayo, el ensayo se reinicia automáticamente después de la puesta a cero de la deformación por parte del software.

En este caso, no se requiere la pulsación manual de la tecla de inicio.

- c. Ajuste la tasa de deformación a una rapidez de 3%/min. (para permitir una tasa de elongación de 1mm/min.), si es que el software no la tiene pre-ajustada.

B.PROCEDIMIENTO DE ENSAYO PARA SISTEMAS CON ENFRIAMIENTO POR AIRE FORZADO

- d. Después de 60 ± 10 min., monte la probeta sobre las chavetas usando la puerta de acceso manual de la cámara, de tal manera que la cara posterior del terminal esté centrada

sobre la chaveta de montaje. No abra la puerta de la cámara para manipular o montar la probeta, ya que esto produce excesivas fluctuaciones de temperatura, lo cual retrasa la estabilización y afecta la variabilidad térmica histórica. Manipule las probetas con guantes quirúrgicos para proteger los dedos del operador y minimizar el calentamiento de la probeta. Manipule la probeta tocando sólo los terminales, sin tocar el ligante asfáltico.

Nota 6: Corrientes de aire de los ventiladores de circulación pueden causar que los terminales se muevan después de haber sido colocados sobre las chavetas de montaje. Una goma de silicona o un disco de espuma, flexible a la temperatura de ensayo, ayudará a fijar el terminal contra la cara de la mordaza. Es importante que el terminal esté centrado en la chaveta (parejo contra la cara de la mordaza) para que así la carga sea aplicada axialmente en el centro de la probeta. Se puede cortar un disco de goma siliconada, utilizando un perforador de corcho.

- e. El disco debe tener entre 5 y 10 mm de espesor, con un diámetro exterior de aproximadamente 10 mm. El diámetro interior del disco debe ser suficiente para proveer un contacto sobre una porción de 5 mm de la chaveta. El disco debe deslizarse fácilmente sobre la chaveta, entregando sólo la fuerza necesaria para sujetar el terminal en su lugar durante el ensayo.

C. PROCEDIMIENTO DE CARGA.

- f. Aplique una precarga a la probeta de ensayo, montándola como se describió previamente y aplicando una elongación suficiente para desarrollar una carga de 1 a 2 N; esto puede reducir la variabilidad del ensayo. Tan pronto se alcance la carga de 1 a 2 N, detenga el movimiento de la platina y permita el relajamiento de la carga hasta que no se aprecie. El tiempo requerido para relajar la carga dependerá de la rigidez de la probeta. Una vez que la carga ha sido liberada, continúe el ensayo como se describe en la siguiente sección.
- g. Seleccione la velocidad de deformación deseada y cargue la probeta hasta la falla. Seleccione una tasa de deformación que entregue una velocidad de elongación de la sección medida efectiva de $1,00 \pm 0,01$ mm/min. Si una probeta falla fuera del área efectiva de la muestra (de cuello a cuello), descarte el ensayo.

D. NÚMERO DE REPETICIONES

Se debe ensayar un total de seis probetas. La tensión y la deformación de falla son inherentemente variables para los ligantes asfálticos. El ensayo de múltiples probetas puede producir diferencias obvias. Para las seis probetas ensayadas, descarte los dos valores más bajos de tensión y deformación de falla y energía, y recalcule el promedio y desviación estándar para los cuatro valores de falla restantes.

E. IDENTIFICACIÓN DE FALLA

- h. La deformación de falla es fácilmente identificable como la deformación para la máxima carga cuando la falla es por fractura (quiebre de la pieza en dos). Sin embargo, cuando la probeta no se fractura pero alcanza una tensión máxima y fluye sin fracturarse, la deformación de falla se considera como aquella correspondiente a la tensión máxima. No continúe el ensayo más allá de un 10% de deformación y simplemente registre la deformación de falla como mayor que 10%.
- i. Si la probeta falla en la sección del cuello, se registra la falla pero además se anota que falló en esa sección. Aunque la falla es aceptable en toda la sección de ensayo (los 18 mm donde la sección transversal es constante), idealmente la falla debiera ocurrir en el centro de cada probeta. La localización de la falla y la consistencia en la repetibilidad de

los datos de falla está directamente relacionada con el cuidado con que se preparan las probetas y cómo se montan previos al ensayo.

F.LIMPIEZA DE LOS TERMINALES

Si los terminales se reutilizarán, después del ensayo elimine el asfalto ya ensayado y limpie los terminales con solvente y frotándolos con un paño suave. Después de frotar, use una solución de jabón detergente para remover cualquier partícula de aceite o residuo dejado por el solvente.

Alternativamente, use un desgrasante en rociador. Limpie los terminales completamente.

Cualquier película de grasa que permanezca sobre el área de unión puede crear una debilidad que cause fallas en la misma.

6.2.1.17.9. CÁLCULOS

Calcule la tensión de falla dividiendo la carga de falla por el área original de la sección transversal de la probeta de ensayo (6 por 6 mm) como se muestra en la ecuación (1):

$$\sigma_f = \frac{P_f}{A} \quad (1)$$

Donde:

σ_f : Tensión de falla (MPa).

P_f : Carga de falla (N).

A : Área original de la sección trasversal (m²)

Nota 7: Para las probetas usadas en este ensayo, $A = 36 \times 10^{-6} \text{ m}^2$.

Calcule la deformación unitaria de falla dividiendo la elongación por el largo original, como se muestra en la ecuación (2):

$$\varepsilon_f = \frac{\delta_f}{L_e} \quad (2)$$

Donde:

ε_f : Deformación de falla (mm/mm).

δ_f : Elongación de falla (mm).

L_e : Largo efectivo (mm).

Nota 8: Para las probetas usadas en este ensayo, le ha sido determinado en 33,8 mm.

6.2.1.17.10. PRECISIÓN

La investigación requerida para desarrollar una estimación de precisión para este método de ensayo no se ha realizado.

6.2.1.17.11. SESGO

La investigación requerida para establecer el sesgo de este método no se ha realizado.

6.2.1.17.12. INFORME

Reporte la siguiente información en el informe:

Identificación de la muestra.

Fecha y hora del ensayo.

Temperatura de ensayo, aproximada a 0,1° C.

Tasa de deformación, aproximada a 0,01 mm/min.

Deformación unitaria de falla, aproximada a 0,01 %.

Tensión de falla, aproximada a 0,01 Mpa.

Carga máxima aproximada a 1,0 N

Tipo de fractura observada (fractura o no fractura)

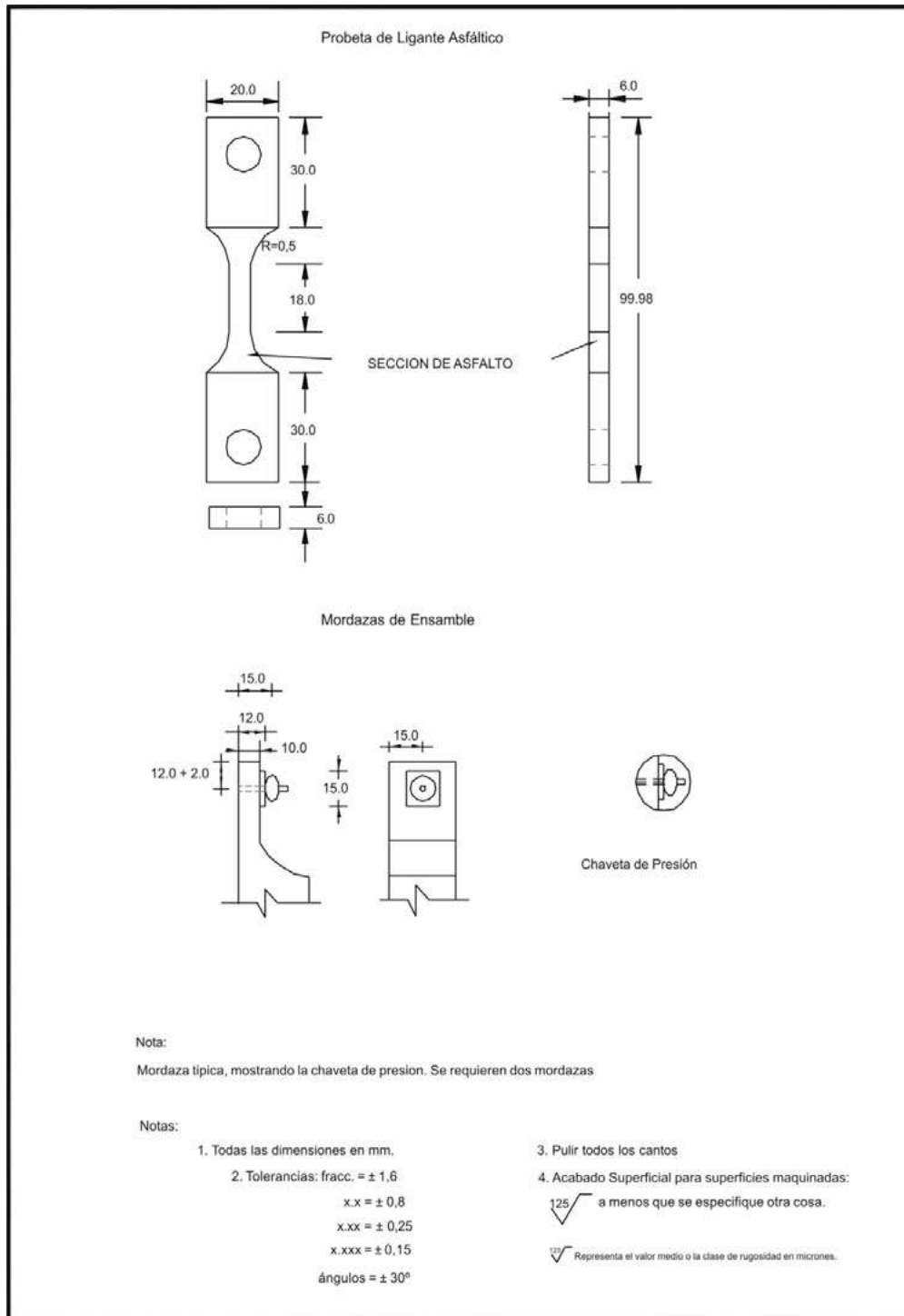


Figura 6.2_30. GEOMETRÍA DE ENSAYO DE TRACCIÓN DIRECTA

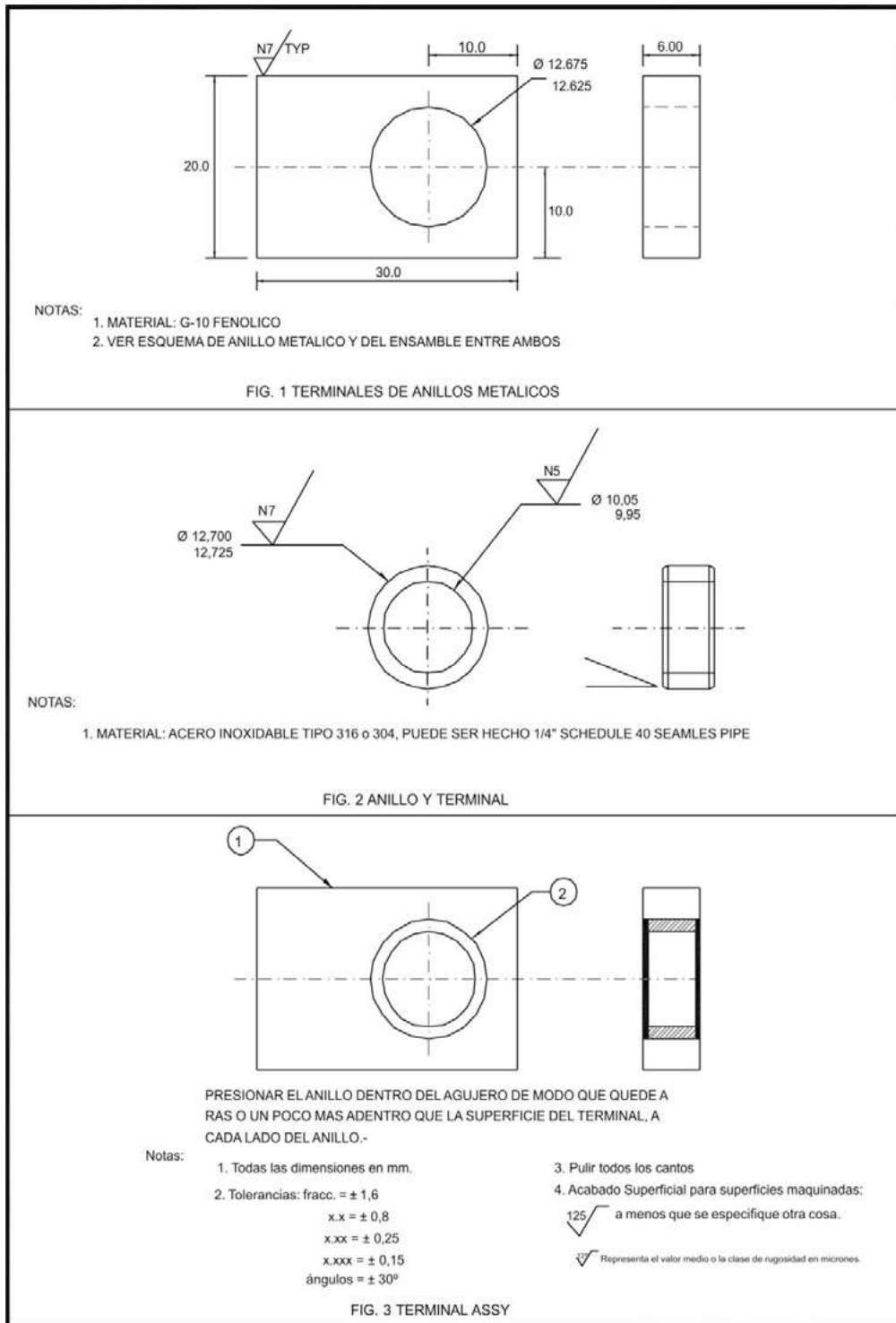


Figura 6.2_31. TRACCIÓN DIRECTA

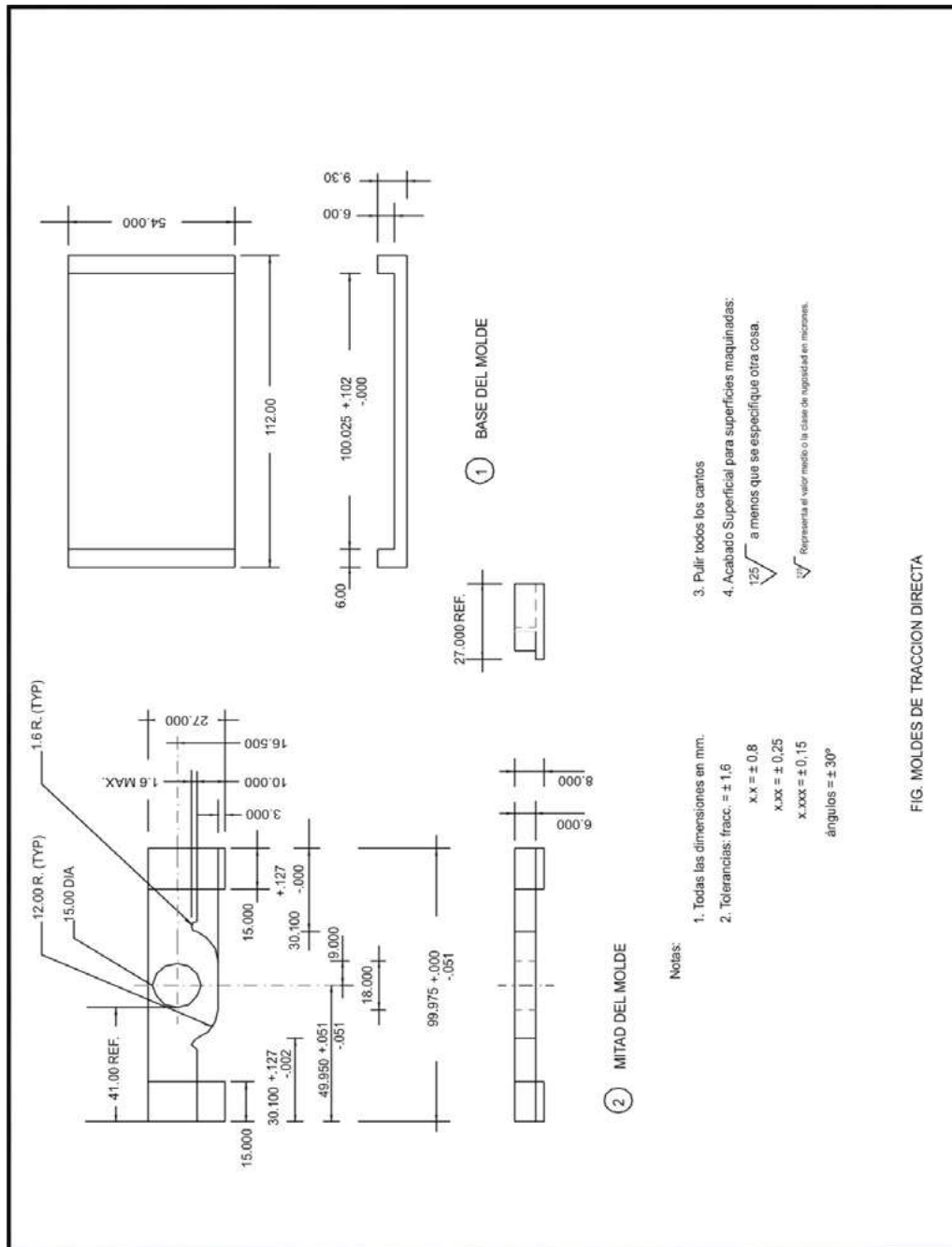


FIG. MOLDES DE TRACCION DIRECTA

Figura 6.2_32. TRACCIÓN DIRECTA

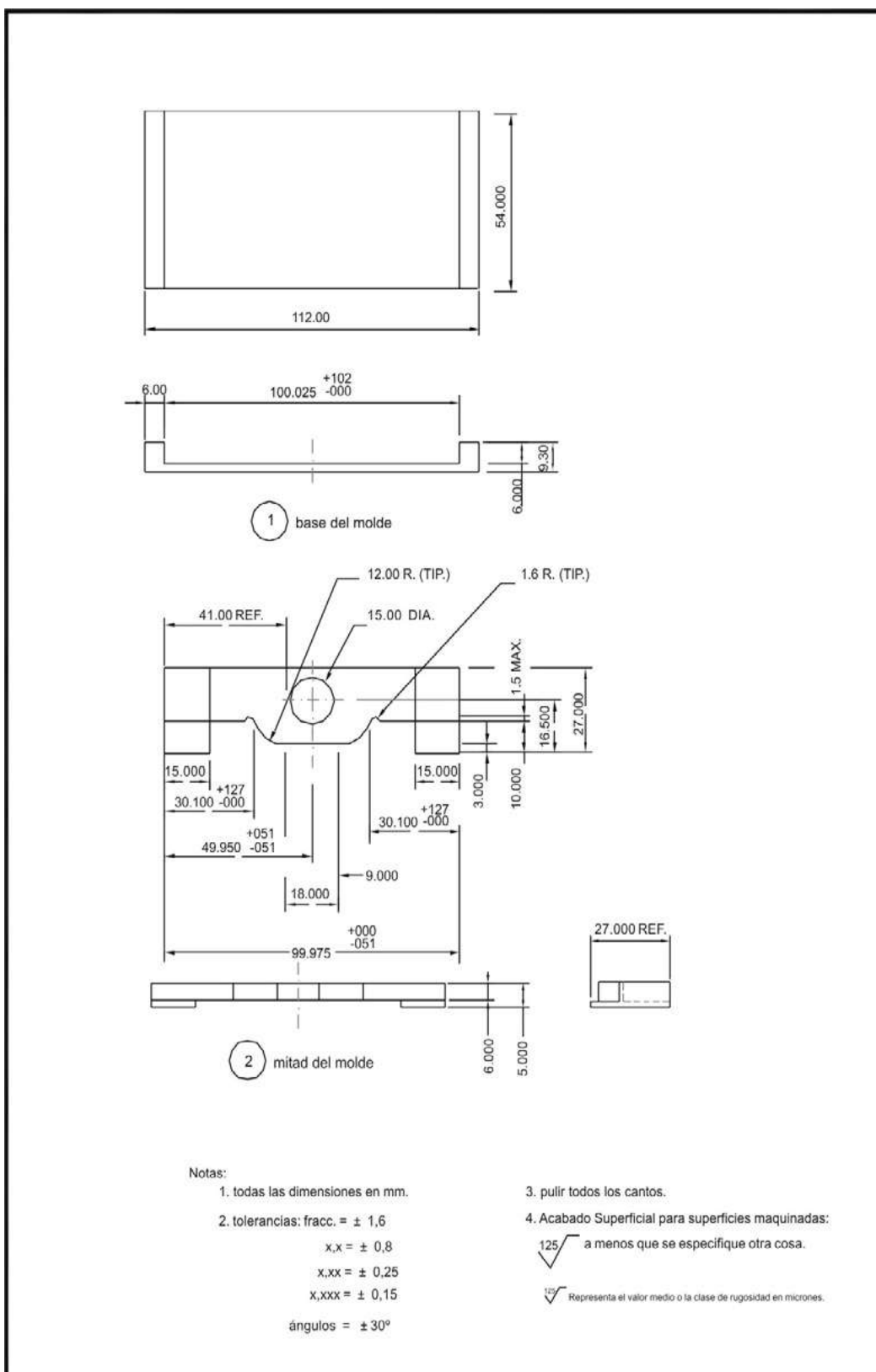


Figura 6.2_33. MOLDE PARA PROBETA, ENSAYO DE TRACCIÓN DIRECTA

SECCION 6.2.1.18.

MÉTODO PARA DETERMINAR LA ADHERENCIA AGREGADO – LIGANTE ASFÁLTICO MEDIANTE CARBONATO DE SODIO (RIEDEL – WEBER)

6.2.1.18.1. OBJETO

Este método establece un procedimiento para determinar el grado de adherencia de una película de ligante asfáltico con el agregado, mediante el uso de carbonato de sodio.

6.2.1.18.2. EQUIPOS Y MATERIALES

- a) Tamices de 0,6 mm (N° 30), 0,15 mm (N° 100) y 0,075 mm (N° 200).
- b) Tubos de ensayo de vidrio Pyrex, de 20 mm de diámetro y 200 mm de altura.
- c) Pinza de madera.
- d) Mechero Bunsen.
- e) Cronometro.
- f) Probetas graduadas de 100 cm³.
- g) Bandejas.
- h) Cápsulas metálicas de 250 cm³ de capacidad.
- i) Balanza analítica de precisión, con precisión de 0,01 g.
- j) Horno termo regulable capaz de mantener una temperatura constante entre 60 °C y 150 °C, con precisión $\pm 1^{\circ}\text{C}$.
- k) Vidrio reloj.

6.2.1.18.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

El tamaño de la muestra, de aproximadamente 200 g, se obtiene de acuerdo con la **Sección 6.2.5.4.**

1. Tamice la muestra por vía húmeda en tamiz 0,075 mm.
2. Seque la muestra hasta masa constante en horno a temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Deje enfriar a temperatura ambiente.
3. Obtenga la fracción de muestra que pasa tamiz 0,6 mm y queda retenida en tamiz 0,15 mm, descartando el resto de ella.

6.2.1.18.4. PROCEDIMIENTO

Prepare la muestra en proporción de 71 volúmenes de arena por 29 volúmenes de ligante asfáltico.

A.ADHERENCIA CON CEMENTO ASFÁLTICO

- a) Mezcle la arena con el cemento asfáltico y caliente a 110 ± 5 °C. Deje enfriar durante 1 h a temperatura ambiente en un recipiente abierto.
- b) Coloque 0,5 g de mezcla en un tubo de ensayo, agregue 6 cm³ de agua destilada y lleve a ebullición agitando durante 1 min.
- c) Una vez terminada la ebullición, llene de agua el tubo de ensayo, agite y observe el aspecto de la mezcla; habrá despegue total cuando los granos se mantengan desunidos y no se adhieran o habrá despegue parcial si los granos desunidos pegan aún entre sí. Puede verificar el despegue vertiendo en un vidrio reloj el contenido del tubo de ensayo, previamente agitado en agua. Si el despegue no es total, las partículas permanecerán unidas en el fondo del tubo; en caso contrario, las partículas despegadas serán arrastradas al vidrio reloj, donde podrán ser examinadas. Para la medida del grado de adherencia no considere el ligante asfáltico que se ha ido a la superficie durante la ebullición, sólo considere las partículas de agregado.
- d) Si este ensayo preliminar indica que la adherencia es buena, es decir, no hay despegue de las partículas de agregado con el agua, tome una nueva muestra de 0,5 g de mezcla y hágala hervir durante 1 min. con 6 cm³ de solución de carbonato de sodio de concentración creciente (**Tabla 6.2_19**), hasta lograr el despegue total. La concentración de la solución que produce el despegue entrega el grado de adherencia. Anote el comienzo y final del despegue. El grado de adherencia será 0-1, 0-2, 0-3, etc., cuando el despegue comienza con el agua destilada, para terminar con la solución 1, 2, 3, etc., de carbonato de sodio. El grado de adherencia será 0 cuando el despegue sea total con el agua destilada.

B.ADHERENCIA CON ASFALTOS CORTADOS

El procedimiento es igual al descrito en 4, exceptuando la temperatura de mezclado que es de 60 ± 3 °C y la temperatura de curado en horno que es de 110 ± 5 °C, por un período de 5 h.

C.ADHERENCIA CON EMULSIONES ASFÁLTICAS

El procedimiento es igual al descrito en 4, excepto que:

- a) Se mezcla a temperatura de 20 ± 3 °C.
- b) Se prepara la mezcla a razón de 29 volúmenes de emulsión por 71 volúmenes de arena.
- c) Una hora después de efectuada la mezcla se coloca en horno durante 24 h a la temperatura de 35 ± 3 °C.

6.2.1.18.5. INFORME

Informe como *adherencia agregado – ligante asfáltico: a – b*

Donde:

a: Inicio de despegue

b: Final de despegue

6.2.1.18.6. PREPARACIÓN DE SOLUCIONES (NOTA A FORMATEAR: TÍTULO ADICIONAL NIVEL1)

Las soluciones de Carbonato de Sodio (Na_2CO_3) se indican en la (**Tabla 6.2_19**). La concentración molar M se obtiene disolviendo 106 g de Carbonato de Sodio puro y seco en 1 l de agua destilada. Las soluciones M/2, M/4, M/8, etc., se obtienen diluyendo la solución precedente o bien disolviendo la cantidad correspondiente de Carbonato de Sodio. Los grados de adherencia correspondientes a cada solución se designan con los números 0 a 10.

Tabla 6.2_19. SOLUCIONES DE CARBONATO DE SODIO Y SUS GRADOS DE ADHERENCIA

	Concentración		Grado de adherencia
	M	g/l	
Agua destilada			0
Solución de Na_2CO_3	M/256	0,414	1
	M/128	0,828	2
	M/64	1,656	3
	M/32	3,312	4
	M/16	6,624	5
	M/8	13,25	6
	M/4	26,5	7
	M/2	53	8
	M	106	9
Si no hay despegue total en la solución 9			10

SECCION 6.2.1.19.

MÉTODO DE ENSAYO DE PELÍCULA DELGADA (ASTM D 1754 AASHTO T179-05)

6.2.1.19.1. OBJETO

Este método describe un ensayo para determinar el efecto del calor y aire sobre materiales asfálticos semisólidos. Los efectos de este tratamiento son determinados para la medida de las propiedades asfálticas antes y después del ensayo (AASHTO T179-94).

C.1.Importancia.

Este método indica la susceptibilidad aproximada de la dureza o pérdida de la ductilidad del cemento asfáltico, durante el mezclado en una mezcladora a una temperatura cercana a los 150°C. Si esta temperatura es apreciablemente menor que 150°C, el endurecimiento en el mezclador y el cambio en la ductilidad, deben ser menores que el cambio en el horno; si se usa una mayor temperatura de mezclado, cambios mayores pueden ocurrir en la dureza y ductilidad.

6.2.1.19.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A.HORNO.

Utilice un horno eléctrico que cumple con los requerimientos de la **Norma ASTM E 145** de Hornos tipo IB, para operarlo a temperaturas superiores a 180° C; tendrá un plato perfectamente centrado como se describe en 4, montado sobre el eje en el que debe girar.

A.1.Construcción.

El horno debe ser rectangular con dimensiones interiores (excluyendo el espacio ocupado por los elementos de calor) no menores que 330 mm en cada dirección (ver Nota 1); tendrá al frente una puerta herméticamente ajustada con bisagra, la que debe permitir una visión completa del interior. La puerta debe tener la ventana de dimensiones no menores que 100 x 100 mm y dos planchas de vidrio separadas por un espacio de aire; debe permitir observar un termómetro vertical que debe leerse sin abrir la puerta; puede también estar provisto con una puerta de vidrio interior, por entre la cual el termómetro puede ser observado abriendo la puerta exterior momentáneamente.

El horno estará adecuadamente ventilado por corrientes de aire por convección y, para este propósito, estará provisto de aberturas para la entrada y salida del aire caliente y vapores. Las aberturas pueden ser de cualquier tamaño y su distribución estará de acuerdo con los requisitos de **ASTM E 145**, Tipo IV.

A.2.Plato giratorio.

El horno debe estar provisto de un platillo metálico circular de diámetro mínimo de 250 mm (Nota 1) y de una superficie lisa para apoyar los platillos, sin obstaculizar el aire circulante a través del plato, cuando en su superficie son colocados los platillos. El plato estará suspendido por un eje vertical y centrado con respecto a las dimensiones horizontales interiores cuando en su superficie son colocados los platillos del horno y se le aplicará, con un medio mecánico de rotación, una velocidad de $5,5 \pm 1$ rpm. El

plato estará verticalmente localizado cerca del centro del horno, según lo permitido de acuerdo con 8, para observar la ubicación del termómetro.

Nota 1: El tamaño mínimo del horno será el que permita acomodar dos platillos. Para la rutina de control de operaciones, un horno más grande que tenga un largo proporcional con el largo del plato puede ser ventajoso y seguro, pues acomodará un mayor número de platillos; debe cumplir con los requisitos de la norma ASTM E 145 tipo IB. Bajo ninguna circunstancia tendrá más de un plato centrado. Tiempo de Recuperación: Cuando se obtiene la T° de 163 °C y dos platos con muestras son introducidos el horno toma una T° de 162°C, espere 15 minutos antes de empezar.

B. TERMÓMETRO

Un termómetro ASTM para pérdidas por calentamiento, que tenga un rango de 155 a 170°C y cumpla con los requisitos para termómetros 13C de la norma **ASTM E 1**.

C. PLATILLOS

Un receptor cilíndrico de 140 mm de diámetro interior y 9,5 mm de profundidad, con el fondo plano. Una muestra de 50 ml en un platillo de este tamaño da una película con un espesor de 3,2 mm. El platillo debe ser de aluminio o acero inoxidable; los platillos de aluminio tendrán un espesor de aproximadamente 0,75 mm y los platillos de acero inoxidable un espesor de, aproximadamente, 0,60 mm.

Nota 2: Los platillos tienen tendencia a deformarse o doblarse con el uso. Aunque el ensayo indica que una pequeña deformación no afecta significativamente los resultados, es aconsejable inspeccionar frecuentemente los platillos, para eliminar los combados o dañados. El espesor del metal indicado les proporciona la rigidez adecuada sin un peso excesivo. Los platillos de acero inoxidable confeccionados de una hoja N° 24 de acero inoxidable, cumplen con el espesor recomendado. Los platillos hechos de una hoja N° 26 de un metal inoxidable, también son aceptables pero tienen una mayor tendencia a doblarse durante el uso. Sin embargo, en ningún caso los espesores del metal serán menores que 0,40 mm.

6.2.1.19.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

- a. Coloque suficiente material para el ensayo en el recipiente adecuado y caliente hasta la condición de fluido. Sea muy cuidadoso de modo que no se produzcan calentamientos locales en la muestra y que la más alta temperatura llegue a estar entre 80 y 100° C, por sobre el Punto de Ablandamiento esperado. Revuelva la mezcla con el termómetro para este fin, durante el período de calentamiento, pero evite incorporarle burbujas de aire. Con la densidad a 25°C, calcule la masa del material equivalente a 50 ml; pese esta cantidad $\pm 0,5$ g en dos recipientes tarados, reuniendo los requisitos de "Equipos y Materiales (Nota 3).

Nota 3: Cuando se desean otros ensayos sobre el residuo como penetración y ductilidad pueden necesitarse más de dos recipientes para proveer el material suficiente para los ensayos.

- b. Simultáneamente, vierta una porción de la muestra dentro del recipiente especificado para determinar la penetración como se describe en la **Sección 6.2.1.3**.
- c. Si se desean los valores cuantitativos de la pérdida o ganancia de masa de la muestra, enfríe la muestra ensayada en el horno, a la temperatura ambiente y pese cada muestra separadamente, aproximando a 0,001 g. Si el cambio en la masa no se necesita, enfríe la muestra a la temperatura ambiente antes de ubicarla en el horno como se dispone en 9.

6.2.1.19.4. PROCEDIMIENTOS

- a. Ajuste el horno de modo que el plato rote en un plano horizontal; la máxima inclinación durante la rotación. La máxima inclinación durante la rotación no será mayor que 3° con la horizontal. Determine la temperatura del horno por medio del termómetro especificado (3), Mantenido en posición vertical sobre el plato circular en un punto equidistante del centro y del borde saliente del plato. (este termómetro está sostenido por un dispositivo de fijación que está asegurado al eje de rotación del plato circular. y el nivel inferior del bulbo queda a 6,35 mm sobre el nivel superior del plato circular). Por el extremo del termómetro, el bulbo, debe estar a 6,5 mm sobre la parte superior del plato.
- b. Con el horno a 163°C, rápidamente coloque los platillos con la muestra sobre el plato circular, cierre el horno y comience la rotación del plato (Nota 4). Mantenga la temperatura a $163 \pm 1^\circ\text{C}$ por 5 h después que la muestra ha sido introducida y el horno ha alcanzado la temperatura. El período de 5 h comienza cuando la temperatura alcanza 162°C; en ningún caso, el tiempo total que la muestra esté dentro del horno debe ser mayor que 5 h y 15 min.
- c. Al concluir el período de calentamiento, quite las muestras del horno. Si el cambio de masa no se está determinando, proceda de acuerdo con 12; si el cambio de la masa se está determinando, enfríe a temperatura ambiente, pese aproximando a 0,001 g y calcule el cambio de la masa sobre la base asfáltica en cada recipiente (Nota 5).

Nota 4: Bajo ninguna circunstancia los materiales asfálticos de diferentes grados deben ensayarse en el horno al mismo tiempo.

Nota 5: Cuando el ensayo completo no puede hacerse en el mismo día y si la pérdida o ganancia en la masa de la muestra está siendo determinada, pese el residuo y almacénelo toda la noche antes de recalentarlo. Si el cambio de masa no está siendo determinado, transfiera el residuo a un recipiente de 240 ml como se describió en 12, antes de almacenarlo toda la noche.

- d. Después de pesar los platillos con el residuo, colóquelos sobre una tabla(s) de cemento asbesto. Coloque las tablas y los platillos sobre el plato (no plano) circular del horno, mantenido a 163°C. Cierre el horno y rote el plato por 15 minutos; quite la muestra y las tablas e inmediatamente proceda como se describe en 10.
- e. Vierta ambas muestras en un recipiente metálico impregnado en vaselina. Quite todo el material del platillo de 140 mm, raspándolo con una espátula adecuada o un cuchillo con punta. Revuelva la combinación de residuo enteramente, colocándola en un recipiente de 240 ml sobre una placa de calentamiento, manteniendo el material en una condición fluida si es necesario. Vierta el material dentro del recipiente apropiado o molde para la penetración, ductilidad u otro ensayo, si se requiere.
- f. Complete los ensayos sobre el residuo por medio de los métodos correspondientes.
- g. Determine la penetración del material vertido dentro de los recipientes normales.

6.2.1.19.5. PRECISIÓN

El criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados de viscosidad a 60°C y 135 °C, razón de viscosidad a 60°C, cambio de penetración a 25°C, y cambio de masa obtenidos por este método se dan en la **Tabla 6.2_20**.

La tabla entrega en la segunda columna la desviación estándar (normal) que han sido encontradas apropiadas para los materiales y condiciones de ensayo descritos en la columna 1.

La tabla entrega en la tercera columna los límites que no se deben exceder para la diferencia entre los resultados de dos ensayos.

La tabla entrega en la cuarta columna los coeficientes de variación estándar (normal) (como % de la media) que han sido encontrados apropiados para los materiales y condiciones de ensayo descrito en la primera columna.

La tabla entrega en la quinta columna los límites que no se deben exceder para la diferencia entre los resultados de dos propiedades de ensayo expresados en porcentaje de la media.

Criterios de juicio para otros resultados no han sido evaluados.

Los criterios para juzgar la variabilidad de otros resultados de ensayo no están disponibles.

Tabla 6.2_20. PRECISIÓN

Material e Índice tipo	Desviación Normal (1S)	Rango aceptable de dos resultados (D2S)	Coficiente de variación (% media) (1S%)	Rango aceptable de 2 resultados (% media) (D2S%)
Precisión de un solo operador	1,43	4		
Porcentaje de penetración retenida				
Cambio de masa en %	0,014	0,04	2,9	8
No más de 0,4%.(máx.)			3,3	9,3
Mayor que 0,4%.			2	5,7
Viscosidad a 60 °C (140 °F)				
Viscosidad a 135 °C (275 °F)			5,6	16
Razón de:				
Viscosidad a 60 °C después del ensaye				
Viscosidad a 60 °C antes del ensaye				
Precisión entre laboratorios,		8		
Porcentaje de penetración retenida..				
Cambio de masa en %	2,9	0,16	14	40
No más de 0,4%.(máx.)	0,055		11,6	33
Mayor que 0,4%.			6,4	18
Viscosidad a 60 °C (140 °F)				
Viscosidad a 135 °C (275 °F)			9,1	26
Razón de:				
Viscosidad a 60 °C después del ensaye ⁽¹⁾				
Viscosidad a 60 °C antes del ensaye				

(1) Precisión entre laboratorios aplicable a cementos asfálticos que tienen razones de viscosidad inferiores a 3. La precisión para razones superiores a 3 no ha sido establecida.

6.2.1.19.6. INFORME

Informe el valor de la penetración original según lo obtenido en 12, la penetración del residuo y la penetración del residuo expresado como el porcentaje de la penetración original.

Informe la ductilidad u otro resultado de ensayo de acuerdo con los métodos de ensayo apropiados.

Cuando se determine, informe el promedio del cambio de masa del material en todos los recipientes usados en los ensayos como el porcentaje de masa del material original.

SECCION 6.2.1.20.

MÉTODO DE ENSAYO DE PELÍCULA DELGADA ROTATORIA (ASTM D 2872 AASHTO T240-06)

6.2.1.20.1. OBJETO

Este método se usa para medir el efecto de calor y aire en una película en movimiento de materiales asfálticos semisólidos en forma rutinaria, y para los otros tipos, sólo en caso de investigación. Los efectos de este tratamiento se determinan en base a mediciones de las propiedades del asfalto antes y después del ensayo.

6.2.1.20.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A.HORNO

Debe ser eléctrico, de doble pared calentado por convección; las dimensiones laterales serán: alto 381 mm, ancho 483 mm y profundidad (con puerta cerrada) 445 ± 13 mm. La puerta debe contar con una ventana ubicada en forma simétrica, con dimensiones de 300 a 330 mm de ancho por 200 a 230 mm de alto. La ventana debe tener dos láminas de vidrio resistentes al calor y un espacio de aire; debe permitir una visión completa del interior del horno. La parte superior del elemento de calentamiento estará 25 ± 3 mm por debajo del piso interior del horno. El horno tendrá respiraderos en el tope y en el fondo; los del fondo deben estar ubicados simétricamente para suministrar aire entrante alrededor de los elementos de calentamiento. Estos tendrán una abertura de $15 \pm 0,5$ cm² de superficie. Los respiraderos del tope tendrán una distribución simétrica en la superficie superior del horno y tendrán una superficie de $9,5 \pm 0,5$ cm².

El horno tendrá circulación de aire que cubra las paredes y el techo; este espacio con aire debe tener una profundidad de 38 mm desde las paredes y el techo. En el punto medio a lo ancho del horno y a 152 mm desde la cara del portador metálico circular, se introducirá el eje de un rotor tipo jaula de abanico de 133,5 mm de diámetro por 73 mm de ancho, que debe girar a 1.725 rpm, mediante un motor montado en el exterior del horno. El rotor de jaula abanico se instalará para que el abanico gire en dirección opuesta a sus veletas. El flujo de aire, característico de un sistema de abanico plano, será succionado desde el fondo del piso del horno a través del espacio de las paredes, saliendo a través del abanico. Las **Figura 6.2_ 34** y **Figura 6.2_ 35** muestran detalles de este sistema.

El horno debe estar equipado con un control termostático capaz de mantener la temperatura dentro de un rango de $163^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. El elemento sensor del termostato debe ubicarse a 25 mm del lado izquierdo y aproximadamente a 38 mm del techo del interior del espacio aireado cerrado del horno, de modo que el extremo del elemento sensor está en un punto aproximado de 203 mm desde la pared trasera del interior del horno. El termómetro se suspenderá o unirá a un marco en el techo, que esté a 51 mm del lado derecho del horno en el punto medio de la profundidad del horno, de manera que el bulbo del termómetro esté dentro de 25 mm en una línea de nivel imaginario al eje del portador metálico circular. El control de calentamiento debe ser capaz de llevar la carga completa en la parte trasera del horno a la temperatura de ensayo dentro de un período de 10 min, después de insertadas las muestras en el horno precalentado.

El horno debe estar provisto de un portador circular vertical de 305 mm de diámetro **Ver Figura 6.2_ 35**. El portador estará provisto de aberturas apropiadas con abrazaderas para sostener fir-

mamente ocho contenedores de vidrio en posición horizontal (**Ver Figura 6.2_ 36**). El portador vertical debe girar mecánicamente a través de un eje de 19 mm de diámetro a una velocidad de $15 \pm 0,2$ rpm.

El horno debe estar equipado con un surtidor para introducir aire caliente a cada contenedor en el punto más bajo de su trayectoria. El surtidor de aire tendrá un orificio de salida de 1,02 mm de diámetro (Taladro N° 60) conectado a una cañería de cobre de 7,6 m de largo y 7,9 mm de diámetro externo. Esta cañería debe ser enrollada para tenderla en forma plana en el fondo del horno y conectada a una fuente reguladora de aire fresco, seco, libre de polvo.

Nota 1: La sílica gel activa tratada con un indicador de humedad es un desecador satisfactorio para secar el aire.

B.MEDIDOR DEL FLUJO

El medidor de flujo puede ser de cualquier tipo adecuado capaz de medir con exactitud el flujo de aire a una velocidad de 4.000 ml/min. en el orificio de salida de la cañería de cobre.

C.TERMÓMETRO

Debe ser un termómetro 13C ASTM, como se prescribe en ASTM E1.

D.CONTENEDORES

Los contenedores en los cuales la muestra se ensaya, deben ser de vidrio resistente al calor y que conformen las dimensiones mostradas en la **Figura 6.2_ 36**.

6.2.1.20.3. PREPARACIÓN DEL HORNO

La posición del orificio de salida del aire es 6,4 mm desde la abertura del contenedor de vidrio. El orificio debe estar ubicado de tal modo que el surtidor sople horizontalmente dentro del arco central de la abertura circular del contenedor de vidrio.

Coloque el termómetro especificado en 3 de manera que el extremo del bulbo esté dentro de los 25 mm del nivel del centro del eje del portador circular.

Nivele el horno para que los ejes de los contenedores queden horizontales cuando se ubiquen en el portador.

Previo al ensayo, precaliente el horno por un mínimo de 120 min, con los controles en la posición que se usarán durante la operación del horno. El control del termostato deberá ajustarse de modo que cuando el horno esté completamente cargado e inyectando aire, se estabilice a $163 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, durante un período mínimo de 10 min.

6.2.1.20.4. PROCEDIMIENTO

- a. Una vez que la muestra esté libre de agua, caliéntela en un recipiente con tapa suelta en un horno que no exceda de 163°C , por el tiempo mínimo necesario para asegurar que la muestra está completamente fluida; agite manualmente, evitando incorporar burbujas de aire.
- b. Vacíe $35 \pm 0,5$ g de muestra en cada uno de los contenedores de vidrio requeridos, suministrando suficiente material para los ensayos característicos que se le realizan al residuo.

Nota 2: Para ensayos arbitrarios se requieren ocho contenedores.

- c. Cuando no se requiere establecer el cambio de masa, deje enfriar el contenedor aproximadamente a la temperatura de la sala, antes de colocarlo en el horno como se prescribe en 2. Cuando desee el valor cuantitativo del cambio de masa, use dos contenedores para la determinación. Enfríe los contenedores de ensayo a la temperatura de la sala y pese cada uno en forma separada, aproximando a 0,001 g.

Nota 3: No use el residuo de la determinación del cambio de masa para otros ensayos.

- d. Con el horno a la temperatura de operación, ordene los contenedores cargados con asfalto en el portador, de manera que éste quede balanceado. Llene los espacios no usados del portador con contenedores vacíos. Cierre la puerta y haga rotar el portador a una velocidad de $15 \pm 0,2$ rpm.

Accione el flujo de aire a una razón establecida de 4.000 ± 300 ml/min. Mantenga las muestras en el horno con el aire fluyendo y el portador girando por 75 min. La temperatura de ensayo de $163 \pm 0,5^\circ\text{C}$ debe alcanzarse dentro de los primeros 10 min., si no es así, suspenda el ensayo. Al término del período de ensayo saque los contenedores del horno. Si el cambio de masa no se determina, proceda de acuerdo con 13; para los contenedores de vidrio en los que se determina el cambio de masa, enfríe a la temperatura de la sala en un desecador, luego pese aproximando a 0,001 g, calcule el cambio en masa en base al asfalto del contenedor. Descarte el residuo.

- e. Inmediatamente vacíe todo el residuo, sin raspar, desde cada contenedor a un contenedor bastante más grande, de manera que cuando se haya recolectado todo, el contenedor no se llene más de un 75% de su capacidad. No deje que la película de los contenedores se enfríe antes de sacarla ni recaliente los contenedores para obtener más residuo. Proceda como se describe en 14.
- f. Ensayo el residuo dentro de las 24 h de ejecutado el ensayo de película delgada rotatoria.

6.2.1.20.5. PRECISIÓN

El criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados de viscosidad a 60°C y de ductilidad a $15,6^\circ\text{C}$ en el residuo después del ensayo de P.D.R., están dados en **Tabla 6.2_ 21**.

La tabla entrega en la segunda columna, la desviación estándar (normal) que han sido encontradas apropiadas para los materiales y condiciones de ensayo descritos en la Columna 1.

La tabla entrega en la tercera columna, los límites que no se deben exceder para la diferencia entre los resultados de dos ensayos.

La tabla entrega en la cuarta columna, los coeficientes de variación estándar (normal) (como % de la media) que han sido encontrados apropiados para los materiales y condiciones de ensayo descrito en la primera columna.

La tabla entrega en la quinta columna, los límites que no se deben exceder para la diferencia entre los resultados de dos propiedades de ensayo expresados en porcentaje de la media.

Criterios de juicio para otros consultados no han sido evaluados.

Tabla 6.2_21. PRECISIÓN

Métodos de ensayo	Desviación Normal (1S)	Rango aceptable de dos resultados	Coefficiente de variación (% media) (1S%)	Rango aceptable de 2 resultados (% media) (D2S%)
Precisión de un solo operador Viscosidad a 690°C (140°F) Ductilidad a 15,6 °C (60°F) ⁽¹⁾	3 cm	9 cm	2,3	6,5
Precisión entre laboratorios Viscosidad a 690°C (140°F) Ductilidad a 15,6 °C (60°F)	6 cm	16 cm	4,2	11,9

⁽¹⁾ Se basa en el análisis de información resultante ensayos de 16 laboratorios en dos tipos de asfalto en un rango de 13 a30 cm.

6.2.1.20.6. INFORME

Informe los resultados del ensayo de película delgada rotatoria en términos de los cambios físicos en el asfalto generados por el ensayo. Estos valores se obtienen mediante la ejecución de ensayos adecuados en el asfalto antes y después del ciclo en el horno del ensayo de película delgada rotatoria.

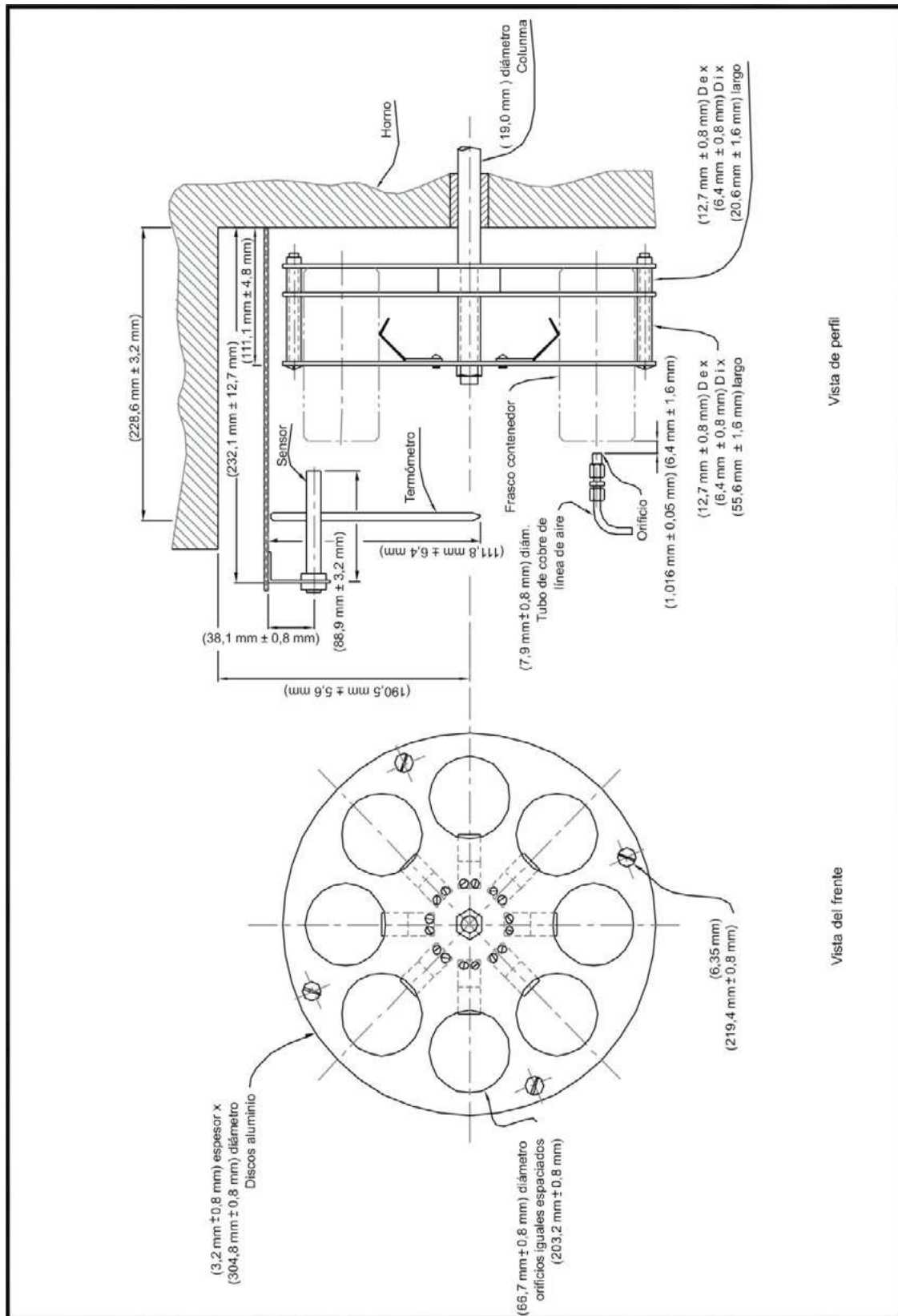


Figura 6.2_34. VISTA DE FRENTE Y DE PERFIL DEL PORTADOR METÁLICO CIRCULAR Y VISTA DE PERFIL DEL ORIFICIO Y TUBO DE COBRE DE LÍNEA DE AIRE.

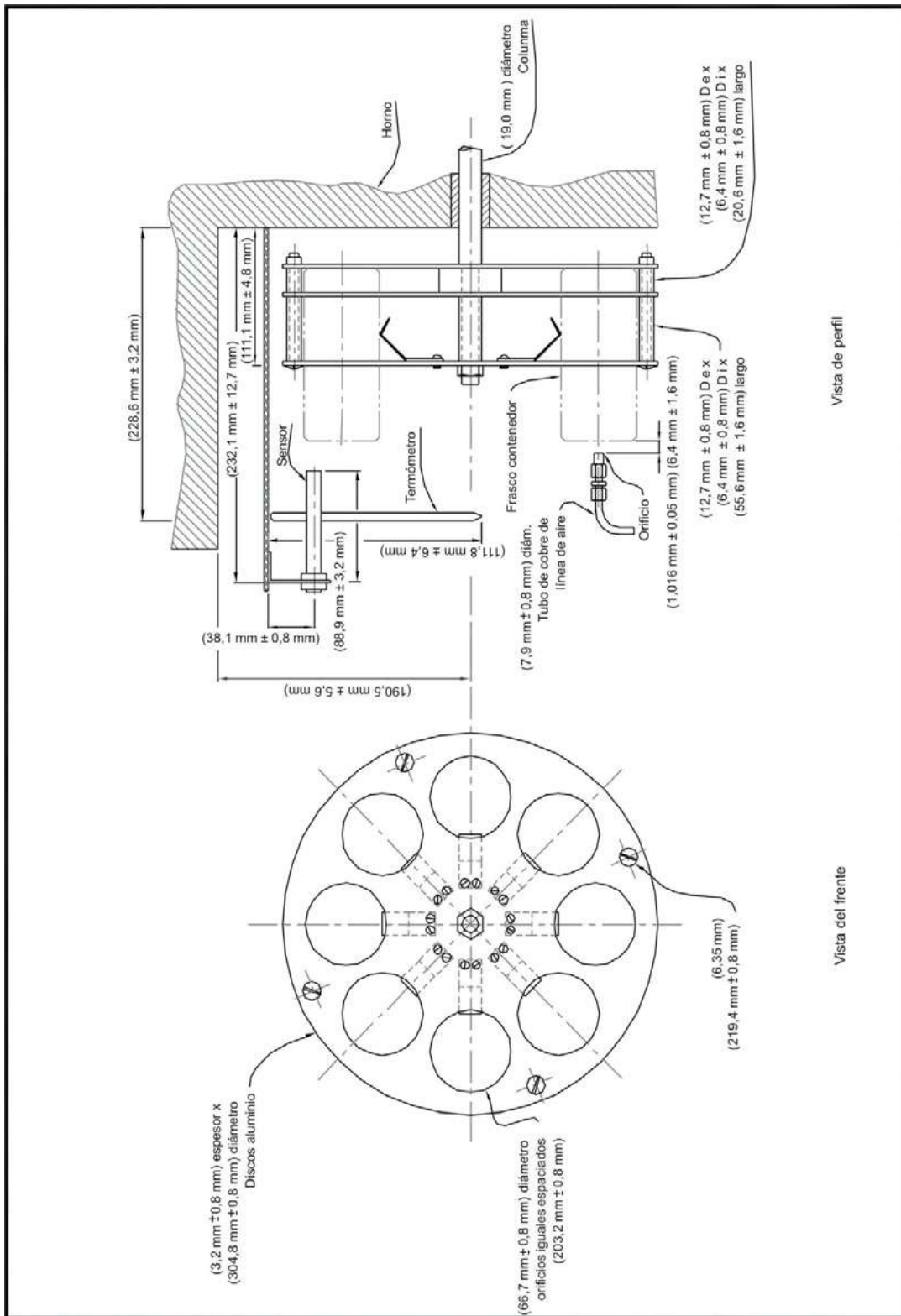


Figura 6.2_35. MEDIDOR DE FLUJO, CERRO CIRCULAR METÁLICO

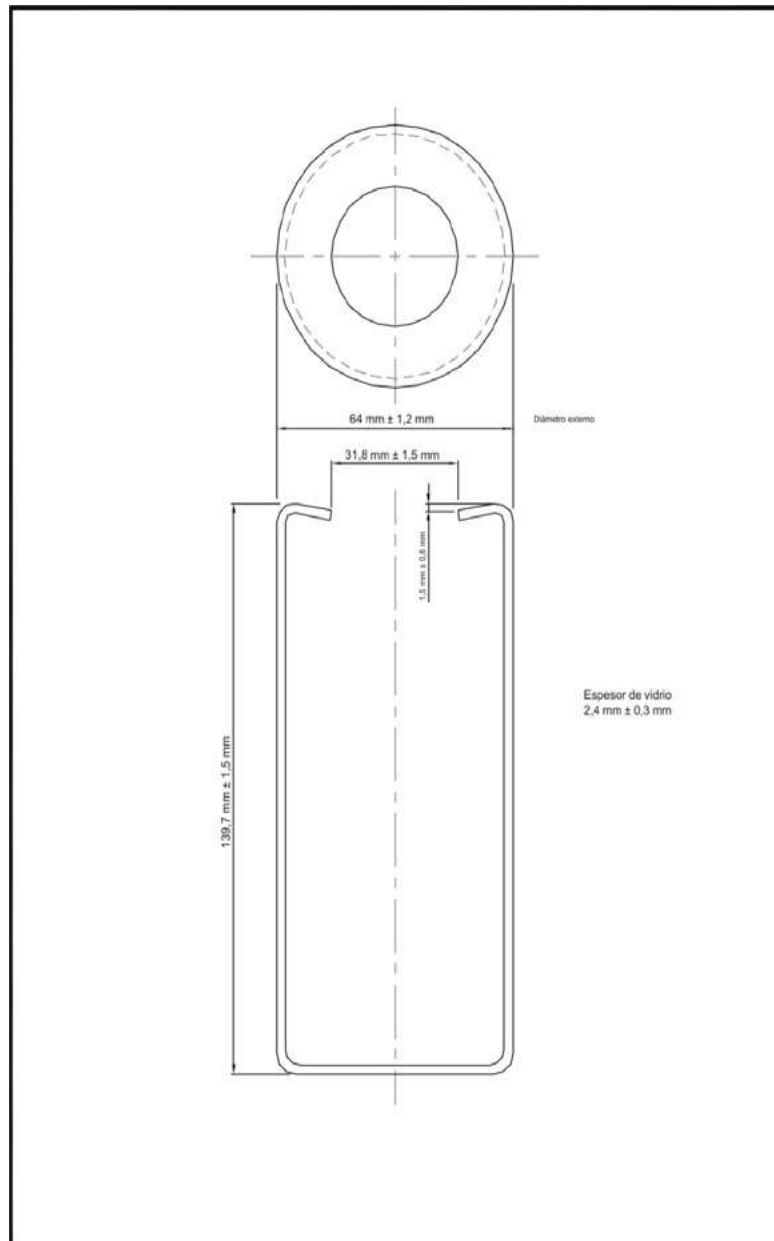


Figura 6.2_36. FRASCO CONTENEDOR DE VIDRIO.

CAPITULO 6.2.2.

ENSAYOS RELACIONADOS A CEMENTOS ASFÁLTICOS MODIFICADOS

SECCION 6.2.2.1.

MÉTODO DE ENSAYO DE RECUPERACIÓN ELÁSTICA PARA ASFALTOS MODIFICADOS (ASTN D 6084-06 AASHTO T301-99)

6.2.2.1.1. OBJETO

Este método se utiliza en los asfaltos modificados, que comprenden los cementos y emulsiones asfálticas modificadas. El ensayo se efectúa a una temperatura de $13 \pm 0,5$ °C y a una velocidad de 5 cm/min. $\pm 5\%$. Para materiales bituminosos el astoméricos se considera una elongación inicial de 20 cm. para la muestra.

6.2.2.1.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A.MOLDES

Similares en diseño a los mostrados en la **Figura 6.2_ 37, Figura 1**, de bronce o zinc. Sus extremos b y b' se denominan clips y las partes a y a' lados del molde. Cuando se arme el molde se obtendrá la briqueta especificada, con las dimensiones que se indican más abajo.

B.DESMOLDANTE

Silicona, vaselina u otro.

C.BAÑO DE AGUA

El baño se debe mantener a la temperatura de ensayo especificada, con una tolerancia de $\pm 0,1$ °C. El volumen mínimo de agua es de 10 l. La muestra se sumerge a una profundidad no menor que 10 cm. y se apoya sobre una bandeja perforada ubicada a no menos de 5 cm. del fondo del baño.

D.TERMÓMETRO

El termómetro a utilizar será ASTM 63 C, con un rango de temperatura entre $- 8$ y 32°C . Deberá cumplir los requerimientos descritos en especificación E1.

E.DUCTILÍMETRO

Para traccionar las briquetas de material bituminoso se puede usar cualquier aparato construido de modo tal que la muestra esté continuamente sumergida en agua como se especifica en 3, al mismo tiempo que los clips sean traccionados a una velocidad uniforme y sin vibraciones excesivas. Este aparato debe ser termoregulable para mantener la temperatura especificada en forma homogénea en toda la masa de agua, dentro de la tolerancia indicada en 3.

F.REGLA

Graduada en mm y de longitud no inferior que 30 cm.

6.2.2.1.3. PROCEDIMIENTO

A.PREPARACIÓN DEL MOLDE

Arme el molde sobre una placa base. Cubra cuidadosamente la superficie de la placa y las superficies interiores de los lados a y a' del molde (**Figura 6.2_ 37, figura 1**) con una película delgada de desmoldante, para prevenir que el material a ensayar se adhiera. La placa sobre la cual se coloca el molde debe estar perfectamente plana y a nivel, de modo que la superficie inferior del molde esté completamente en contacto.

B.MOLDEO DE LAS MUESTRAS PARA EL ENSAYO

Caliente la muestra con cuidado, previniendo calentamientos locales, hasta que esté suficientemente fluida para verter; durante el calentamiento la temperatura no debe exceder de 80 a 110 °C por encima del punto de ablandamiento esperado. Tamice la muestra fundida a través del tamiz 0,3 mm (Nº 50). Luego continúe revolviendo y vierta el material dentro del molde.

Durante el llenado se cuidará de no tocar ni desarreglar el molde, de modo que no se distorsione la briqueta. Vierta el material con un chorro delgado hacia atrás y hacia adelante, de extremo a extremo, hasta que el molde quede por sobre el nivel de llenado. Este se dejará enfriar a temperatura ambiente por un período de 30 a 40 min. para luego colocarlo por 30 min. en el baño de agua mantenido a la temperatura de ensayo especificada. Luego corte el exceso de ligante asfáltico con una espátula o cuchillo caliente, resistente y afilado, de modo que el molde se ajuste al nivel de llenado.

C.CONSERVACIÓN DE LAS MUESTRAS A LA TEMPERATURA DE ENSAYO

Coloque la placa y el molde con la briqueta en el baño de agua y manténgala por un período de 85 a 95 min. a la temperatura especificada. Luego quite la briqueta de la placa, separe las partes a y a', e inmediatamente ensayo la briqueta.

D.ENSAYO

Eganche los anillos de cada extremo de los clips a las clavijas del ductilímetro, y sepárelos a la velocidad uniforme especificada hasta una longitud de 20 cm (Li). Detenga el motor cuando el estiramiento de la muestra alcance la longitud indicada. Corte la muestra a una distancia equidistante de los extremos de la briqueta. Espere una hora y mida la distancia de retracción de la muestra (Lf), expresando ésta en cm. con aproximación a 1 decimal.

Nota 1: Si el material bituminoso llega a tener contacto con la superficie del agua o el fondo del baño, el ensayo no será considerado normal. Se ajustará la densidad del agua del baño agregando alcohol metílico o cloruro de sodio de modo que el material bituminoso no llegue a la superficie del agua ni toque el fondo del baño durante el ensayo.

6.2.2.1.4. INFORME

Informe el porcentaje de recuperación elástica como:

$$R_e = \frac{L_f}{L_i} \times 100$$

Donde:

Re: Porcentaje de recuperación elástica, aproximado al entero más cercano.

Li: 20 cm.

Lf: Longitud de retracción de la muestra (cm.), con aproximación a 1 decimal.

Los resultados obtenidos de dos determinaciones consecutivas no deberán diferir en más de 5 puntos porcentuales. Si no se cumple esta condición, se repetirá el ensayo con dos nuevas determinaciones.

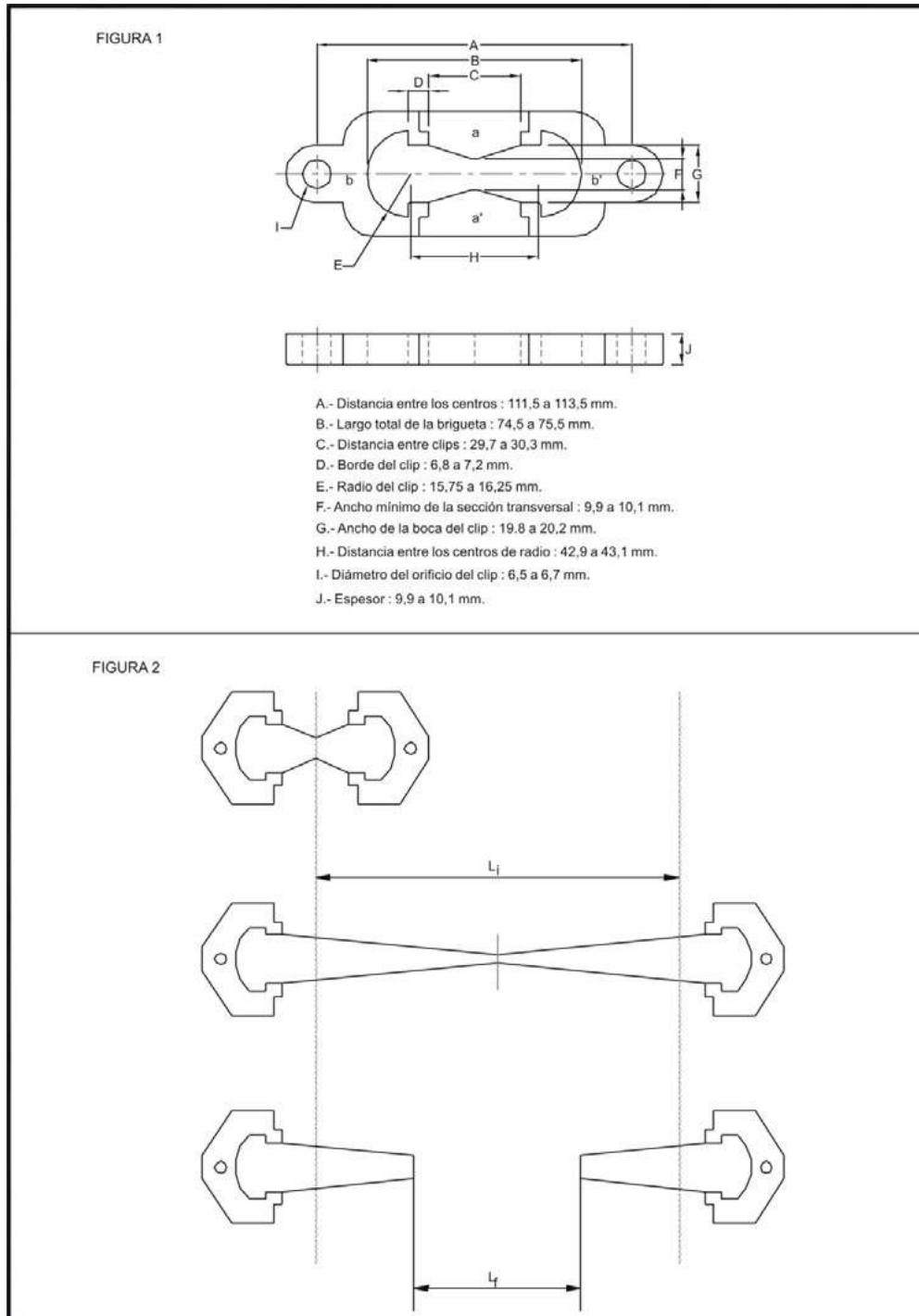


Figura 6.2_37. FIGURA 1- MOLDE PARA ENSAYO DE RECUPERACIÓN ELÁSTICA, FIGURA 2- ESQUEMA DE ENSAYO PARA RECUPERACIÓN ELÁSTICA

SECCION 6.2.2.2.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE PENETRACIÓN EN ASFALTOS MODIFICADOS (UNE 104-281)

6.2.2.1.1. OBJETO

Este método describe el procedimiento a seguir para la determinación del Índice de Penetración, IP, de los ligantes asfálticos modificados.

Este índice se calcula a partir de los valores de la penetración y del punto de ablandamiento anillo y bola, y proporciona un criterio de medida de la susceptibilidad de estos materiales a los cambios de temperatura y de su comportamiento reológico.

6.2.2.1.2. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE PENETRACIÓN

El método de obtención del IP se basa; por una parte, en admitir que, a la temperatura del punto de ablandamiento anillo y bola, la penetración de un ligante asfáltico es de 800 y; por otra, que si se elige en ordenadas una escala logarítmica para la penetración, los valores de ésta en función de la temperatura se representan por una línea recta.

El IP se obtiene mediante el Nomograma de la **Figura 6.2_ 38** donde:

- IP : Índice de penetración, con aproximación a un decimal.
- TAB: Temperatura del punto de ablandamiento anillo y bola (°C).
- TP: Temperatura a la que se efectúa la penetración (°C).
- PT: Penetración a la temperatura TP, en décimas de mm.

Los asfaltos con $IP > + 2$ presentan poca susceptibilidad a la temperatura y cierta elasticidad.

6.2.2.1.3. INFORME

El IP obtenido del Nomograma de la **Figura 6.2_ 38** se expresa e informa con aproximación a un decimal

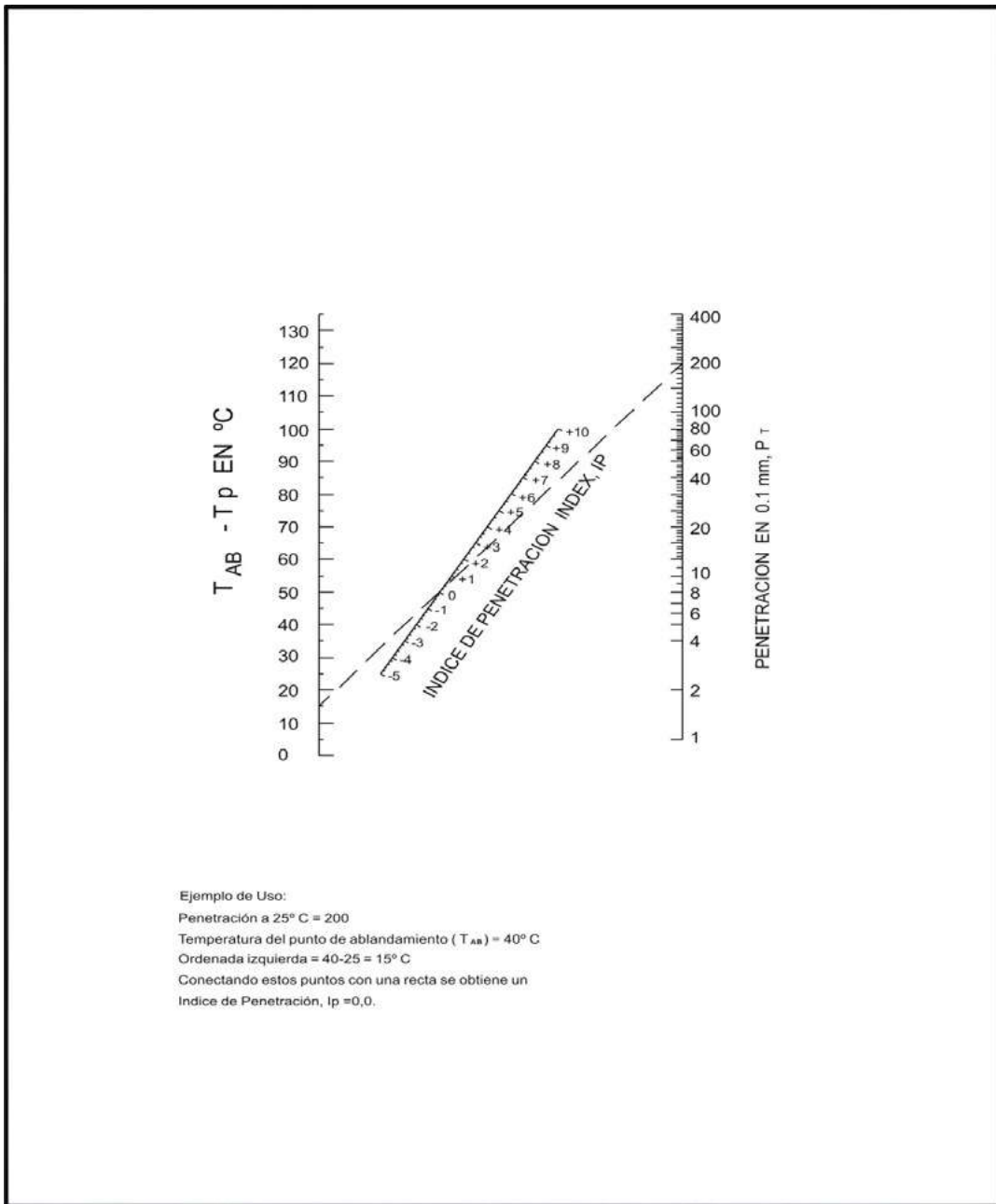


Figura 6.2_38. NOMOGRAMA DE HUKELOM BITUMEN TEST DATE CHARL

CAPITULO 6.2.3.

ENSAYOS RELACIONADOS A EMULSIONES AS- FÁLTICAS

SECCION 6.2.3.1.

MÉTODO DE RESIDUO POR DESTILACIÓN (ASTM D6997 AASHTO T59-97)

6.2.3.1.1. OBJETO

Este método de prueba se utiliza en procedimientos para una determinación rápida de porcentaje de residuos en emulsiones asfálticas compuestas principalmente de una base asfáltica semisólida o líquida, agua y un agente emulsionante.

6.2.3.1.2. EQUIPOS Y MATERIALES

- Destilador de aleación de aluminio (**Figura 6.2_ 39**), aproximadamente de 240 mm de altura por 94 mm de diámetro interior, con un anillo quemador de 125 ± 5 mm, que tiene orificios sobre la periferia interior y que se ajusta alrededor del destilador (**Figura 6.2_ 40, Fig. 1**).
- Conexión del equipo consistente en un tubo conector, escudo de metal, un condensador enfriado por agua tipo West o Liebig con camisa de vidrio borosilicato o metal y un adaptador adecuado entre el condensador y la probeta graduada de 100 ml, de las dimensiones mostradas en la **Figura 6.2_ 40 Fig. 2**.
- Termómetro de destilación de rango reducido ASTM, graduados en grados Celsius como se especifica, con un rango entre $- 2$ y $+ 300^{\circ}\text{C}$, y conforme a los requisitos para termómetros 7°C como se prescribe en la norma ASTM E1.

Nota 1: Para detalles del conjunto de piezas y aparatos para el ensayo de destilación, ver **Figura 6.2_ 40 Fig. 2**. Ver también Nota 2.

- Balanza de 5.000 g de capacidad, con una precisión de 0,1 g

6.2.3.1.3. PROCEDIMIENTO

- a. Pese exactamente $200 \pm 0,1$ g de una muestra representativa de emulsión, pese previamente el destilador, incluyendo tapa, abrazadera, termómetros y empaquetadura, si se usa.
- b. Use una empaquetadura de papel aceitado o asbesto entre el destilador y la tapa o ensamble, apoyándolo en la tapa hermética. Asegure la abrazadera que cubre el destilador.
- c. Inserte un termómetro a través del corcho en cada uno de los pequeños orificios existentes en la tapa. Ajuste estos termómetros para que el final del bulbo de uno de ellos quede a 6,5 mm desde el fondo del destilador y el bulbo del otro quede aproximadamente a 165 mm desde el fondo del destilador.
- d. Ubique el anillo quemador alrededor del destilador, a 150 mm desde el fondo de éste. Aplique calor con el quemador encendido y ajustado a la llama al mínimo; también aplique calor con un quemador Bunsen al tubo conector, para prevenir la condensación de agua.

- e. Mueva el anillo quemador aproximadamente a nivel con el fondo cuando la temperatura leída en el termómetro inferior sea aproximadamente 215°C. Incremente la temperatura a $260 \pm 5^\circ\text{C}$ manteniéndola por 15 min. La destilación total debe completarse en 60 ± 15 min. contados desde la primera aplicación de calor.

Nota 2: La localización del quemador al comienzo del ensayo es flexible; puede levantarse para disminuir el riesgo de sobre espumación o bajarse a la mitad del destilador para emulsiones que no contienen solvente. Los cambios repentinos de la temperatura en el termómetro superior indican espuma sobre el bulbo; quite calor hasta el cese de la espuma.

- f. Inmediatamente después de cumplido el período de calentamiento, pese nuevamente el destilador y accesorios como se indicó en 6. Calcule e informe el porcentaje de residuo por destilación; registre el volumen de aceite destilado aproximando a 1/2 ml; calcule e informe el aceite destilado como un porcentaje de volumen sobre el total de la emulsión. Guarde el aceite destilado si desea identificarlo.

Nota 3: El destilador a temperatura ambiente pesa 1,5 g más que a 260°C , corrija este error adicionando 1,5 g al peso bruto obtenido en 10, antes de calcular el porcentaje de residuo por destilación.

- g. Quite la tapa del destilador, agite e inmediatamente vierta una porción adecuada de residuo a través de un tamiz de 0,3 mm (Nº 50), dentro de una cápsula metálica de 240 ml, o dentro de un molde adecuado; guarde para realizar los ensayos requeridos. Deje que el residuo en el molde y cápsula se enfríe descubierto a la temperatura ambiente, y luego ensaye el residuo de acuerdo a lo descrito en el Método.

6.2.3.1.4. PRECISIÓN

Utilice el siguiente criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados (95% probabilidad):

- a. Resultados duplicados del mismo operador no deberían considerarse dudosos a menos que ellos difieran en más de las siguientes cantidades:
- Residuo por destilación, % masa 50 a 70
 - Repetibilidad, % masa 1,0
- b. Los resultados enviados por cada uno de dos laboratorios no deberían considerarse dudosos a menos que ellos difieran por más que las siguientes cantidades:
- Residuo por destilación, % masa 50 a 70
 - Reproducibilidad, % masa 2,0
- c. La precisión para la penetración del residuo por destilación por este método, es la misma que se indica en A0311 "Examen de Residuo" o en A0103 "Penetración".

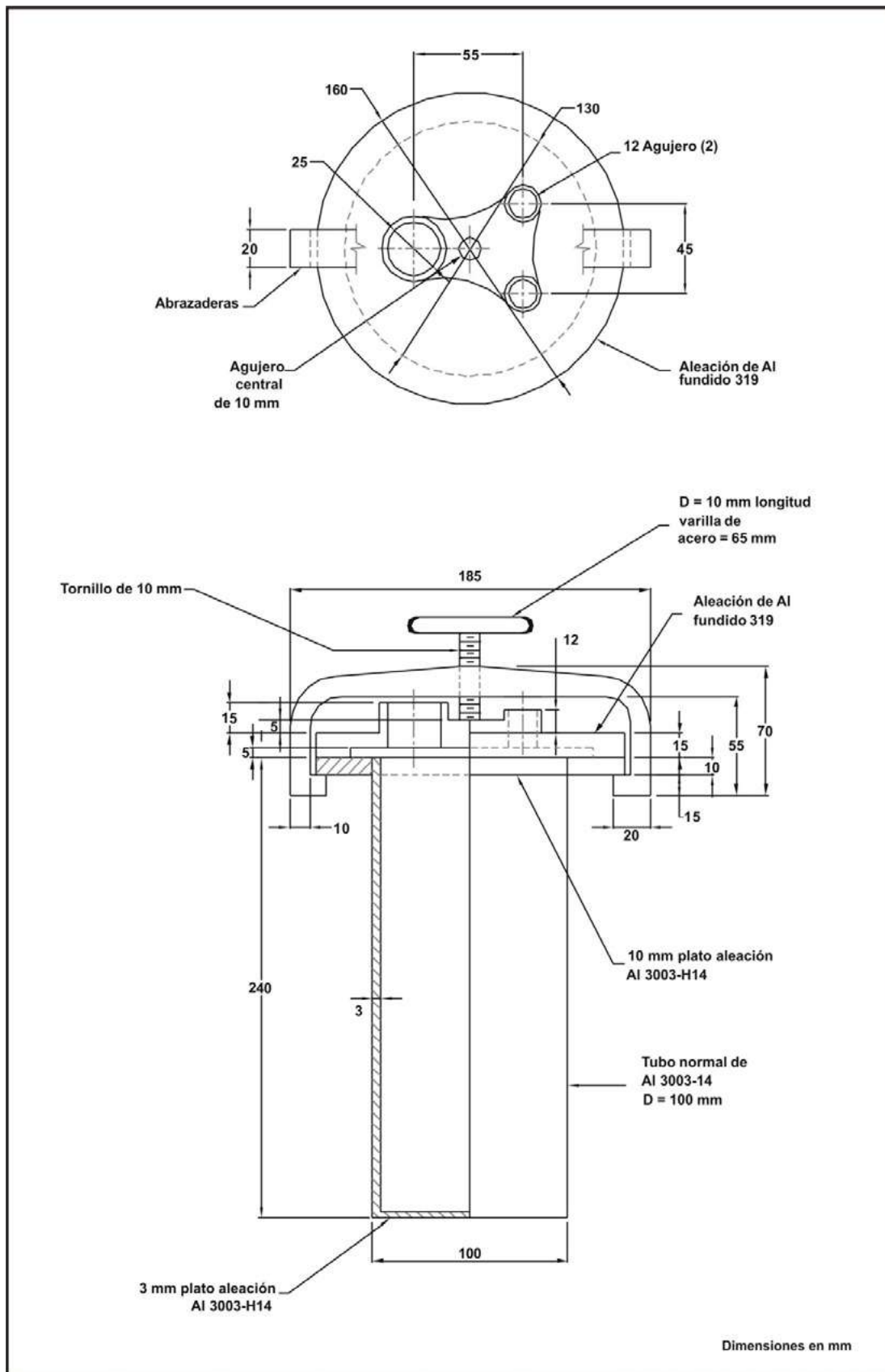


Figura 6.2_39. DESTILADOR

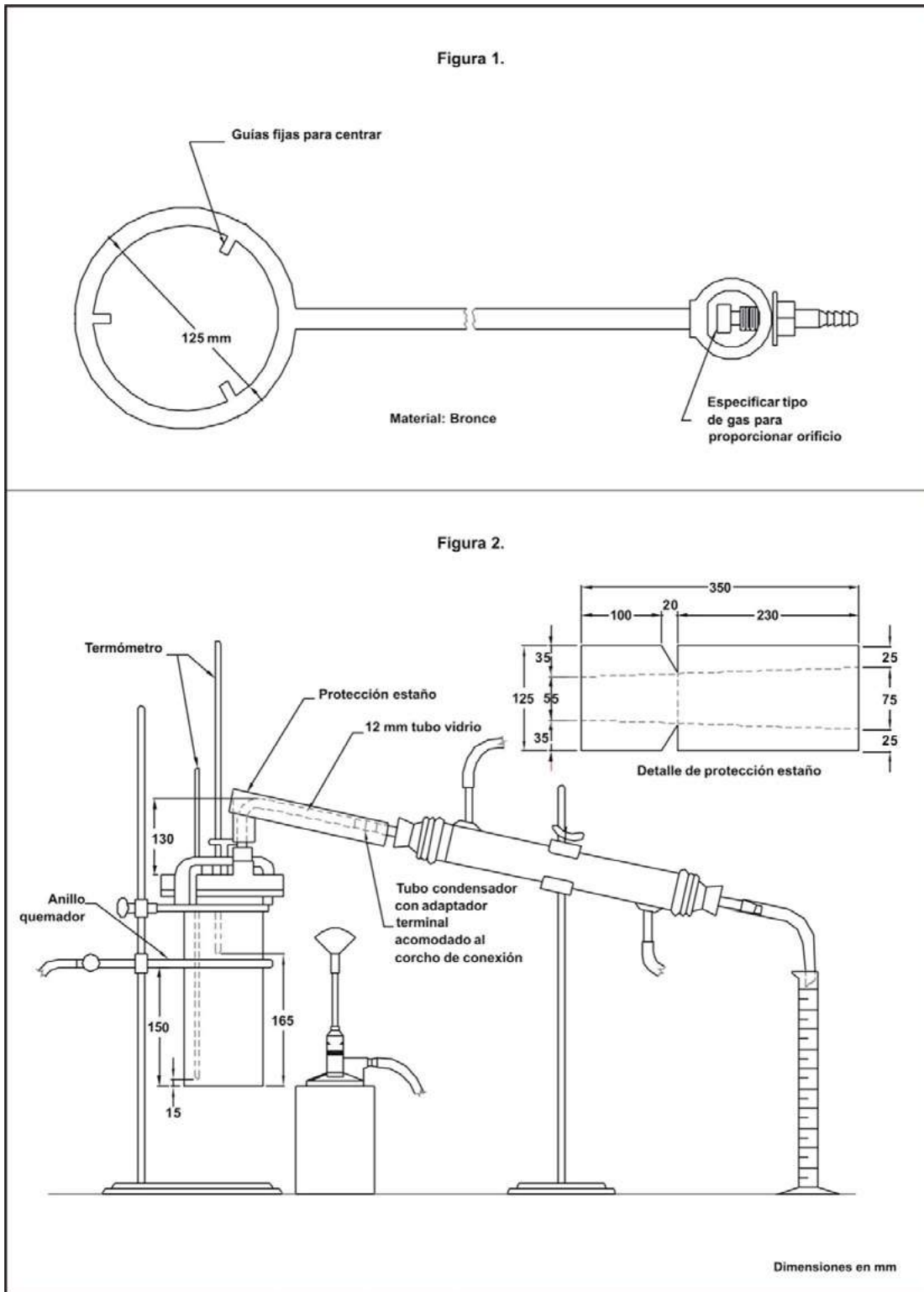


Figura 6.2_40.

FIGURA 1- ANILLO QUEMADOR DE UN DI DE 125 MM,

FIGURA 2- ENSAMBLE DEL APARATO DE DESTILACIÓN PARA EL ENSAYO DE EMULSIONES ASFÁLTICAS

SECCION 6.2.3.2.

MÉTODO DE CARGA DE PARTÍCULA DE EMULSIÓN ASFÁLTICA (ASTM D 244 AASHTO T59-97)

6.2.3.2.1. OBJETO

Este método de prueba se usa para identificar las cargas de las partículas en las emulsiones.

6.2.3.2.2. EQUIPOS Y MATERIALES

- Fuente de 12 V de corriente continua, un miliamperímetro, y una resistencia variable (*Figura 6.2_ 41, Figuras 1 y 2*).
- Dos placas de acero inoxidable de 25 por 102 mm, aislada una de la otra y sostenida rígidamente, separadas paralelamente a 13 mm. (*Figura 41 Figura 1*).
- Vaso de boca ancha de 150 ó 250 ml.

6.2.3.2.3. PROCEDIMIENTO

- a. Vierta la cantidad de emulsión por ensayar dentro del vaso de 150 ó 250 ml, de modo que los electrodos queden inmersos aproximadamente 25 mm en la emulsión.
- b. Conecte los electrodos, previamente limpiados y secados, a la fuente de corriente e insértelos aproximadamente 25 mm dentro de la emulsión.
- c. Ajuste la corriente a un mínimo de 8 mA, con la resistencia variable y comience a medir con un cronómetro adecuado.
- d. Cuando la corriente ha caído a 2 mA o a los 30 min., lo que ocurra primero, desconecte la fuente de corriente y suavemente lave los electrodos con un chorro de agua.
- e. Observe el asfalto depositado sobre los electrodos; una emulsión catiónica depositará una capa apreciable de asfalto sobre el cátodo, electrodo negativo, mientras que el ánodo, electrodo positivo, quedará relativamente limpio; esto indica una carga positiva. De igual forma, una emulsión aniónica depositará una capa apreciable de asfalto sobre el ánodo, electrodo positivo, quedando el cátodo relativamente limpio; ello indica una carga negativa.

6.2.3.2.4. INFORME

Informe el resultado del ensayo en términos de polaridad determinada positiva o negativa como se definió en 9.

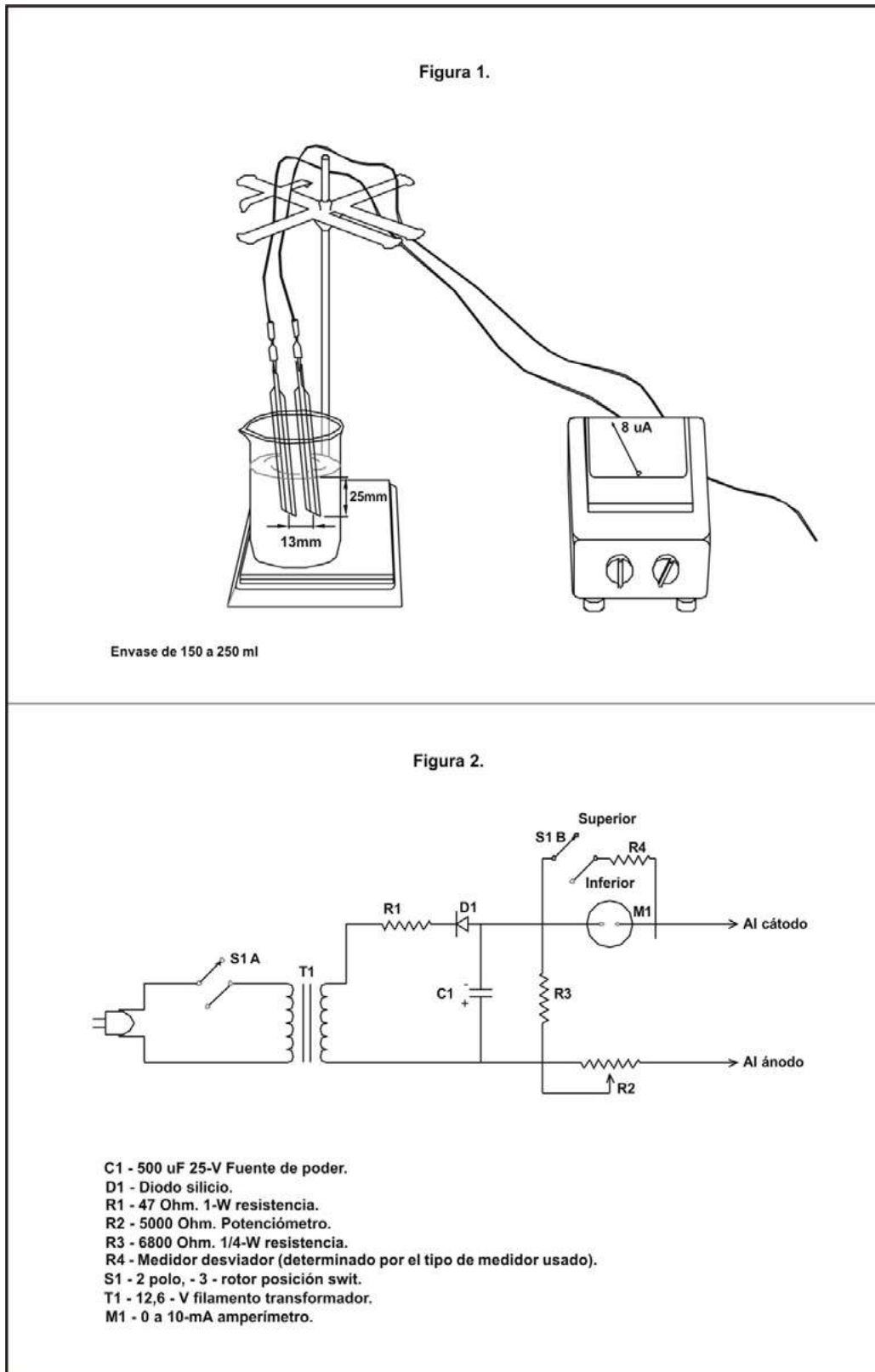


Figura 6.2_41. FIGURA 1- ENSAYADORES CARGA DE PARTÍCULAS, FIGURA 2- DIAGRAMA DE CIRCUITO DE TESTER PARA CARGA DE PARTÍCULA

SECCION 6.2.3.3.

ENSAYO DE VISCOSIDAD (ASTM D 244 AASHTO T59-97)

6.2.3.3.1. OBJETO

La viscosidad en el uso de emulsiones asfálticas es una propiedad que afecta su utilidad. Cuando es utilizado los métodos de construcción, el material debe ser suficientemente uniforme para ser aplicado a través de la barra spray del distribuidor.

Para mezclar las emulsiones, la viscosidad puede afectar la mezcla y la velocidad de la película en el agregado.

Este método de prueba utiliza el I Viscosímetro de Saybolt Furol para medir la consistencia de una emulsión asfáltica.

6.2.3.3.2. EQUIPOS Y MATERIALES

- Un viscosímetro Saybolt, conforme a los requisitos especificados en la Sección 6.2.3.13. Método para determinar la viscosidad Saybolt.
- Un tamiz de 0,85 mm (Nº 20).
- Termómetro ASTM 17C para ensayos a 25°C y ASTM 19C para ensayos a 50°C, conforme con los requisitos de ASTM E1.
- Baño de agua, capaz de mantener la temperatura requerida en el ensayo dentro de los límites especificados en la **Tabla 6.2_5** y en la **Sección 6.2.3.13**.

6.2.3.3.3. PROCEDIMIENTO

- a. Ensayo a 25°C. Agite la mezcla cuidadosamente sin incorporar burbujas y vierta de 100 a 110 ml dentro de una botella de 120 ml y tape firmemente. Coloque la botella en el baño de agua a 25°C durante 30 min. y mezcle la muestra, invirtiéndola lentamente varias veces para prevenir la formación de burbujas. Vierta la muestra dentro del viscosímetro a través de la malla 0,85 mm, dejando fluir una pequeña cantidad antes de colocar el corcho. Coloque el corcho en posición y llene el viscosímetro hasta que el líquido derrame sobre el borde del rebalse y, sin perturbar la muestra de ninguna forma, determine la viscosidad como se prescribió en la Sección 6.2.3.13.
- b. Ensayo a 50° C. Limpie y seque el viscosímetro e inserte el corcho, agite la muestra cuidadosamente sin incorporar burbujas, luego vierta aproximadamente 100 ml en un vaso de vidrio de 400 ml de boca ancha. Sumerja el fondo del vaso con teniendo la emulsión, aproximadamente 50 mm bajo el nivel del baño de agua a $71 \pm 3^\circ$ C. Sostenga el vaso verticalmente y revuelva la emulsión con el termómetro, con un movimiento circular a una velocidad de 60 fpm para obtener una distribución uniforme de temperatura; evite la incorporación de burbujas. Caliente la emulsión, en un baño de agua a $51 \pm 0,5^\circ$ C; inmediatamente vierta la emulsión a través de la malla 0,85 mm dentro del viscosímetro,

por sobre el nivel de rebalse. Agite la emulsión a 60 p.m. con el termómetro hasta obtener la temperatura de ensayo, evite la formación de burbujas. Ajuste la temperatura del baño hasta que la temperatura de la emulsión permanezca constante por 1 min. A $50 \pm 0,5^\circ\text{C}$ retire el termómetro; rápidamente remueva el exceso de emulsión desde el rebalse con una pipeta de succión. Determine la viscosidad como se describe en la **Sección 6.2.3.13**. Informe los resultados aproximando al segundo.

Nota 1: Si bien el viscosímetro Saybolt no se usa para productos del petróleo y lubricantes cuando el tiempo de flujo es menor que 25 seg, este instrumento es satisfactorio para ensayos de emulsión asfáltica cuando el tiempo de flujo no es menor que 20 seg.

6.2.3.3.4. PRECISIÓN

El siguiente criterio se usa para juzgar la aceptabilidad de los resultados (95% probabilidad).

- Resultados duplicados por el mismo operador no serán considerados dudosos, a menos que ellos difieran por más de las cantidades siguientes:

Tabla 6.2_22.

Temperatura de ensayo (°C)	Viscosidad (s)	Repetibilidad % de la media
25	20 a 100	5
50	75 a 400	9,6

- Los resultados enviados por cada uno de dos Laboratorios no serán considerados dudosos, a menos que ellos difieran por más de las siguientes cantidades:

Tabla 6.2_23.

Temperatura de ensayo (°C)	Viscosidad (s)	Repetibilidad % de la media
25	20 a 100	15
50	75 a 400	21

SECCION 6.2.3.4.

DEMULSIBILIDAD (ASTM D 6936 AASHTO T59-97)

6.2.3.4.1. OBJETO

1. Este método de prueba se utiliza para identificar o clasificar una cadena de emulsión para medir la cantidad disponible de asfalto.

6.2.3.4.2. EQUIPOS Y MATERIALES

2. Tres mallas de alambre de 1,40 mm (N^o 14), de aproximadamente 125 mm por lado, sin bastidor; el alambre de abertura y diámetro de acuerdo a la Tabla 6.2_44.
3. Tres vasos de 600 ml de capacidad cada uno.
4. Tres varillas de metal con puntas redondeadas, de aproximadamente 8 mm de diámetro.
5. Bureta de vidrio de 50 ml, graduada con intervalos de 0,1 ml.
6. Solución de Cloruro de Calcio (5,55 g/l); disuelva 5,55 g de cloruro de calcio en agua destilada y diluya en 1 L.
7. Solución de Cloruro de Calcio (1,11 g/l); disuelva 1,11 g de cloruro de calcio en agua destilada y diluya en 1 L.
8. Solución de Dioctyl Sulfosuccinato de Sodio (8,0 g/l); disuelva 8,0 g de dioctyl sulfosuccinato de sodio en agua destilada y diluya en 1 L, para usar con emulsiones catiónicas.
9. Balanza de 1.000 g de capacidad y una precisión de 0,01 g.
10. Horno termostáticamente controlado capaz de mantener una temperatura de $163 \pm 3^{\circ}\text{C}$.

6.2.3.4.3. PROCEDIMIENTO

11. Determine el porcentaje de residuo por destilación como se describe en el "Procedimiento" de la **Sección 6.2.3.1**.
12. Anote la masa de cada pieza del conjunto, vaso, varilla y malla.
13. Pese $100 \pm 0,1$ g de emulsión asfáltica en cada uno de los tres vasos de 600 ml pesados anteriormente. Lleve la muestra de emulsión pesada y el reactivo a la temperatura de $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$.
14. Durante un período de aproximadamente 120 seg agregue a cada vaso, desde una bureta, 35 ml de solución de cloruro de calcio (1,11 g/l) para emulsiones de quiebre rápido o 50 ml de cloruro de calcio (5,55 g/l) para otras emulsiones que no sean de quiebre rápido. Mientras adiciona la solución de cloruro de calcio, agite el contenido del vaso continua y vigorosamente, amasando la muestra contra el costado del vaso, para asegu-

rar un mezclado completo del reactivo con la emulsión. Continúe amasando la muestra por unos 120 seg después de la adición de la solución de cloruro de calcio. (Nota 1).

Nota 1: Cuando ensaye emulsiones catiónicas, use 35 ml de solución de dioctyl sulfasuccinato de sodio (8,0 g/l) en lugar de 35 ml de solución de cloruro de calcio (1, cuando se usa solución de dioctyl sulfosuccinato de sodio en el ensayo de demulsibilidad, para emulsiones catiónicas (ver precisión).

15. Trasvase la mezcla de emulsión no quebrada y el reactivo sobre la malla. Lave con agua destilada el vaso que contiene la muestra y la varilla de metal; amase y desmenuce toda la masa y continúe lavando el vaso, la varilla y la malla hasta que el agua de lavado salga clara. Traspase el contenido de asfalto de la malla al vaso con la varilla de metal. Lleve el conjunto a un horno a 110±5° C y seque hasta masa constante. Precaliente a temperatura más baja para prevenir salpicaduras.

6.2.3.4.4. CÁLCULOS

Reste la tara del vaso, la varilla y la malla seca del conjunto, obteniendo el residuo de la demulsibilidad. Calcule la demulsibilidad como sigue:

$$\text{Demulsibilidad (\%)} = \frac{A}{B} \times 100$$

Donde:

A: Masa promedio del residuo de demulsibilidad de los tres ensayos de cada muestra de emulsión asfáltica.

B: Masa del residuo por destilación en 100 g de emulsión asfáltica.

6.2.3.4.5. PRECISIÓN

El siguiente criterio se usa para juzgar la aceptabilidad de los resultados a emulsiones RS (Nota 2) (95% probabilidad).

Nota 2: La precisión no se aplicará cuando se use solución solo de dioctyl sulfosuccinato de sodio en el ensayo de demulsibilidad para emulsiones catiónicas.

Resultados duplicados por el mismo operador no serán considerados dudosos, a menos que ellos difieran en una cantidad mayor que la siguiente:

Tabla 6.2_24.

Demulsibilidad Masa, %	Repetibilidad % de la media
30 a 100	5

Los resultados entregados por cada uno de dos Laboratorios no serán considerados dudosos, a menos que ellos difieran por más de las siguientes cantidades:

Tabla 6.2_25.

Demulsibilidad Masa, %	Repetibilidad % de la media
30 a 10	30

SECCION 6.2.3.5. | SEDIMENTACIÓN (ASTM D 244 AASHTO T59-97)

6.2.3.5.1. EQUIPOS Y MATERIALES

- Dos cilindros de vidrio de 500 ml con base ajustada o moldeada, tapones de corcho o vidrio u otro medio adecuado que los selle herméticamente y que tengan un diámetro externo de 50 ± 5 mm y graduación de 5 ml.
- Pipeta de vidrio; un sifón y pipeta de 60 ml de forma opcional.
- Balanza como se especifica en el numeral 8 de la **Sección 6.2.3.4.**
- Horno como se especifica en el numeral 9 del **Sección 6.2.3.4.**

6.2.3.5.2. PROCEDIMIENTO

1. Ponga 500 ml de muestra representativa en cada uno de los cilindros de vidrio. Tape el cilindro y déjelo sin perturbar en el laboratorio a la temperatura ambiente por 5 días. Después de este período, remueva aproximadamente 55 ml de la parte superior de la emulsión, por medio de la pipeta o sifón, sin alterar el resto. Mezcle cada porción completamente; pese 50 g de cada muestra por separado, en vasos de vidrio, tarados, de 600 ml y determine el residuo asfáltico por evaporación, colocando la muestra en un horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ mínimo por 2 horas, hasta masa constante.
2. Después de remover la parte superior de la muestra, saque con una pipeta o sifón aproximadamente 390 ml de cada cilindro. Mezcle toda la emulsión remanente en el cilindro y pese 50 g por separado, en los vasos de vidrio tarados de 600 ml. Determine el residuo asfáltico de cada muestra de acuerdo con 5.

6.2.3.5.3. CÁLCULOS

Calcule la sedimentación como sigue:

$$\text{Sedimentación(\%)(5 Días)} = B - A$$

Donde:

- A: Promedio del porcentaje de residuo de la parte superior de la muestra.
- B: Promedio del porcentaje de residuo del fondo de la muestra.

6.2.3.5.4. PRECISIÓN

El siguiente criterio se usa para juzgar la aceptabilidad de los resultados (95% de probabilidad).

D.1.Repetibilidad

Resultados duplicados por el mismo operador no serán considerados dudosos, a menos que ellos difieran en una cantidad mayor que la señalada:

Tabla 6.2_26.

Sedimentación % masa	Repetibilidad
0,0 a 1,0	0,4% de la masa
Sobre 1,0	5 % de la media

D.2.Reproducibilidad

Los resultados entregados por cada uno de dos Laboratorios no serán considerados dudosos, a menos que ellos difieran por más de las siguientes cantidades:

Tabla 6.2_27.

Sedimentación % masa	Repetibilidad
0 a 1,0	0,8 de la masa
Sobre 1,0	10% de la masa

SECCION 6.2.3.6.

MEZCLA CEMENTO(ASTM D 6935 AASHTO T59-97)

6.2.3.6.1. EQUIPOS Y MATERIALES

- Un tamiz de 0,180 mm (Nº 80) y 75 mm de diámetro y uno de 1,40 mm (Nº 16), confeccionados con malla de alambre conforme a Tabla 6.2_ 44.
- Bolo mezclador de vidrio o metal de aproximadamente 500 ml de capacidad.
- Una varilla de acero o vidrio con puntas redondeadas, de aproximadamente 10 mm de diámetro.
- Un cilindro graduado de 100 ml.
- Una balanza de 1.000 g, con una precisión de 0,01 g.
- Horno como se especifica en el numeral 9 de la Sección 6.2.3.4.
- Cemento. Cemento Portland Puzolánico de alta resistencia y que tenga una superficie específica mínima de 3.450 cm²/g, determinada según **Norma AASHTO T 153**.

6.2.3.6.2. PROCEDIMIENTO

- a. Diluya la emulsión con agua destilada hasta un 55% del residuo, determinado por destilación o por evaporación por 3 h a 110 ± 5 °C hasta masa constante.
- b. Tamice una porción del cemento a través del tamiz 0,180 mm. Pese $50 \pm 0,1$ g del cemento que pase por el tamiz 0,180 mm dentro del bolo mezclador.
- c. Lleve los ingredientes y aparatos a una temperatura de aproximadamente 25°C antes de mezclar. Agregue 100 ml de la emulsión diluida al cemento y agítela mezcla al mismo tiempo con la varilla, usando un movimiento circular a una velocidad de 60 rpm. Al término de 1 min. del período de mezcla, agregue 150 ml de agua destilada y continúe la agitación por 3 min.
- d. Vierta la mezcla a través del tamiz 1,40 mm previamente tarado. Use repetidos lavados para remover completamente el material mezclado en el bolo. Vierta esto sobre el tamiz y lávelo usando agua destilada desde una altura de aproximadamente 150 mm, hasta que ésta salga completamente limpia y transparente. Coloque el tamiz en un plato bajo tarado y caliente a 110 ± 5 °C hasta masa constante. Repita el calentamiento y las pesadas hasta que pesadas sucesivas no difieran en más de 0,1 g.

6.2.3.6.3. PRECISIÓN

El siguiente criterio será usado para juzgar la aceptabilidad de resultados (95% de probabilidad).

A.REPETIBILIDAD.

Resultados duplicados por el mismo operador no serán considerados dudosos, a menos que ellos difieran por más de las siguientes cantidades:

Tabla 6.2_28.

Mezcla cemento	Repetibilidad
% masa	% masa
0 a 2	0,2

B.REPRODUCIBILIDAD

Los resultados entregados por cada uno de dos Laboratorios no serán considerados dudosos, a menos que ellos difieran por más de las siguientes cantidades:

Tabla 6.2_29.

Mezcla cemento	Repetibilidad
% masa	% masa
0 a 2	0,4

6.2.3.6.4.INFORME

Informe el peso, en gramos, del material retenido en el tamiz y en el plato, como el porcentaje de quiebre en el ensayo mezcla cemento.

SECCION 6.2.3.7.

ENSAYO DE TAMIZADO (ASTM D 244 AASHTO T59-97)

6.2.3.7.1. EQUIPOS Y MATERIALES

- Tamiz de 75 mm de diámetro, teniendo una malla tejida de alambre de 0,85 mm (Nº 20)
- Paila metálica o caja poco profunda de tamaño apropiado, adaptada para la parte inferior del tamiz.
- Solución de oleato de sodio (2%); disuelva 2 g de oleato de sodio puro en agua destilada y diluya en 100 ml (6).

Nota 1: Reemplace la solución de oleato de sodio por agua destilada en ensayos de emulsiones catiónicas.

- Balanza con una capacidad de 5.000 g y una precisión de 0,1 g.

6.2.3.7.2. PROCEDIMIENTO

Registre la masa del tamiz y la paila y moje la malla de alambre con una solución al 2% de oleato de sodio. Pese 1 kg de la emulsión asfáltica dentro de un recipiente adecuado y vierta a través del tamiz; lave el recipiente y el residuo sobre el tamiz con la solución de oleato de sodio hasta que el agua de lavado salga clara. Coloque la paila bajo el tamiz y caliente por 2 h a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ en horno de secado. Enfríe en el desecador y pese tamiz, paila y residuo.

6.2.3.7.3. CÁLCULOS

Calcule el porcentaje de muestra retenida sobre el tamiz en la forma siguiente:

$$\text{Porcentaje de muestra retenida (\%)} = \frac{B - A}{10}$$

Donde:

A: Masa del tamiz y paila (g).

B: Masa del tamiz más paila y residuo (g)

6.2.3.7.4. PRECISIÓN

Utilice el siguiente criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados (95% de probabilidad).

A.REPETIBILIDAD

Los resultados duplicados por un mismo operador no se considerarán dudosos, a menos que difieran por más de las siguientes cantidades:

Tabla 6.2_30.

Ensayo de tamizado	Repetibilidad
% masa	% masa
0 a 0,1	0,03

B.REPRODUCIBILIDAD

Los resultados obtenidos por cada uno de los Laboratorios no se considerarán dudosos, a menos que difieran por más de las siguientes cantidades:

Tabla 6.2_31.

Ensayo de tamizado	Repetibilidad
% masa	% masa
0 a 0,1	0,08

SECCION 6.2.3.8.

ENSAYO DE CONGELAMIENTO (ASTM D 244 AASHTO T59-97)

6.2.3.8.1. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

- a. Coloque aproximadamente 400 g de la emulsión en un recipiente metálico limpio, de 500 ml, de manera que pueda cerrarse a presión en la parte superior.
- b. Exponga la emulsión en el recipiente cerrado a una temperatura de -18°C por 12 h o más, consecutivas.
- c. Al término del período de congelamiento deje que la emulsión se deshiele en el recipiente exponiéndola a la temperatura ambiente.
- d. Repita los períodos de hielo y deshielo hasta que la emulsión haya sido sometida a 3 ciclos.
- e. Después de los 3 ciclos, la emulsión se mantiene homogénea o se separa en distintas capas; en este último caso no vuelva a homogeneizarla por mezclado a la temperatura del laboratorio.
- f. Informe los resultados de este ensayo como Homogénea o Quebrada.

SECCION 6.2.3.9.

CAPACIDAD DE CUBRIMIENTO Y RESISTENCIA AL AGUA (ASTM D 244 AASHTO T59-97)

6.2.3.9.1. OBJETO

Este método especifica cómo se determina la capacidad de una emulsión asfáltica de cubrir un agregado completamente, resistiendo la acción del mezclado mientras permanece como una película en el agregado, y como resiste el lavado con agua después de completado el mezclado.

El método es un intento primario para ayudar en la identificación de una emulsión adecuada para mezclarla con áridos calcáreos de graduación gruesa (Ver Notas 1 y 2 para aplicación del método para otros áridos).

6.2.3.9.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A. EQUIPOS

1. Bolo de mezclado, con una capacidad de aproximadamente 3 l.
2. Espátula de acero o su equivalente; debe tener una hoja de aproximadamente 200 mm de longitud.
3. Tamices de 19,0 mm (3/4") y 4,75 mm (Nº 4).
4. Aparato pulverizador de agua de nivel constante: Un aparato para colocar una llave de agua a un nivel constante de 780 mm (**Figura 6.2_ 42, Figuras 1 y 2**). El agua debe fluir desde el aparato pulverizada a baja velocidad.
5. Un termómetro ASTM 15 C que tenga un rango de -2 a 80° C y cumpla con los requisitos de ASTM E1.
6. Balanza con capacidad de 2.000 g y precisión de 0,1 g.
7. Pipeta de 10 ml de capacidad.

B. MATERIALES

8. Los áridos normales de referencia serán lavados y secados al aire en el laboratorio. La graduación de agregados calizos (Nota 1) deben pasar tamiz 19,0 mm y serán retenidos por el tamiz 4,75 mm.

Nota 1: Se pueden usar otros áridos además de los calizos, suministrando carbonato de calcio, lo que está omitido a través de todo el Método.

También se omite el lavado y secado de esos áridos en el laboratorio.

9. Carbonato de calcio químicamente puro; use precipitado de carbonato de calcio (CaCO₃) como polvo para emplearlo con los áridos de referencia normal.
10. Use agua dura que no contenga más de 250 ppm de CaCO₃ para rociarla sobre la muestra.

6.2.3.9.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La muestra de la emulsión asfáltica a ensayar será representativa.

6.2.3.9.4. PROCEDIMIENTO

B.1. Procedimiento para ensayar con áridos secos

- k. Llevar a cabo el ensayo a 25 ± 5 °C
- l. Pesar $461,0 \pm 1$ g del agregado graduado de referencia seco, en el bolo mezclador.
- m. Pesar 4 g de carbonato de calcio en el bolo mezclador y mezclar con 461 g (Nota 2) de áridos, por aproximadamente un minuto con una espátula, obteniendo una película uniforme de polvo sobre las partículas del agregado.

Nota 2: El peso total del agregado y el polvo debe ser igual a 465 g. Si no se incluye carbonato de calcio, el peso del agregado solo deberá ser de 465 g.

- n. Pese $35 \pm 0,1$ g de emulsión asfáltica dentro del bolo con agregado y mezcle vigorosamente con la espátula por 5 min, usando una acción establecida de mezclado por movimientos de trayectorias elípticas de arriba hacia abajo con la espátula. Al final del período de mezclado incline el bolo y no permita que un exceso de emulsión drene sobre el agregado del bolo.
- o. Quite aproximadamente la mitad de la mezcla del bolo y colóquela sobre un papel absorbente y evalúe el cubrimiento.
- p. Inmediatamente rocíe suavemente la mezcla remanente en el bolo con agua sacada del aparato rociador a nivel constante, para cubrirla totalmente. La distancia entre la boquilla rociadora y la muestra será de 305 ± 75 mm. Luego, cuidadosamente vierta el agua fuera; continúe rociando y sacando el agua hasta que ésta salga clara. Drene cuidadosamente el agua en el bolo; saque la mezcla desde el bolo y colóquela sobre un papel absorbente para su evaluación de retención de cubrimiento, en el ensayo de lavado.
- q. Evalúe inmediatamente la mezcla, por una estimación visual, como el total del área superficial del agregado que está cubierto con asfalto.
- r. Repita la evaluación por estimación visual del cubrimiento del área superficial del agregado por el asfalto, después que la mezcla ha sido secada superficialmente en el laboratorio a temperatura ambiente. Si se desea puede usarse un ventilador para el secado.

B.2. Procedimiento para el ensayo con áridos húmedos

- s. Proceda en acuerdo con el Método numerales 1, 2 y 3.
- t. Con la pipeta retire 9,3 ml de agua y agregue a la mezcla agregado y CaCO_3 en polvo; mezcle en el bolo completamente hasta obtener una mezcla uniformemente húmeda.
- u. Continúe de acuerdo con el Método numerales 4, 5 y 6.

6.2.3.9.5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Evalúe y registre la siguiente información de ambos ensayos, con áridos secos y húmedos.

- a. Al final del período de mezclado, registre el cubrimiento total del área superficial del agregado por la emulsión asfáltica, como “muy bueno”, “bueno” o “regular”. La estimación “muy bueno” significa que está completamente cubierto por la emulsión asfáltica, inclusive los pequeños agujeros y las aristas del agregado; la estimación “bueno” de cubrimiento se aplica a la condición de una mayor área cubierta por sobre la descubierta y la estimación “regular” se aplica a la condición de una mayor área descubierta por sobre la cubierta.
- b. Después del rociado con agua, registre el cubrimiento del total del área superficial del agregado por el asfalto como muy bueno, bueno o regular.
- c. Después del secado en el laboratorio, registre el cubrimiento del total del área superficial del agregado por el asfalto como muy bueno, bueno o regular.
- d. Se pueden incluir comentarios respecto de los resultados de los ensayos de evaluación.

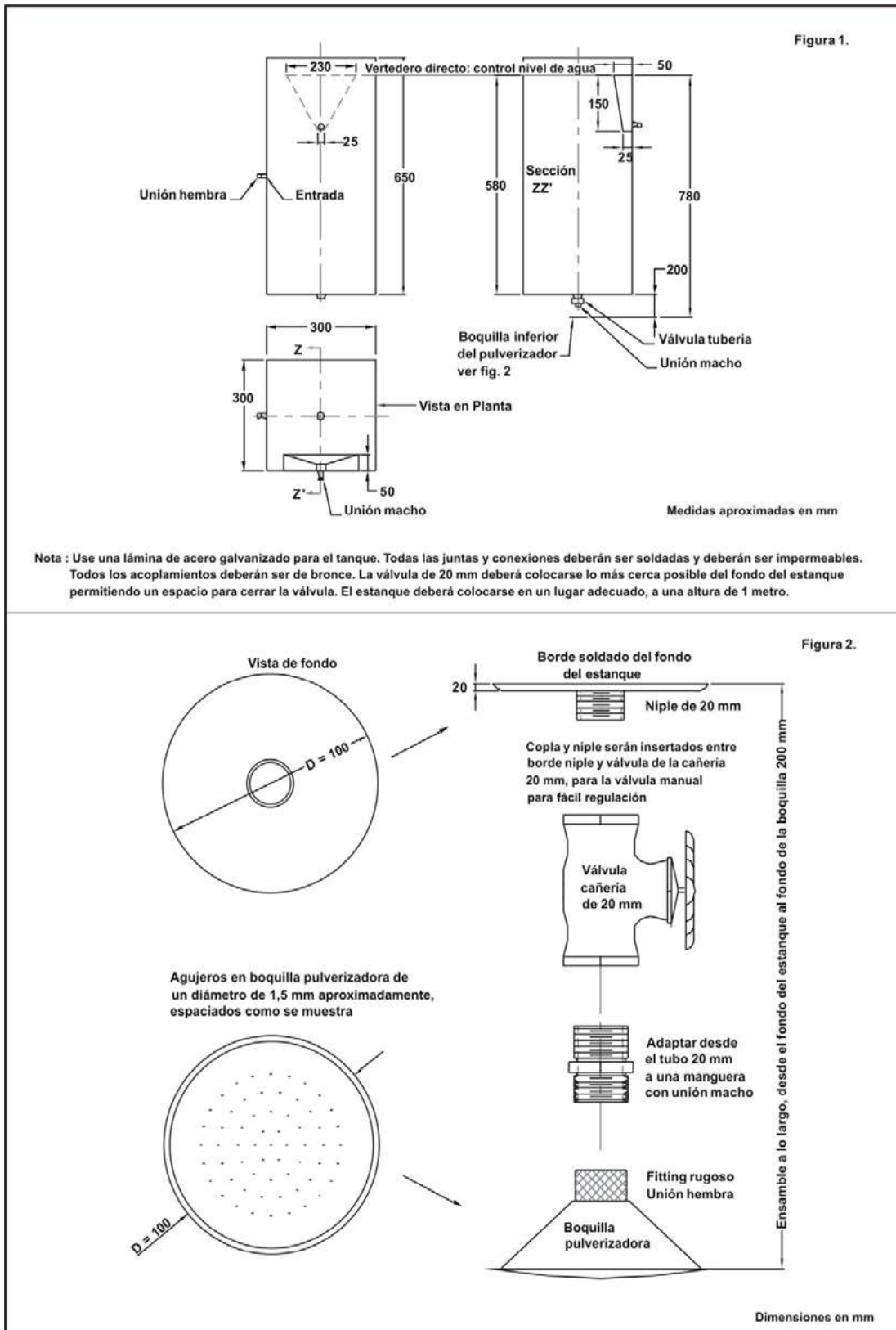


Figura 6.2_42.

1- ESTANQUE DE FLUJO CON CARGA HIDROSTÁTICA CONSTANTE,
2- VÁLVULA Y ENSAMBLE DE LA BOQUILLA PARA EL ESTANQUE CON CARGA HIDROSTÁTICA CONSTANTE

SECCION 6.2.3.10.

CAPACIDAD DE ALMACENAJE DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA (ASTM D 244 AASHTO T59-97)

6.2.3.10.1. OBJETO

El Método describe la capacidad de una emulsión asfáltica para permanecer como una dispersión uniforme durante el almacenaje. Es aplicable a emulsiones asfálticas compuestas principalmente de una base líquida o semisólida, agua y un agente emulsificante.

6.2.3.10.2. SIGNIFICADO

El método se usa para determinar, en corto tiempo, comparativamente, la estabilidad de almacenaje de la emulsión asfáltica. Esta es una medida de permanencia de la dispersión en relación al tiempo, pero esto no puede ser interpretado como una medida significativa si se tienen otros aspectos de la estabilidad involucrados en el uso.

6.2.3.10.3. EQUIPOS Y MATERIALES

- Dos cilindros de vidrio de 500 ml con base ajustada o moldeada de vidrio, tapones de corcho o de vidrio u otro medio adecuado que los selle herméticamente. Deben tener un diámetro exterior de 50 ± 5 mm y graduación de 5 ml.
- Sifón y pipeta de 60 ml de forma opcional.
- Balanza de 1.000 g de capacidad, con precisión de 0,01 g.
- Horno que cumpla con lo dispuesto en el Método numeral 1).

6.2.3.10.4. PROCEDIMIENTO

- Lleve la emulsión asfáltica a temperatura de la sala ($20 \pm 3^\circ\text{C}$). Coloque 500 ml de una muestra representativa en cada uno de los cilindros de vidrio. Tape el cilindro y deje la muestra sin perturbar en el laboratorio a la temperatura de la sala por 24h. Después de este período de reposo, saque aproximadamente 55 ml de la parte superior por medio de una pipeta o sifón, sin perturbar la muestra. Mezcle completamente cada porción.
- Pese $50 \pm 0,1$ g de cada muestra dentro de un vaso de vidrio o aluminio de 600 ó 1.000 ml; cada vaso debe ser previamente tarado con una varilla de vidrio de 6 mm de diámetro por 180 mm de longitud. Ajuste la temperatura del horno $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Luego coloque el vaso conteniendo la varilla y la muestra en el horno por 2 h. Al final de este período, saque los vasos y revuelva completamente el residuo. Vuelva a colocar al horno por 1 h; luego saque los vasos del horno y deje enfriar a temperatura ambiente y pese con la varilla incluida. Repita hasta lograr masa constante.

- c. Después de quitar la muestra de la parte superior, saque con el sifón aproximadamente los próximos 390 ml de cada cilindro; mezcle completamente la emulsión remanente en el cilindro y pese 50 g en un vaso de aluminio o vidrio de 600 ó 1.000 ml, previamente tarado. Determine el residuo asfáltico de estas muestras de acuerdo con 6.

6.2.3.10.5. CÁLCULOS

Calcule la capacidad de almacenaje como la diferencia numérica entre el promedio de los porcentajes de residuo asfáltico encontrados en las dos muestras de la parte inferior y las dos muestras de la parte superior.

6.2.3.10.6. PRECISIÓN

1. Repetibilidad

La desviación estándar de la repetibilidad es de 0,2%. La diferencia del promedio entre dos resultados obtenidos por el mismo operador con el mismo equipo, pero no concurrentemente, será aproximadamente 0,2%. Estos dos valores serán considerados dudosos (95% nivel de confiabilidad) si ellos difieren por más de 0,5%.

2. Reproducibilidad

La desviación estándar de la reproducibilidad es de 0,2%. El promedio de la diferencia entre dos resultados obtenidos por operadores en laboratorios diferentes será aproximadamente 0,3%. Estos dos valores serán considerados dudosos (95% nivel de confiabilidad) si ellos difieren por más de 0,6%.

Nota 1: Si este Método de ensayo se efectúa usando solamente un cilindro, en lugar de dos por cada determinación como se especifica, entonces deberá usar los siguientes criterios de precisión.

Tabla 6.2_32.

% Repetibilidad		% Reproducibilidad	
Desviación normal	0,2	Desviación normal	0,2
Diferencia promedio	0,3	Diferencia promedio	0,3
Criterio dudoso	0,5	Criterio dudoso	0,6

SECCION 6.2.3.11. | EXAMEN DEL RESIDUO (ASTM D 244 AASHTO T59-97)

6.2.3.11.1. OBJETO

Los ensayos de densidad, contenido de cenizas, solubilidad en tricloroetileno, penetración, ductilidad y flotación se sugieren para el examen del residuo de la emulsión obtenido por destilación o evaporación

6.2.3.11.2. DENSIDAD

Determine la densidad sobre una porción representativa del residuo de acuerdo con la **Sección 6.2.1.2**, Determinación de la Densidad del Asfalto.

6.2.3.11.3. CONTENIDO DE CENIZAS

Determine la ceniza colocando 2 a 5 g de residuo de la muestra (m_i) en un crisol tarado de porcelana o platino y pese la muestra, aproximando a 0,1 g. Queme lentamente la materia combustible y finalmente calcine el residuo hasta que la ceniza quede libre de materia carbonosa. Enfríe el crisol y su contenido en un desecador y pese (m_f) informando el resultado como porcentaje de ceniza.

$$\%Ceniza = \frac{\Delta_m}{m_i} \times 100 = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100$$

6.2.3.11.4. SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO

Determine la solubilidad en tricloroetileno sobre una porción representativa del residuo de acuerdo con la **Sección 6.2.1.7** "Determinación de la Solubilidad en Solventes Orgánicos".

6.2.3.11.5. PENETRACIÓN

Determine la penetración sobre una porción representativa de residuo de acuerdo con la **Sección 6.2.1.3** "Ensayo de Penetración".

Utilice el siguiente criterio para juzgar la confiabilidad de los resultados (95% de probabilidad).

6.2.3.11.6. REPETIBILIDAD

Resultados duplicados por un mismo operador no serán considerados dudosos, a menos que ellos difieran por más de las siguientes cantidades:

- Rango de Penetración del residuo 80 a 200.
- Repetibilidad, puntos 15.

6.2.3.11.7. REPRODUCIBILIDAD

Los resultados obtenidos por dos laboratorios no serán considerados dudosos, a menos que ellos difieran en más de las siguientes cantidades:

- Rango de Penetración del residuo 80 a 200.
- Reproducibilidad, puntos 30.

6.2.3.11.8. DUCTILIDAD

Determine la ductilidad de una porción representativa del residuo de acuerdo con la **Sección 6.2.1.5** "Determinación de la ductilidad".

SECCION 6.2.3.12.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE AGUA POR DESTILACIÓN (ASTM D 244 AASHTO T59-97)

6.2.3.12.1. OBJETO

Este método define la determinación de agua en crudos de petróleo, alquitranes y productos derivados de estos materiales.

Los productos indicados en el listado de 12 a) representan el rango de materiales considerados en el desarrollo de las especificaciones de este método. Para emulsiones bituminosas referirse a las Secciones 6.2.3.1 al 6.2.3.11.

Referencias para este método aparecen en numerosas normas, concernientes a otros materiales distintos de aquéllos incluidos en 12 a).

6.2.3.12.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A.EQUIPOS

- El aparato comprende un matraz de vidrio o metal, un calentador, un condensador a reflujo y una trampa de vidrio graduada. El matraz, la trampa y el condensador deben conectarse por un método adecuado para producir una junta sin pérdidas de material; las conexiones preferidas son las juntas bases para vidrio y anillos para metal o vidrio; algunos ensambles típicos se ilustran en la **Figura 6.2_43**. Matraz. Vasija de vidrio o metal con cuello corto y junta adecuada para acomodar el tubo reflujo de la trampa; son satisfactorias vasijas de 500, 1000 y 2000 ml de capacidad nominal.

Calentador. Con el matraz de vidrio se puede usar un mechero a gas adecuado o un calentador eléctrico. Con el matraz de metal se debe usar un mechero a gas circular con aberturas en la parte interna del anillo y de dimensiones tales que pueda ser movido de arriba hacia abajo en la vasija, cuando se ensayen materiales que son probablemente espumantes o que solidifiquen en el matraz.

- Las dimensiones y descripción del material de vidrio típico para usar en este Método se describen en ASTM E 123, Determinación de Agua por Destilación.
- Los matraces y trampas serán elegidos para cubrir el rango de los materiales y contenido de agua esperado.

Nota 1: En lugar de normalizar un equipo particular, especificado con respecto a modelos y dimensiones, un equipo dado puede considerarse satisfactorio cuando arroje resultados exactos por la adición normal, técnica descrita en el punto "Normalización".

- La balanza deberá cumplir con los requisitos **de AASHTO M 231** para la clase requerida, para pesar la masa del contenedor y la muestra por ensayar.

B. NORMALIZACIÓN

- Considere que un determinado equipo es satisfactorio cuando obtenga lecturas precisas por adición de cantidades conocidas de agua desde una bureta o pipeta calibrada a un aceite hidrocarbonado transparente y ensayado de acuerdo con el procedimiento indicado en "Procedimiento".
- Las lecturas serán juzgadas precisas si el límite permisible dado en **Tabla 6.2_33**, para varios tamaños graduados de trampas, no son excedidos.
- Una lectura fuera del límite permisible sugiere un mal funcionamiento debido a escapes del vapor, ebullición demasiado rápida, inexactitud en calibración de la trampa o ingreso de humedad externa; elimine estos factores antes de repetir la normalización.

Tabla 6.2_33. LÍMITES PERMITIDOS

Capacidad del recipiente a 20°C	Volumen de agua adicionada al frasco a 20°C, ml	Límite permitido de agua recuperada a 20° C, ml
2	1	1±0,05
10	1	1±0,1
10	5	5±0,2
25	12	12±0,2

C. SOLVENTE – LÍQUIDO TRANSPORTADOR

- Será utilizado el solvente-líquido transportador más apropiado para el material a ensayar según **Tabla 6.2_34**.

D. SOLVENTES AROMÁTICOS

- a) Xileno grado industrial, o
 - b) Mezcla de 20% en volumen de tolueno grado industrial y 80% en volumen de xileno grado industrial, o
 - c) Naftas de petróleo o alquitrán de hulla, libres de agua, que no admitan más de un 5% destilado a 125° C y no menos de 20% a 160° C, cuando se ensayan según **Norma AASHTO T 115**, Ensayo para Destilación de Productos del Petróleo, y con una gravedad específica no menor que 0,8545 a 15,56/15,56° C.
- Destilado de petróleo que ebulle un 5% entre 90 y 100°C, y 90% destile bajo 210°C.
 - Compuestos Volátiles. Los siguientes compuestos volátiles son aceptables:
 - a) Alcohol de petróleo, con un rango de ebullición desde 100 a 120° C, o
 - b) Isooctano, 95% de pureza o mejor.

6.2.3.12.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE MUESTRA

La porción de la muestra usada en el ensayo debe ser cabalmente representativa de la muestra total. Si el material es líquido, mezcle totalmente la muestra recibida, calentando si es necesario para asegurar la uniformidad. Triture los materiales sólidos que sean suficientemente frágiles, mezcle totalmente y tome una muestra representativa para el análisis. Cuando haya duda de la

uniformidad del material, tome más muestras y promedie sus resultados. El procedimiento del muestreo está descrito en la **Sección 6.2.1.1**, “Métodos de Muestreo”.

El tamaño de la porción por ensayar se basará en la expectativa de contenido de agua de la muestra, de manera que el agua admitida no exceda la capacidad de la trampa, a menos que se use una trampa con llave, con lo cual el exceso de agua pueda ser vaciado a un cilindro graduado.

6.2.3.12.4. PROCEDIMIENTO

- a. Mida una cantidad adecuada de muestra para una precisión de $\pm 1\%$ y transfírela al matraz.
 - Mida muestras líquidas comunes en un cilindro graduado de tamaño apropiado. Lave el material adherido al cilindro con una porción de 50 ml y dos de 25 ml del solvente líquido transportador, siendo éste uno seleccionado de aquéllos descritos en “Solvente –Líquido transportador” y que corresponda al tipo sugerido en la lista siguiente, para el material especificado bajo ensayo.

Drene el cilindro totalmente después de transferir la muestra y en cada lavado.

Tabla 6.2_34. TIPOS DE SOLVENTES LÍQUIDO TRANSPORTADOS

Tipo de solvente transportador	Materiales
Aromáticos	Asfalto, alquitrán, alquitrán de hulla, gas de agua de alquitrán, alquitrán de camino, bitúmenes cortados, asfaltos líquidos y ácidos de alquitranes.
Destilado de petróleo	Crudo de petróleo, aceite de camino, fuel oil, aceites lubricantes y petróleos sulfonados.
Volátil	Grasas lubricantes.

- Pese los materiales sólido viscosos directamente dentro del matraz y adicione 100 ml del solvente líquido transportador seleccionado desde Tabla 6.2_34.
 - En casos de materiales con bajo contenido de agua y en que se puedan usar muestras mayores, un volumen en exceso de 100 ml del solvente transportador puede ser necesario.
 - Si es necesario reducir el burbujeo, puede agregar cuentas de vidrio u otros elementos que ayuden la ebullición.
- b. Arme los componentes del equipo como se muestran en la **Figura 6.2_43**. Elija la trampa de acuerdo con las expectativas de contenido de agua de la muestra y haga todas las conexiones para vapor y líquido. El tubo condensador y la trampa deben estar químicamente limpios para asegurar un drenaje libre del agua al interior del fondo de la trampa. Inserte un tapón de algodón suelto en el tope del condensador para prevenir condensación de humedad atmosférica al interior de éste. Circule agua fría a través de la camisa del condensador.
 - c. Aplique calor al matraz, ajustando la velocidad de ebullición, tal que el destilado condensado descargue desde el condensador a una velocidad de 2 a 5 gotas por segundo. Si se usa un matraz metálico, comience calentando con el mechero anular aproximadamente 75 mm sobre el fondo del matraz y gradualmente baje el mechero como en el proceso de destilación. Continúe la destilación hasta que no se visible agua en ninguna

parte del equipo excepto en la trampa y el volumen de agua en la trampa permanezca constante por 5 minutos. Si hay un anillo persistente de agua en el tubo condensador, cuidadosamente aumente la velocidad de destilación o corte el agua del condensador por unos minutos.

- d. Cuando la evolución de agua se complete, deje que la trampa y contenido enfríen a temperatura ambiente. Desaloje las gotas de agua adheridas a las paredes de la trampa con una varilla de vidrio u otro medio adecuado y transfíralas a la capa de agua. Lea el volumen de agua en la trampa en la división de escala más cercana.

6.2.3.12.5. CÁLCULOS

Calcule el agua en la muestra como porcentaje en peso o volumen, de acuerdo a la base en la cual fue tomada la muestra, como sigue:

$$\%agua = \frac{\text{volumen agua en la trampa}}{\text{peso (o volumen) de muestra}} \times 100$$

Si hay presencia de material volátil soluble en agua, médalo como agua.

6.2.3.12.6. PRECISIÓN

Use el siguiente criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados (95% de probabilidad) cuando se usen trampas de 10 o 25 ml. La precisión cuando se usen trampas de 2 ml no se ha establecido.

A. REPETIBILIDAD

La diferencia entre sucesivos resultados de ensayos obtenidos por el mismo operador con el mismo equipo bajo las mismas condiciones de operación e idéntica muestra, en la correcta y normal operación de ensayo exceden los valores mostrados sólo en un caso de veinte.

Agua recibida (ml)

0 a 1,0 0,1 ml

1,1 a 25 0,1 ml o 2% de la media, el que sea mayor

B. REPRODUCIBILIDAD

La diferencia entre dos resultados de ensayo independientes obtenidos por distintos operadores trabajando en distintos laboratorios en idénticas muestras de ensayo en condiciones normales y correctas de ensayo, exceden los siguientes valores en sólo un caso de veinte.

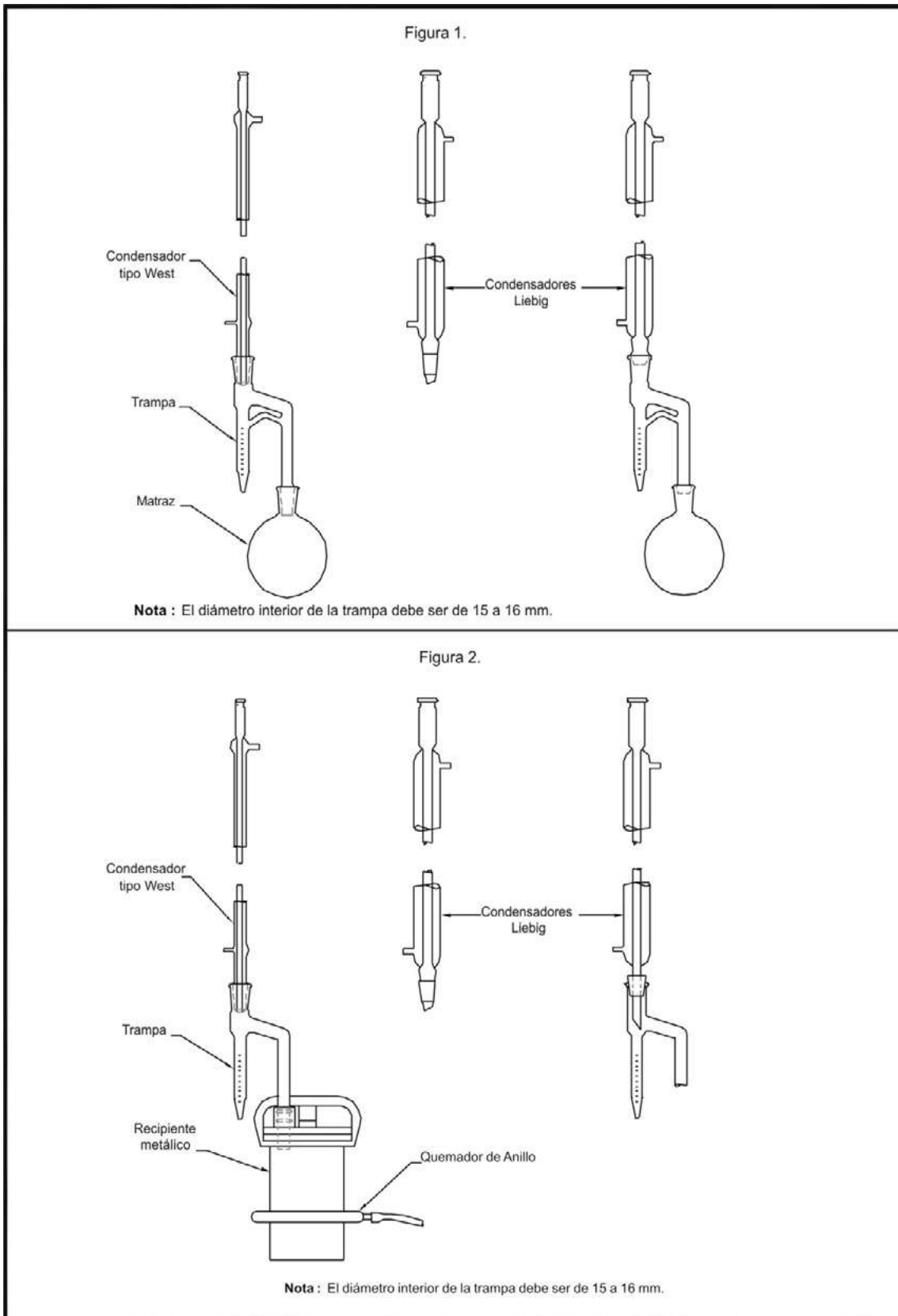
Agua recibida (ml)

0 a 1,0 0,2 ml

1,1 a 25 0,2 ml o 10% de la media, el que sea mayor

6.2.3.12.7. INFORME

Informe el resultado aproximando a 0,05% si ha sido usado un recibidor de 2 ml y aproximando a 0,1% si ha sido usado un recibidor de 10 a 25 ml con 100 ml o 100 g de muestra. Informe el porcentaje como masa o volumen, cualquiera haya sido la base de cálculo.



**Figura 6.2_43. FIGURA 1-ENSAMBLES TÍPICO CON MATRAZ DE VIDRIO,
FIGURA 2- EQUIPO ENSAMBLADO CON RECIPIENTES METÁLICOS**

SECCION 6.2.3.13.

MÉTODO PARA DETERMINAR LA VISCOSIDAD SAYBOLT (ASTM D 244)

6.2.3.13.1. OBJETO

Este método describe el procedimiento para la medida empírica de la viscosidad Saybolt de productos del petróleo a temperaturas especificadas entre 20 y 100°C. **Ver anexo detalles AO 313**

Nota 1. Un método fundamental y preferencial para medir viscosidad Cinemática, es el que se describe en A0108, "Método para Determinar la Viscosidad Cinemática". Este método requiere muestras menores, menor tiempo y es de mayor exactitud.

Las viscosidades Saibor Universal y Saibor Furor, pueden obtenerse de los valores de la viscosidad cinemática usando las tablas de conversión que se incluyen en la Sección 6.2.3.14, "Método para Convertir Viscosidad Cinemática a Saibor Universal o Saibor Furor".

El índice Saibor Universal o viscosidad cinemática se refiere a índices de viscosidad calculados usando valores de la Saibor Universal. La viscosidad Saibor Furor de materiales bituminosos a altas temperaturas está especificada en la **Norma ASTM E 102**.

6.2.3.13.2. DEFINICIONES

A.VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL

El tiempo de flujo en segundos de 60 ml de mezcla que fluye a través de un orificio Universal, calibrado bajo condiciones especificadas.

B.VISCOSIDAD SAYBOLT FUROR

El tiempo de flujo en segundos de 60 ml de muestra que fluye a través del orificio Furol, calibrado bajo condiciones especificadas. La viscosidad Furol es aproximadamente un décimo de la viscosidad Universal y se recomienda para productos del petróleo que tienen viscosidad mayor que 1000 seg (Saybolt Universal) tales como combustible, aceites y otros materiales residuales. La palabra "Furol" es una contracción de fuel and road oils.

Tabla 6.2_35. TERMÓMETROS ASTM PARA VISCOSIDADES SAYBOLT

ASTM Temperatura normal de ensayo °C	Viscosidad Saybolt Rango de temperatura °C	Termómetros	
		Subdivi- siones °C	Termómetros ASTM °C
2,1	19-27	0,1	17C
25	19-27	0,1	17C
37,8	34-42	0,1	18C
50	49-57	0,1	19C
54,4	49-57	0,1	19C

60	57-65	0,1	20C
82,2	79-87	0,1	21C
98,9	95-103	0,1	22C

6.2.3.13.3. EQUIPOS Y MATERIALES

A.VISCOSÍMETRO SAYBOLT CON BAÑO.

a) **Tubo succionador**

Como se muestra en la **Figura 6.2_ 45**, figura 1 u otro aparato adecuado.

b) **Soporte del termómetro.**

Aparato para poner el termómetro en el viscosímetro. Un diseño adecuado se muestra en la **Figura 6.2_ 45, Figura 2.**

c) **Embudo filtro**

Como se muestra en la **Figura 6.2_ 45, Figura 3.**

d) **Frasco recibidor**

Como se muestra en la **Figura 6.2_ 45, Figura 4.**

B.CRONÓMETRO

Graduado en décimas de segundo y con una exactitud de 0,1 seg cuando se ensaya sobre un intervalo de 60 min. Los cronómetros eléctricos son aceptables, si son operados sobre un circuito de frecuencia controlada.

C.TERMÓMETRO

Para leer la temperatura de ensayo de la muestra. El termómetro para viscosidad Saybolt ASTM se muestra en **Tabla 6.2_35** y debe cumplir con lo especificado en la **Norma ASTM E 1.**

D.TERMÓMETRO PARA BAÑO

Termómetros de viscosidad o cualquier otro medio de exactitud equivalente.

E.PREPARACIÓN DE LOS APARATOS

Use un orificio Universal para lubricantes y materiales destilados con tiempos de flujo mayores que 32 seg. para obtener la exactitud deseada. No es conveniente ensayar con estos orificios líquidos con tiempo de flujo sobre 1000 seg.

Use el orificio Furol para materiales residuales con tiempo de flujo mayor que 25 seg. El tiempo de flujo Furol es aproximadamente una décima parte del tiempo de flujo Universal.

Instale el viscosímetro con baño donde esté libre de corrientes de aire y rápidos cambios de temperatura; localícelo de modo que la muestra no se contamine con polvo o vapores durante el ensayo.

No debe determinar la viscosidad a temperaturas inferiores a la temperatura de condensación atmosférica de la sala. Temperaturas de la sala sobre los 38°C no introducen errores superiores al 1,0 %; para una normalización y ensayos de arbitraje mantenga la temperatura de la sala entre 20 y 30°C y regístrela.

Llene el baño hasta no menos de 6,5 mm por encima del borde de derrame del viscosímetro. El listado de la **Tabla 6.2_36**, recomienda el medio del baño por cada temperatura de ensayo.

Disponga un revolovedor adecuado y control térmico para el baño, de modo que la muestra no fluctúe en más de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ después de alcanzar la temperatura de ensayo.

Limpie el viscosímetro con un solvente efectivo no tóxico y quite todo el solvente del viscosímetro.

Nota 2: El émbolo del cual está provisto el viscosímetro no debe ser usado para limpiar los bordes de derrame y pared del viscosímetro pues puede dañarse con el uso.

F.CALIBRACIÓN DEL VISCOSÍMETRO

Calibre el viscosímetro Saybolt Universal a intervalos no mayores que 3 años, midiendo el tiempo de flujo a 38°C de una viscosidad normal apropiada siguiendo el procedimiento dado en los numerales 6 a 12.

El tiempo de flujo debe ser igual al valor certificado de la viscosidad Saybolt; si el tiempo de flujo difiere del valor certificado por más de 0,2%, calcule el factor de corrección, F, para el viscosímetro, como sigue:

$$F = \frac{v}{t}$$

Donde:

V: Viscosidad Saybolt certificada.

T: Tiempo del flujo en segundos a 38°C .

Nota 3: El factor de corrección aplicado a todos los niveles de viscosidad para todas las temperaturas, provee la calibración que está basada en una viscosidad normal que tiene un tiempo de flujo entre 200 y 600 seg.

Calibre el viscosímetro Saybolt Furol a 150°C de la misma manera como se hizo antes, usando una viscosidad normal teniendo un tiempo de flujo mínimo de 90 seg.

Los viscosímetros u orificios que tienen correcciones superiores al 1,0 % no deben usarse para ensayos de arbitraje.

6.2.3.13.4. PROCEDIMIENTO

1. Si la temperatura de ensayo está por encima de la temperatura de la sala, el ensayo puede acelerarse por precalentamiento de la muestra a no más que $1,6^{\circ}\text{C}$ por sobre de la temperatura de ensayo.

Nota 4: Para materiales asfálticos cortados que tienen componentes altamente volátiles tales como los de curado rápido y curado medio, los precalentamientos no están permitidos en recipientes abiertos. Vierta el material dentro del viscosímetro a la temperatura de la sala o si el material es demasiado viscoso para vaciarlo a la temperatura de la sala, caliéntelo, colocando la muestra en el envase original en un baño de agua a 50°C por unos minutos antes de vaciar. El filtrado a través de una malla de 0,150 mm, como se describe en 24, se omite.

Para ensayos sobre la temperatura de la sala, las diferencias mayores de temperatura que se permiten durante el período de calentamiento están indicadas en la **Tabla 6.2_36**, pero la temperatura del baño deberá ajustarse dentro de los límites prescritos antes del minuto final de agitación, durante el cual la temperatura de la muestra permanece constante (ver 25).

2. Inserte un tapón de corcho, que tenga un cordel unido para quitarlo con facilidad, dentro de la cámara de aire, en el fondo del viscosímetro. El corcho debe encajar estrechamente, lo suficiente para prevenir el escape de aire; una evidencia es la ausencia del líquido por ensayar sobre el corcho cuando se retira.
3. Filtre la muestra preparada a través de una malla 0,150 mm, tamizando directamente dentro del viscosímetro hasta el nivel que está sobre el borde de derrame.
4. Revuelva la mezcla hasta que la temperatura permanezca constante dentro de 0,1°C de la temperatura de ensayo, revolviendo continuamente durante 1 min. Revuelva con el termómetro del viscosímetro puesto en un soporte (Figura 6.2_45, Figura 2). Use un movimiento circular de 30 a 50 rpm en el plano horizontal.

Nota 5: La viscosidad de aceites refinados del petróleo, aceites lubricantes negros, residuos combustibles y productos cerosos similares, puede ser afectada por la historia térmica previa. Los siguientes procedimientos de precalentamiento deben seguirse para obtener resultados uniformes para viscosidad bajo los 95°C. Para obtener una muestra representativa, caliente la muestra en el recipiente original, cercano a los 50°C, revolviendo y agitándola.

Sondee la parte inferior del recipiente con una varilla, para tener la certeza que todo el material ceroso está en solución.

Vierta 100 ml dentro de un Erlenmeyer de 125 ml. Taponee sueltamente con un tapón de corcho o goma; sumerja el frasco en el baño con agua en ebullición por 30 min. Mezcle bien, quite la muestra del baño y tamice a través de una malla 0,075 mm directamente dentro del viscosímetro.

Complete el ensayo de viscosidad dentro de 1 h después del precalentamiento.

Nota 6: Nunca ajuste la temperatura por inmersión de cuerpos calientes o fríos dentro de la muestra. En tal caso el tratamiento termal puede afectar a la muestra y a la precisión del ensayo.

5. Quite el termómetro de la muestra; rápidamente retire el líquido del rebalse hasta que el nivel esté por debajo del borde de éste. Esto se hace colocando el extremo del tubo de succión (Figura 6.2_45, Figura 1) en un punto del rebalse y aplicando succión. No toque el nivel de rebalse con el tubo de succión, o el menisco efectivo de la muestra se verá reducido.
6. Coloque el frasco receptor (Figura 6.2_45, Figura 4) donde fluya el líquido desde el fondo del viscosímetro, de modo que apenas tope con el cuello del frasco. La marca de graduación estará entre 100 y 130 mm debajo del fondo del tubo del viscosímetro.
7. Suelte el corcho del viscosímetro usando el cordel; al mismo tiempo eche a andar el cronómetro.

Pare el cronómetro en el instante que la parte inferior del menisco llegue a la marca de graduación. Informe el tiempo de flujo en segundos.

6.2.3.13.5. CÁLCULOS

8. Multiplique el tiempo de flujo por el factor de corrección para el viscosímetro determinado en 20.

6.2.3.13.6. PRECISIÓN

Los resultados presentados no deben diferir en más de los siguientes:

9. Repetibilidad (un operador y aparato): 1%.
10. Reproducibilidad (diferentes operadores y aparatos): 2%.

6.2.3.13.7. INFORME

11. Informe el tiempo de flujo corregido como Viscosidad Saybolt Universal o Furol de la muestra y la temperatura a la cual realizó el ensayo.
12. Informe los valores SUs o SFs bajo 200 aproximando a 0,1 seg. Informe los valores SUs o SFs sobre 200 aproximando al segundo.

Nota 7: La abreviatura preferida para los Segundos Saybolt Universales es SUs y para los Segundos Saybolt Furol es SFs.

Tabla 6.2_36. TEMPERATURA DE ENSAYO DEL BAÑO

Temperatura de ensayo °C	Máxima temperatura Medio bañado recomendado °C	Precisión	
		Diferencial °C	Funcionamiento °C
21,1	Agua	±0,06	±0,03
25	Agua	±0,06	±0,03
37,8	Agua, o aceite de viscosidad 50-70 s SU a 38°C	+0,14	±0,03
50	Agua, o aceite de viscosidad 120-1500 s SU a 38°C	+0,19	±0,03
54,4	Agua, o aceite de viscosidad 120-150 s SU a 38°C	+0,28	±0,03
60	Agua, o aceite de viscosidad 120-150 s SU a 38°C	+0,56	±0,06
82,2	Agua, o aceite de viscosidad 330-370 s SU a 38°C	+0,83	±0,06
98,9	Aceite de viscosidad 330-370 s SU a 38°C	+1,11	±0,06

Nota: (a) Máxima diferencia permitida entre la temperatura del baño y la temperatura de ensayo para mantener el equilibrio térmico al mismo tiempo que se revuelve la muestra en el viscosímetro con el termómetro.

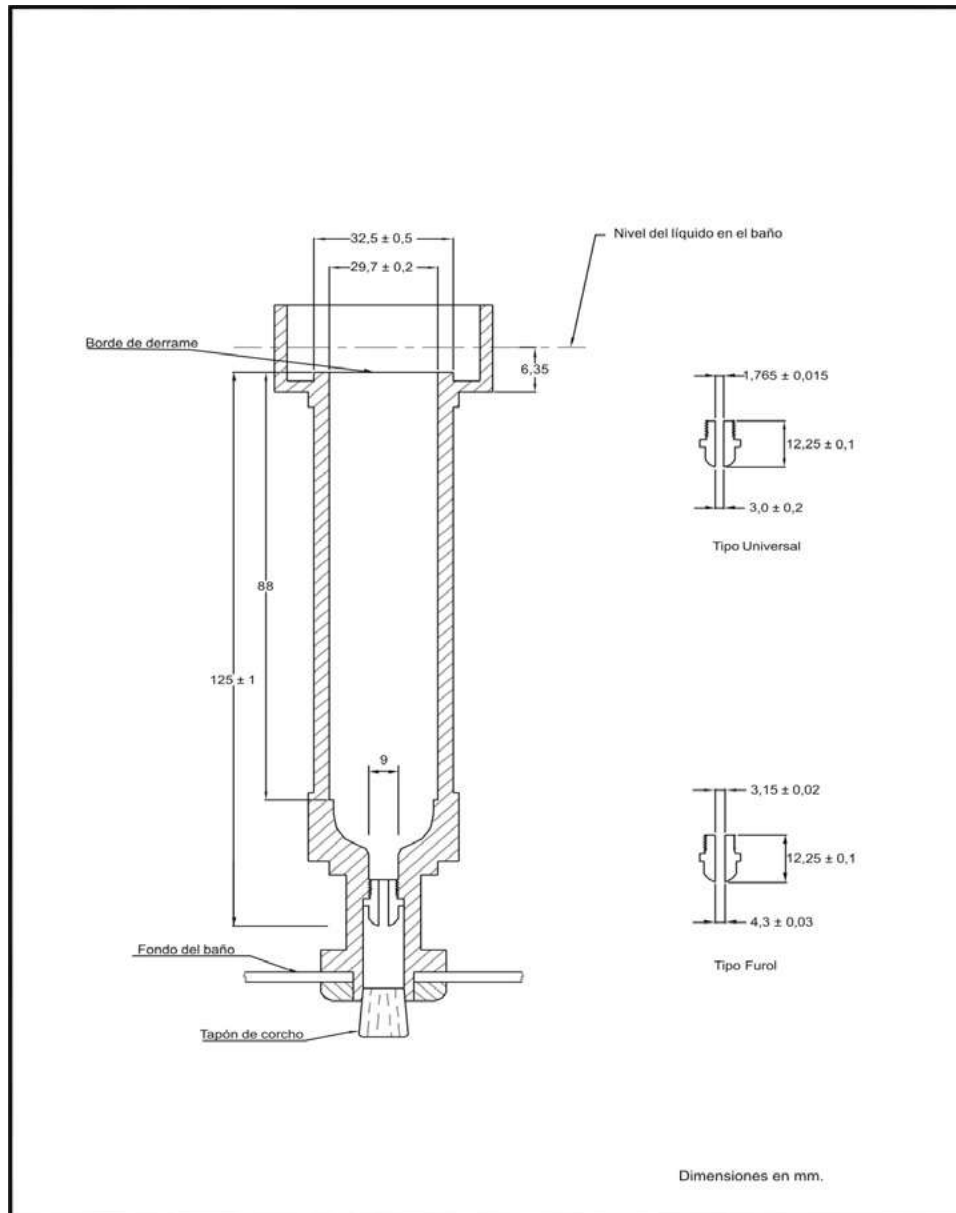


Figura 6.2_44. VISCOSÍMETRO SAYBOLT CON ORIFICIO UNIVERSAL Y FUROL

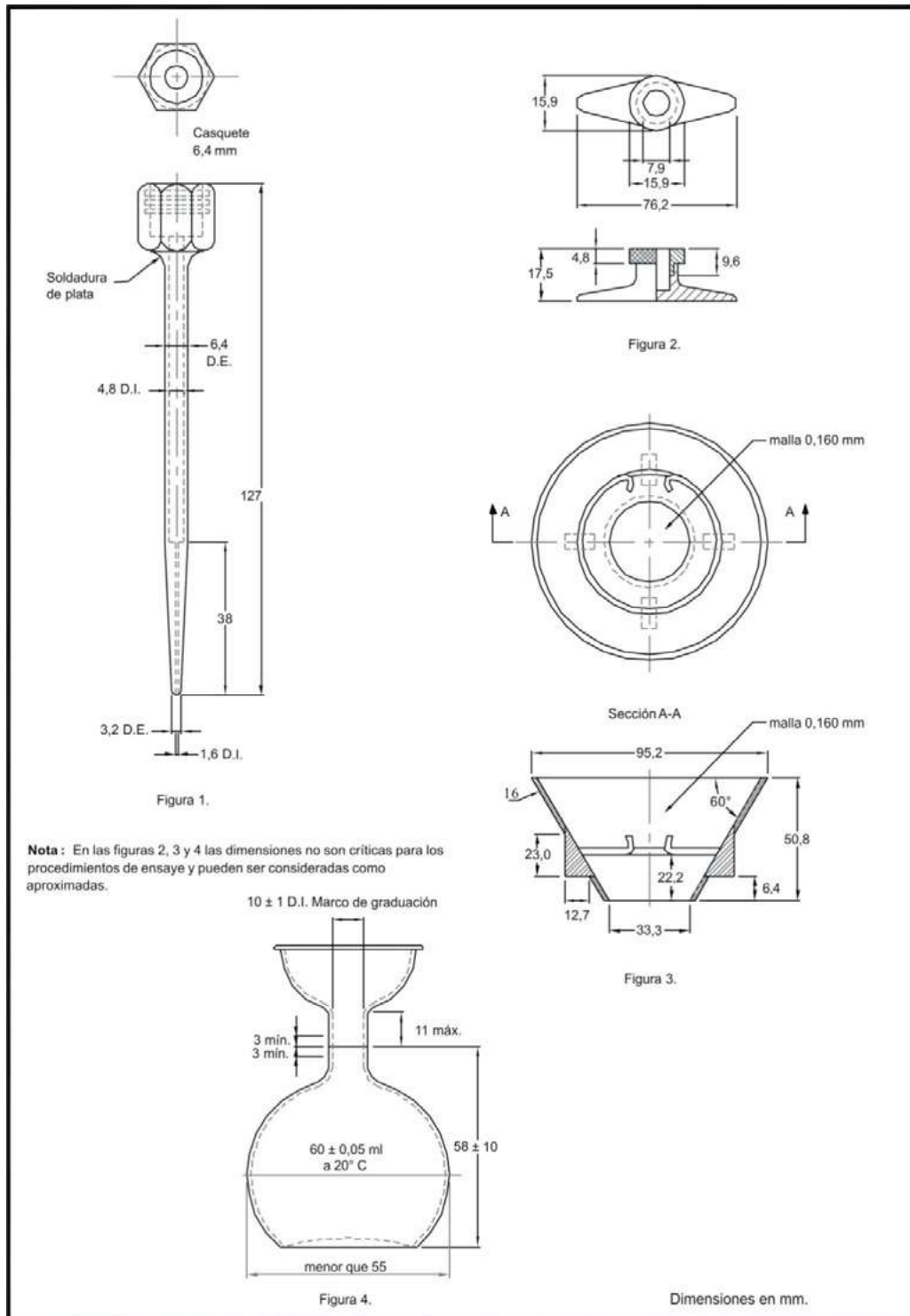


Figura 6.2_45. FIGURA1-TUBO SUCCIONADOR PARA USAR CON VISCOSÍMETRO SAYBOLT, FIGURA 2-SOPORTE DEL TERMÓMETRO, FIGURA 3-EMBUDO FILTRO PARA USAR CON VISCOSÍMETRO SAYBOLT, FIGURA 4-FRASCO RECIBIDOR

SECCION 6.2.3.14.

MÉTODO PARA CONVERTIR VISCOSIDAD CINEMÁTICA A SAYBOLT UNIVERSAL Y A SAYBOLT FUROL (ASTM D 244)

6.2.3.14.1. OBJETO

Este método entrega las tablas de conversión y ecuaciones para convertir viscosidad cinemática en centistokes (cst), a cualquier temperatura, a viscosidad Saybolt Universal en segundos Saybolt Universal (SUS), a la misma temperatura y para convertir viscosidad cinemática en centistokes a 50° C y 99° C a viscosidad Saybolt Furol en Segundos Saybolt Furol (SFS), a las mismas temperaturas. Los valores de la Viscosidad Cinemática están basados en agua que está a 1,0038 cst a 20°C.

6.2.3.14.2. PROCEDIMIENTO

A.PROCEDIMIENTO PARA CONVERSIÓN A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL

- a. Convierta viscosidad cinemática entre 1,82 y 500 cst a 38° C y entre 1,77 y 140 cst a 99° C a equivalente Saybolt Universal Segundos directamente con la **Tabla 6.2_37** (Ver Anexo, ejemplo 1).

Nota 1. Para obtener viscosidades que no están en el listado, pero están dentro del rango dado en **Tabla 6.2_37**, interpole en forma lineal. (Ver Anexo, ejemplo 2).

- b. Convierta viscosidad cinemática mayor que el límite superior de la **Tabla 6.2_37** a temperaturas de 38°C y 99°C a viscosidad Saybolt Universal como sigue (Ver Anexo, ejemplo 3):

$$\text{Saybolt Universal Segundos} = \text{Centistokes} \times B \tag{1}$$

Donde:

$$B = 4,632 \text{ a } 38^{\circ}\text{C} = 4,664 \text{ a } 99^{\circ}\text{C}$$

- c. A otras temperaturas distintas de 38°C o 99°C, convierta viscosidad cinemática a viscosidad Saybolt Universal como sigue (ver Anexo, ejemplo 4):

$$SU_{s_t} = SU_{s_{38C}} (1 + 0,00011(t - 38)) \tag{2}$$

Donde:

- SU_{s_t} : Viscosidad Saybolt Universal a t °C.
- $SU_{s_{38C}}$: Viscosidad Universal a 38°C en Saybolt Universal equivalente a Viscosidad Cinemática en centistokes a t °C, dada en la **Tabla 6.2_37**

Nota 2: La solución del paréntesis de la ecuación (2), se da como Factor A en la **Tabla 6.2_38**, para un rango de temperaturas.

- d. Luego la relación entre viscosidad Saybolt y cinemática es lineal sobre 75 cSt; la viscosidad cinemática sobre este límite puede convertirse a viscosidad Saybolt Universal a cualquier temperatura entre -18 y 177°C usando la ecuación (1) de la **Sección 6.2.3.14**, seleccionado el factor apropiado para B de la **Tabla 6.2_38** (ver Anexo, ejemplo 5).

B.PROCEDIMIENTO PARA CONVERTIR A VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL

- a. Convierta viscosidad cinemática de 48 a 1.300 cSt, ya sea a 38°C o 99°C, al equivalente Saybolt Furol Segundos, directamente de la **Tabla 6.2_39** (ver Anexo, ejemplo A1.6 y A1.7).

Nota 3: Viscosidades que no están en el listado, pero están dentro del rango dado en la **Tabla 6.2_39**, se pueden obtener por interpolación lineal (ver Anexo, ejemplo A1.8).

- b. Convierta viscosidad cinemática sobre 1.300 cSt, al equivalente Saybolt Furol Segundos, usando la ecuación siguiente (ver Anexo, ejemplo A1.8).

$$\text{Saybolt Furol Segundos a } 38^{\circ}\text{C} = 0,4171 \times \text{centistokes a } 38^{\circ}\text{C} \quad (3)$$

$$\text{Saybolt Furol Segundos a } 99^{\circ}\text{C} = 0,4782 \times \text{centistokes a } 99^{\circ}\text{C} \quad (4)$$

6.2.3.14.3. CÁLCULOS

Las **Tablas 6.2_37 y 6.2_38** fueron calculadas de datos originales de puntos experimentales por ajuste a una curva uniforme. La ecuación derivada se entrega a continuación, para la conveniencia de quienes deseen usar un computador para conversión, antes que las tablas.

$$SU_{S_{38^{\circ}\text{C}}} = 4,632v + \frac{1,0 + 0,03264v}{(3,930,2 + 262,7 + 23,97v^2 + 1,646v^3) \times 10^{-5}} \quad (5)$$

$$SU_{S_t} = SU_{S_{38^{\circ}\text{C}}} [1 + 0,00011(t - 38^{\circ}\text{C})] \quad (6)$$

$$\text{A } 50^{\circ}\text{C, Saybolt Furol} = 0,4717v + \left[\frac{13,924}{v^2 - 72,59 + 6,816} \right] \quad (7)$$

$$\text{A } 99^{\circ}\text{C, Saybolt Furol} = 0,4792v + \left[\frac{15,610}{v^2 + 2,130} \right] \quad (8)$$

Donde:

v = Viscosidad cinemática (cSt a to C)

A.CONVERSIONES EQUIVALENTES SUPLEMENTARIAS

Las unidades y equivalencias que siguen se usan frecuentemente en conjunto con la conversión de viscosidades:

Poise (P)	=	en sistema CGS, unidad de viscosidad absoluta.
Centipoise (CP)	=	0,01 poise.
Stokes (ST)	=	en sistema CGS, unidad de viscosidad cinemática.
Centistokes (CST)	=	0,01 stokes.

Centipoise (CP) = centistokes x densidad (a la temperatura en consideración).

Reyn (1 lbs/plg²) = 69 x 105 centipoises.

6.2.3.14.4. INFORME

Informe la viscosidad Saybolt Universal y Saybolt Furol, aproximando al entero para valores de 200 seg y mayores, y a 0,1 seg, para valores bajo 200 seg.

6.2.3.14.5. ANEXO 1

A.EJEMPLOS ILUSTRATIVOS PARA CONVERSION DE VISCOSIDADES

A.1. Ejemplo 1

¿Cuál es la Viscosidad Saybolt Universal equivalente a la Viscosidad Cinemática de 74,5 cSt a 38°C?

Entre a **Tabla 6.2_37** con la viscosidad cinemática de 74,5 cSt y note que a la temperatura de 38°C la equivalencia a Viscosidad Saybolt Universal es 346 SUS.

A.2. Ejemplo 2

¿Cuál es la viscosidad Saybolt Universal equivalente a una viscosidad cinemática de 24,87 a 38°C?

Entre a la **Tabla 6.2_37** con 24,85 cSt y note que la equivalencia de la viscosidad Saybolt Universal a 38°C es 118,7 SUS. Igualmente entre a la tabla con 24,90 cSt y encontrará que la equivalencia a Viscosidad Saybolt Universal a 38°C es 118,9 SUS. Un aumento de 0,05 cSt es igual a un correspondiente aumento de 0,2 SUS.; luego, por simple proporción, un aumento de 0,02 cSt de viscosidad cinemática aumenta la equivalencia viscosidad Saybolt Universal por $(0,02: 0,05) \times 0,2 = 0,08$ SUS. Por tanto la viscosidad Saybolt Universal equivalente a 24,87 cSt a 38°C es $118,7+0,08=118,78$ y redondeado, 118,8 SUS.

A.3. Ejemplo 3

¿Cuál es la viscosidad Saybolt Universal equivalente a una viscosidad cinemática de 745 cSt a 38°C?

Multiplique 745 por 4,632, el factor B a 38°C, obteniéndose 3.451 SUS.

A.4. Ejemplo 4

¿Cuál es la viscosidad Saybolt Universal equivalente a una viscosidad cinemática de 54,4 cSt a 82°C?

De la **Tabla 6.2_37** convierta la viscosidad cinemática a 82°C de 54,4 cSt a la equivalente viscosidad Saybolt Universal a 38°C, encontrándose 253 SUS. Desde la **Tabla 6.2_38** obtenga el Factor A = 1,005, para convertir a la temperatura de 82°C. Multiplique 253 SUS por 1,005 obteniendo 254 SUS.

A.5. Ejemplo 5

¿Cuál es la viscosidad Saybolt Universal equivalente a una viscosidad cinemática de 89,95 cSt a 4,4°C?

De la **Tabla 6.2_38** obtenga el Factor B para una temperatura de 4,4°C = 4,615.

Multiplique 89,95 por 4,615, obteniendo 415 SUS.

A.6.Ejemplo 6

¿Cuál es la viscosidad Saybolt Furol equivalente a una viscosidad cinemática de 231 cSt a 50°C?

Entre a la **Tabla 6.2_39** con 231 cSt y note que la viscosidad Saybolt Furol equivalente a 50°C es 109,3 SFS.

A.7.Ejemplo 7

¿Cuál es la viscosidad Saybolt Furol a 99°C equivalente a una viscosidad cinemática de 287 cSt a 99°C?

Entre a la **Tabla 6.2_39** con 287 cSt y note que la viscosidad Saybolt Furol equivalente a 99°C es 137,6 SFS.

A.8.Ejemplo 8

¿Cuál es la viscosidad Saybolt Furol equivalente a una viscosidad cinemática de 276,2 cSt a 50°C?

Entre a la tabla con 276 cSt y note que la equivalente viscosidad Saybolt Furol a 50°C es 130,4 SFS. Igualmente entre a la tabla con 277 cSt y note que la equivalente viscosidad Saybolt Furol es 130,9 SFS. Un aumento de 1,0 cSt es igual a un correspondiente aumento de 0,5 SFS. Luego por simple proporción, un aumento de 0,2 cSt aumenta la viscosidad Saybolt Furol equivalente de 276 cSt por $(0,2/1,0) \times 0,5 = 0,1$ SFS. Por lo tanto, la viscosidad Saybolt Furol a 50°C equivalente a una viscosidad cinemática de 276,2 cSt a 50°C es $(130,4 + 0,1) = 130,5$ SFS.

A.9. Ejemplo 9

¿Cuál es la viscosidad Saybolt Furol equivalente a 1.500 cSt a 50°C?

Aplicando ecuación 3: $1.500 \times 0,4717 = 707,55$ y redondeando a 708 SFS

Tabla 6.2_37. VISCOSIDAD CINEMÁTICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL

Viscos. Cinem.cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem.cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem.cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem.cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS	
	A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C
					2,25		33,5	33,7		2,75	35,1
			2,26	33,5	33,7	2,76	35,2	35,4	3,26	36,8	37,0
1,77	...	32,0	2,27	33,5	33,7	2,77	35,2	35,4	3,27	36,8	37,1
1,78	...	32,1	2,28	33,6	33,8	2,78	35,2	35,5	3,28	36,9	37,1
1,79	...	32,1	2,29	33,6	33,8	2,79	35,3	35,5	3,29	36,9	37,1
			2,30	33,6	33,8	2,80	35,3	35,5	3,30	36,9	37,2
1,81	32,0	32,2	2,31	33,7	33,9	2,81	35,3	35,6	3,31	37,0	37,2
1,82	32,0	32,2	2,32	33,7	33,9	2,82	35,4	35,6	3,32	37,0	37,2
1,83	32,0	32,2	2,33	33,7	33,9	2,83	35,4	35,6	3,33	37,0	37,3
1,84	32,1	32,3	2,34	33,8	34,0	2,84	35,4	35,7	3,34	37,1	37,3
			2,35	33,8	34,0	2,85	35,5	35,7	3,35	37,1	37,3
1,86	32,1	32,3	2,36	33,8	34,0	2,86	35,5	35,7	3,36	37,1	37,4
1,87	32,2	32,4	2,37	33,9	34,1	2,87	35,5	35,8	3,37	37,2	37,4
1,88	32,2	32,4	2,38	33,9	34,1	2,88	35,6	35,8	3,38	37,2	37,4
1,89	32,2	32,4	2,39	33,9	34,2	2,89	35,6	35,8	3,39	37,2	37,5
			2,40	34,0	34,2	2,90	35,6	35,9	3,40	37,3	37,5
1,91	32,3	32,5	2,41	34,0	34,2	2,91	35,7	35,9	3,41	37,3	37,5
1,92	32,3	32,5	2,42	34,0	34,3	2,92	35,7	35,9	3,42	37,3	37,6
1,93	32,4	32,6	2,43	34,1	34,3	2,93	35,7	36,0	3,43	37,4	37,6
1,94	32,4	32,6	2,44	34,1	34,3	2,94	35,8	36,0	3,44	37,4	37,6
			2,45	34,1	34,4	2,95	35,8	36,0	3,45	37,4	37,7
1,96	32,5	32,7	2,46	34,2	34,4	2,96	35,8	36,1	3,46	37,5	37,7
1,97	32,5	32,7	2,47	34,2	34,4	2,97	35,9	36,1	3,47	37,5	37,7
1,98	32,5	32,8	2,48	34,2	34,5	2,98	35,9	36,1	3,48	37,5	37,8
1,99	32,6	32,8	2,49	34,3	34,5	2,99	35,9	36,2	3,49	37,6	37,8
			2,50	34,3	34,5	3,00	36,0	36,2	3,50	37,6	37,8
2,01	32,6	32,9	2,51	34,3	34,6	3,01	36,0	36,2	3,51	37,6	37,9
2,02	32,7	32,9	2,52	34,4	34,6	3,02	36,0	36,3	3,52	37,6	37,9
2,03	32,7	32,9	2,53	34,4	34,6	3,03	36,0	36,3	3,53	37,7	37,9
2,04	32,7	33,0	2,54	34,4	34,7	3,04	36,1	36,3	3,54	37,7	38,0
			2,55	34,5	34,7	3,05	36,1	36,4	3,55	37,7	38,0
2,06	32,8	33,0	2,56	34,5	34,7	3,06	36,1	36,4	3,56	37,8	38,0
2,07	32,8	33,1	2,57	34,5	34,8	3,07	36,2	36,4	3,57	37,8	38,1
2,08	32,9	33,1	2,58	34,6	34,8	3,08	36,2	36,5	3,58	37,8	38,1
2,09	32,9	33,1	2,59	34,6	34,8	3,09	36,2	36,5	3,59	37,9	38,1
			2,6	34,6	34,9	3,10	36,3	36,5	3,60	37,9	38,2
2,11	33,0	33,2	2,61	34,7	34,9	3,11	36,3	36,6	3,61	37,9	38,2
2,12	33	33,2	2,62	34,7	34,9	3,12	36,3	36,6	3,62	38,0	38,2
2,13	33,0	33,3	2,63	34,7	35,0	3,13	36,4	36,6	3,63	38,0	38,3
2,14	33,1	33,3	2,64	34,8	35,0	3,14	36,4	36,7	3,64	38,0	38,3
			2,65	34,8	35,0	3,15	36,4	36,7	3,65	38,1	38,3
2,16	33,1	33,4	2,66	34,8	35,1	3,16	36,5	36,7	3,66	38,1	38,4
2,17	33,2	33,4	2,67	34,9	35,1	3,17	36,5	36,8	3,67	38,1	38,4
2,18	33,2	33,4	2,68	34,9	35,1	3,18	36,5	36,8	3,68	38,2	38,4
2,19	33,2	33,5	2,69	34,9	35,2	3,19	36,6	36,8	3,69	38,2	38,5
			2,70	35	35,2	3,20	36,6	36,9	3,70	38,2	38,5
2,21	33,3	33,5	2,71	35	35,2	3,21	36,6	36,9	3,71	38,3	38,5
2,22	33,3	33,6	2,72	35	35,3	3,22	36,7	36,9	3,72	38,3	38,6
2,23	33,4	33,6	2,73	35,1	35,3	3,23	36,7	37,0	3,73	38,3	38,6
2,24	33,4	33,6	2,74	35,1	35,3	3,24	36,7	37,0	3,74	38,4	38,6

(CONT.) VISCOSIDAD CINEMÁTICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL

Viscos. Cinem.cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem.cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem.cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem.cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS	
	A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C
3,75	38,4	38,7	4,25	40	40,3	4,75	41,6	41,9	5,25	43,2	43,5
3,76	38,4	38,7	4,26	40	40,3	4,76	41,6	41,9	5,26	43,2	43,5
3,77	38,5	38,7	4,27	40,1	40,3	4,77	41,7	41,9	5,27	43,3	43,5
3,78	38,5	38,7	4,28	40,1	40,4	4,78	41,7	42	5,28	43,3	43,6
3,79	38,5	38,8	4,29	40,1	40,4	4,79	41,7	42	5,29	43,3	43,6
3,8	38,6	38,8	4,3	40,2	40,4	4,8	41,8	42	5,3	43,3	43,6
3,81	38,6	38,8	4,31	40,2	40,5	4,81	41,8	42,1	5,31	43,4	43,7
3,82	38,6	38,9	4,32	40,2	40,5	4,82	41,8	42,1	5,32	43,4	43,7
3,83	38,7	38,9	4,33	40,3	40,5	4,83	41,9	42,1	5,33	43,4	43,7
3,84	38,7	38,9	4,34	40,3	40,6	4,84	41,9	42,2	5,34	43,5	43,8
3,85	38,7	39	4,35	40,3	40,6	4,85	41,9	42,2	5,35	43,5	43,8
3,86	38,7	39	4,36	40,4	40,6	4,86	41,9	42,2	5,36	43,5	43,8
3,87	38,8	39	4,37	40,4	40,7	4,87	42	42,3	5,37	43,6	43,9
3,88	38,8	39,1	4,38	40,4	40,7	4,88	42	42,3	5,38	43,6	43,9
3,89	38,8	39,1	4,39	40,4	40,7	4,89	42	42,3	5,39	43,6	43,9
3,9	38,9	39,1	4,4	40,5	40,8	4,9	42,1	42,4	5,4	43,7	44
3,91	38,9	39,2	4,41	40,5	40,8	4,91	42,1	42,4	5,41	43,7	44
3,92	38,9	39,2	4,42	40,5	40,8	4,92	42,1	42,4	5,42	43,7	44
3,93	39	39,2	4,43	40,6	40,8	4,93	42,2	42,5	5,43	43,8	44,1
3,94	39	39,3	4,44	40,6	40,9	4,94	42,2	42,5	5,44	43,8	44,1
3,95	39	39,3	4,45	40,6	40,9	4,95	42,2	42,5	5,45	43,8	44,1
3,96	39,1	39,3	4,46	40,7	40,9	4,96	42,3	42,5	5,46	43,9	44,2
3,97	39,1	39,4	4,47	40,7	41	4,97	42,3	42,6	5,47	43,9	44,2
3,98	39,1	39,4	4,48	40,7	41	4,98	42,3	42,6	5,48	43,9	44,2
3,99	39,2	39,4	4,49	40,8	41	4,99	42,4	42,6	5,49	44	44,2
4	39,2	39,5	4,5	40,8	41,1	5	42,4	42,7	5,5	44	44,3
4,01	39,2	39,5	4,51	40,8	41,1	5,01	42,4	42,7	5,51	44	44,3
4,02	39,3	39,5	4,52	40,9	41,1	5,02	42,5	42,7	5,52	44	44,3
4,03	39,3	39,6	4,53	40,9	41,2	5,03	42,5	42,8	5,53	44,1	44,4
4,04	39,3	39,6	4,54	40,9	41,2	5,04	42,5	42,8	5,54	44,1	44,4
4,05	39,4	39,6	4,55	41	41,2	5,05	42,6	42,8	5,55	44,1	44,4
4,06	39,4	39,7	4,56	41	41,3	5,06	42,6	42,9	5,56	44,2	44,5
4,07	39,4	39,7	4,57	41	41,3	5,07	42,6	42,9	5,57	44,2	44,5
4,08	39,5	39,7	4,58	41,1	41,3	5,08	42,6	42,9	5,58	44,2	44,5
4,09	39,5	39,8	4,59	41,1	41,4	5,09	42,7	43	5,59	44,3	44,6
4,1	39,5	39,8	4,6	41,1	41,4	5,1	42,7	43	5,6	44,3	44,6
4,11	39,6	39,8	4,61	41,2	41,4	5,11	42,7	43	5,61	44,3	44,6
4,12	39,6	39,8	4,62	41,2	41,5	5,12	42,8	43,1	5,62	44,4	44,7
4,13	39,6	39,9	4,63	41,2	41,5	5,13	42,8	43,1	5,63	44,4	44,7
4,14	39,6	39,9	4,64	41,2	41,5	5,14	42,8	43,1	5,64	44,4	44,7
4,15	39,7	39,9	4,65	41,3	41,6	5,15	42,9	43,2	5,65	44,5	44,8
4,16	39,7	40	4,66	41,3	41,6	5,16	42,9	43,2	5,66	44,5	44,8
4,17	39,7	40	4,67	41,3	41,6	5,17	42,9	43,2	5,67	44,5	44,8
4,18	39,8	40	4,68	41,4	41,7	5,18	43	43,3	5,68	44,6	44,9
4,19	39,8	40,1	4,69	41,4	41,7	5,19	43	43,3	5,69	44,6	44,9
4,2	39,8	40,1	4,7	41,4	41,7	5,2	43	43,3	5,7	44,6	44,9
4,21	39,9	40,1	4,71	41,5	41,7	5,21	43,1	43,3	5,71	44,7	45
4,22	39,9	40,2	4,72	41,5	41,8	5,22	43,1	43,4	5,72	44,7	45
4,23	39,9	40,2	4,73	41,5	41,8	5,23	43,1	43,4	5,73	44,7	45
4,24	40	40,2	4,74	41,6	41,8	5,24	43,2	43,4	5,74	44,7	45

(CONT.) VISCOSIDAD CINEMÁTICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL

Viscos Cinem cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos Cinem cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos Cinem cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos Cinem cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS	
	A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C
5,75	44,8	45,1	6,25	46,4	46,7	6,75	48	48,3	7,25	49,6	49,9
5,76	44,8	45,1	6,26	46,4	46,7	6,76	48	48,3	7,26	49,6	50
5,77	44,8	45,1	6,27	46,4	46,8	6,77	48	48,4	7,27	49,7	50
5,78	44,9	45,2	6,28	46,5	46,8	6,78	48,1	48,4	7,28	49,7	50
5,79	44,9	45,2	6,29	46,5	46,8	6,79	48,1	48,4	7,29	49,7	50,1
5,8	44,9	45,2	6,3	46,5	46,8	6,8	48,1	48,5	7,3	49,8	50,1
5,81	45	45,3	6,31	46,6	46,9	6,81	48,2	48,5	7,31	49,8	50,1
5,82	45	45,3	6,32	46,6	46,9	6,82	48,2	48,5	7,32	49,8	50,2
5,83	45	45,3	6,33	46,6	46,9	6,83	48,2	48,6	7,33	49,9	50,2
5,84	45,1	45,4	6,34	46,7	47	6,84	48,3	48,6	7,34	49,9	50,2
5,85	45,1	45,4	6,35	46,7	47	6,85	48,3	48,6	7,35	49,9	50,3
5,86	45,1	45,4	6,36	46,7	47	6,86	48,3	48,7	7,36	50	50,3
5,87	45,2	45,5	6,37	46,8	47,1	6,87	48,4	48,7	7,37	50	50,3
5,88	45,2	45,5	6,38	46,8	47,1	6,88	48,4	48,7	7,38	50	50,4
5,89	45,2	45,5	6,39	46,8	47,1	6,89	48,4	48,8	7,39	50,1	50,4
5,9	45,3	45,6	6,4	46,9	47,2	6,9	48,5	48,8	7,4	50,1	50,4
5,91	45,3	45,6	6,41	46,9	47,2	6,91	48,5	48,8	7,41	50,1	50,5
5,92	45,3	45,6	6,42	46,9	47,2	6,92	48,5	48,9	7,42	50,2	50,5
5,93	45,4	45,7	6,43	47	47,3	6,93	48,6	48,9	7,43	50,2	50,5
5,94	45,4	45,7	6,44	47	47,3	6,94	48,6	48,9	7,44	50,2	50,6
5,95	45,4	45,7	6,45	47	47,3	6,95	48,6	49	7,45	50,3	50,6
5,96	45,4	45,8	6,46	47	47,4	6,96	48,7	49	7,46	50,3	50,6
5,97	45,5	45,8	6,47	47,1	47,4	6,97	48,7	49	7,47	50,3	50,7
5,98	45,5	45,8	6,48	47,1	47,4	6,98	48,7	49,1	7,48	50,3	50,7
5,99	45,5	45,9	6,49	47,1	47,5	6,99	48,8	49,1	7,49	50,4	50,7
6	45,6	45,9	6,5	47,2	47,5	7	48,8	49,1	7,5	50,4	50,8
6,01	45,6	45,9	6,51	47,2	47,5	7,01	48,8	49,1	7,51	50,4	50,8
6,02	45,6	45,9	6,52	47,2	47,6	7,02	48,9	49,2	7,52	50,5	50,8
6,03	45,7	46	6,53	47,3	47,6	7,03	48,9	49,2	7,53	50,5	50,9
6,04	45,7	46	6,54	47,3	47,6	7,04	48,9	49,2	7,54	50,5	50,9
6,05	45,7	46	6,55	47,3	47,7	7,05	49	49,3	7,55	50,6	50,9
6,06	45,8	46,1	6,56	47,4	47,7	7,06	49	49,3	7,56	50,6	51
6,07	45,8	46,1	6,57	47,4	47,7	7,07	49	49,3	7,57	50,6	51
6,08	45,8	46,1	6,58	47,4	47,8	7,08	49	49,4	7,58	50,7	51
6,09	45,9	46,2	6,59	47,5	47,8	7,09	49,1	49,4	7,59	50,7	51
6,1	45,9	46,2	6,6	47,5	47,8	7,1	49,1	49,4	7,6	50,7	51,1
6,11	45,9	46,2	6,61	47,5	47,8	7,11	49,1	49,5	7,61	50,8	51,1
6,12	46	46,3	6,62	47,6	47,9	7,12	49,2	49,5	7,62	50,8	51,1
6,13	46	46,3	6,63	47,6	47,9	7,13	49,2	49,5	7,63	50,8	51,2
6,14	46	46,3	6,64	47,6	47,9	7,14	49,2	49,6	7,64	50,9	51,2
6,15	46,1	46,4	6,65	47,7	48	7,15	49,3	49,6	7,65	50,9	51,2
6,16	46,1	46,4	6,66	47,7	48	7,16	49,3	49,6	7,66	50,9	51,3
6,17	46,1	46,4	6,67	47,7	48	7,17	49,3	49,7	7,67	51	51,3
6,18	46,2	46,5	6,68	47,8	48,1	7,18	49,4	49,7	7,68	51	51,3
6,19	46,2	46,5	6,68	47,8	48,1	7,19	49,4	49,7	7,69	51	51,4
6,2	46,2	46,5	6,7	47,8	48,1	7,2	49,4	49,8	7,7	51,1	51,4
6,21	46,2	46,6	6,71	47,9	48,2	7,21	49,5	49,8	7,71	51,1	51,4
6,22	46,3	46,6	6,72	47,9	48,2	7,22	49,5	49,8	7,72	51,1	51,5
6,23	46,3	46,6	6,73	47,9	48,2	7,23	49,5	49,9	7,73	51,2	51,5
6,24	46,3	46,7	6,74	47,9	48,3	7,24	49,6	49,9	7,74	51,2	51,5

(CONT.) VISCOSIDAD CINEMÁTICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL

Viscos Cinem cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos Cinem cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos Cinem cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos Cinem cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS	
	A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C
7,75	51,2	51,6	8,25	52,9	53,2	8,75	54,6	54,9	9,25	56,3	56,6
7,76	51,3	51,6	8,26	52,9	53,3	8,76	54,6	55	9,26	56,3	56,7
7,77	51,3	51,6	8,27	53	53,3	8,77	54,6	55	9,27	56,3	56,7
7,78	51,3	51,7	8,28	53	53,3	8,78	54,7	55	9,28	56,4	56,7
7,79	51,4	51,7	8,29	53	53,4	8,79	54,7	55,1	9,29	56,4	56,8
7,8	51,4	51,7	8,3	53,1	53,4	8,8	54,7	55,1	9,3	56,4	56,8
7,81	51,4	51,8	8,31	53,1	53,4	8,81	54,8	55,1	9,31	56,5	56,8
7,82	51,5	51,8	8,32	53,1	53,5	8,82	54,8	55,2	9,32	56,5	56,9
7,83	51,5	51,8	8,33	53,2	53,5	8,83	54,8	55,2	9,33	56,5	56,9
7,84	51,5	51,9	8,34	53,2	53,5	8,84	54,9	55,2	9,34	56,6	56,9
7,85	51,6	51,9	8,35	53,2	53,6	8,85	54,9	55,3	9,35	56,6	57
7,86	51,6	51,9	8,36	53,3	53,6	8,86	54,9	55,3	9,36	56,6	57
7,87	51,6	52	8,37	53,3	53,6	8,87	55	55,3	9,37	56,7	57
7,88	51,7	52	8,38	53,3	53,7	8,88	55	55,4	9,38	56,7	57,1
7,89	51,7	52	8,39	53,4	53,7	8,89	55	55,4	9,39	56,7	57,1
7,9	51,7	52,1	8,4	53,4	53,7	8,9	55,1	55,4	9,4	56,8	57,1
7,91	51,8	52,1	8,41	53,4	53,8	8,91	55,1	55,5	9,41	56,8	57,2
7,92	51,8	52,1	8,42	53,5	53,8	8,92	55,1	55,5	9,42	56,8	57,2
7,93	51,8	52,2	8,43	53,5	53,8	8,93	55,2	55,5	9,43	56,9	57,2
7,94	51,9	52,2	8,44	53,5	53,9	8,94	55,2	55,6	9,44	56,9	57,3
7,95	51,9	52,2	8,45	53,6	53,9	8,95	55,2	55,6	9,45	56,9	57,3
7,96	51,9	52,3	8,46	53,6	53,9	8,96	55,3	55,6	9,46	57	57,4
7,97	52	52,3	8,47	53,6	54	8,97	55,3	55,7	9,47	57	57,4
7,98	52	52,3	8,48	53,7	54	8,98	55,3	55,7	9,48	57	57,4
7,99	52	52,4	8,49	53,7	54	8,99	55,4	55,7	9,49	57,1	57,5
8	52,1	52,4	8,5	53,7	54,1	9	55,4	55,8	9,5	57,1	57,5
8,01	52,1	52,4	8,51	53,8	54,1	9,01	55,4	55,8	9,52	57,2	57,6
8,02	52,1	52,5	8,52	53,8	54,1	9,02	55,5	55,8	9,54	57,2	57,6
8,03	52,2	52,5	8,53	53,8	54,2	9,03	55,5	55,9	9,56	57,3	57,7
8,04	52,2	52,5	8,54	53,9	54,2	9,04	55,5	55,9	9,58	57,4	57,8
8,05	52,2	52,6	8,55	53,9	54,2	9,05	55,6	55,9	9,6	57,5	57,8
8,06	52,3	52,6	8,56	53,9	54,3	9,06	55,6	56	9,62	57,5	57,9
8,07	52,3	52,6	8,57	54	54,3	9,07	55,6	56	9,64	57,6	58
8,08	52,3	52,7	8,58	54	54,3	9,08	55,7	56	9,66	57,7	58
8,09	52,4	52,7	8,59	54	54,4	9,09	55,7	56,1	9,68	57,7	58,1
8,1	52,4	52,7	8,6	54,1	54,4	9,1	55,7	56,1	9,7	57,8	58,2
8,11	52,4	52,8	8,61	54,1	54,5	9,11	55,8	56,1	9,72	57,9	58,3
8,12	52,5	52,8	8,62	54,1	54,5	9,12	55,8	56,2	9,74	57,9	58,3
8,13	52,5	52,8	8,63	54,2	54,5	9,13	55,8	56,2	9,76	58	58,4
8,14	52,5	52,9	8,64	54,2	54,6	9,14	55,9	56,3	9,78	58,1	58,5
8,15	52,6	52,9	8,65	54,2	54,6	9,15	55,9	56,3	9,8	58,1	58,5
8,16	52,6	52,9	8,66	54,3	54,6	9,16	55,9	56,3	9,82	58,2	58,6
8,17	52,6	53	8,67	54,3	54,7	9,17	56	56,4	9,84	58,3	58,7
8,18	52,7	53	8,68	54,3	54,7	9,18	56	56,4	9,86	58,4	58,7
8,19	52,7	53	8,69	54,4	54,7	9,19	56	56,4	9,88	58,4	58,8
8,2	52,7	53,1	8,7	54,4	54,8	9,2	56,1	56,5	9,9	58,5	58,9
8,21	52,8	53,1	8,71	54,4	54,8	9,21	56,1	56,5	9,92	58,6	59
8,22	52,8	53,1	8,72	54,5	54,8	9,22	56,2	56,5	9,94	58,6	59
8,23	52,8	53,2	8,73	54,5	54,9	9,23	56,2	56,6	9,96	58,7	59,1
8,24	52,9	53,2	8,74	54,5	54,9	9,24	56,2	56,6	9,98	58,8	59,2

(CONT.) VISCOSIDAD CINEMÁTICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS	
	A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C
10	58,8	59,2	11	62,4	62,8	12	66	66,4	13	69,7	70,2
10,02	58,9	59,3	11,02	62,4	62,9	12,02	66,1	66,5	13,02	69,8	70,3
10,04	59	59,4	11,04	62,5	62,9	12,04	66,1	66,6	13,04	69,9	70,3
10,06	59	59,4	11,06	62,6	63	12,06	66,2	66,7	13,06	69,9	70,4
10,08	59,1	59,5	11,08	62,7	63,1	12,08	66,3	66,7	13,08	70	70,5
10,1	59,2	59,6	11,1	62,7	63,1	12,1	66,4	66,8	13,1	70,1	70,6
10,12	59,3	59,7	11,12	62,8	63,2	12,12	66,4	66,9	13,12	70,2	70,6
10,14	59,3	59,7	11,14	62,9	63,3	12,14	66,5	67	13,14	70,2	70,7
10,16	59,4	59,8	11,16	62,9	63,4	12,16	66,6	67	13,16	70,3	70,8
10,18	59,5	59,9	11,18	63	63,4	12,18	66,7	67,1	13,18	70,4	70,9
10,2	59,5	59,9	11,2	63,1	63,5	12,2	66,7	67,2	13,2	70,5	70,9
10,22	59,6	60	11,22	63,2	63,6	12,22	66,8	67,2	13,22	70,5	71
10,24	59,7	60,1	11,24	63,2	63,7	12,24	66,9	67,8	13,24	70,6	71,1
10,26	59,7	60,1	11,26	63,3	63,7	12,26	66,9	67,4	13,26	70,7	71,2
10,28	59,8	60,2	11,28	63,4	63,8	12,28	67	67,5	13,28	70,8	71,2
10,3	59,9	60,3	11,3	63,4	63,9	12,3	67,1	67,5	13,3	70,8	71,3
10,32	60	60,4	11,32	63,5	63,9	12,32	67,2	67,6	13,32	70,9	71,4
10,34	60	60,4	11,34	63,6	64	12,34	67,2	67,7	13,34	71	71,5
10,36	60,1	60,5	11,36	63,7	64,1	12,36	67,3	67,8	13,36	71,1	71,5
10,38	60,2	60,6	11,38	63,7	64,2	12,38	67,4	67,8	13,38	71,1	71,6
10,4	60,2	60,6	11,4	63,8	64,2	12,4	67,5	67,9	13,4	71,2	71,7
10,42	60,3	60,7	11,42	63,9	64,3	12,42	67,5	68	13,42	71,3	71,8
10,44	60,4	60,8	11,44	63,9	64,4	12,44	67,6	68,1	13,44	71,4	71,9
10,46	60,4	60,9	11,46	64	64,5	12,46	67,7	68,1	13,46	71,4	71,9
10,48	60,5	60,9	11,48	64,1	64,5	12,48	67,8	68,2	13,48	71,5	72
10,5	60,6	61	11,5	64,2	64,6	12,5	67,8	68,3	13,5	71,6	72,1
10,52	60,7	61,1	11,52	64,2	64,7	12,52	67,9	68,4	13,52	71,7	72,2
10,54	60,7	61,1	11,54	64,3	64,7	12,54	68	68,4	13,54	71,8	72,2
10,56	60,8	61,2	11,56	64,4	64,8	12,56	68,1	68,5	13,56	71,8	72,3
10,58	60,9	61,3	11,58	64,5	64,9	12,58	68,1	68,6	13,58	71,9	72,4
10,6	60,9	61,4	11,6	64,5	65	12,6	68,2	68,7	13,6	72	72,5
10,62	61	61,4	11,62	64,6	65	12,62	68,3	68,7	13,62	72,1	72,5
10,64	61,1	61,5	11,64	64,7	65,1	12,64	68,4	68,8	13,64	72,1	72,6
10,66	61,2	61,6	11,66	64,7	65,2	12,66	68,4	68,9	13,66	72,2	72,7
10,68	61,2	61,6	11,68	64,8	65,3	12,68	68,4	69	13,68	72,3	72,8
10,7	61,3	61,7	11,7	64,9	65,3	12,7	68,6	69	13,7	72,4	72,8
10,72	61,4	61,8	11,72	65	65,4	12,72	68,7	69,1	13,72	72,4	72,9
10,74	61,4	61,9	11,74	65	65,5	12,74	68,7	69,2	13,74	72,5	73
10,76	61,5	61,9	11,76	65,1	65,5	12,76	68,8	69,3	13,76	72,6	73,1
10,78	61,6	62	11,78	65,2	65,6	12,78	68,9	69,3	13,78	72,7	73,2
10,8	61,7	62,1	11,8	65,3	65,7	12,8	69	69,4	13,8	72,7	73,2
10,82	61,7	62,1	11,82	65,3	65,8	12,82	69	69,5	13,82	72,8	73,3
10,84	61,8	62,2	11,84	65,4	65,8	12,84	69,1	69,6	13,84	72,9	73,4
10,86	61,9	62,3	11,86	65,5	65,9	12,86	69,2	69,6	13,86	73	73,5
10,88	61,9	62,4	11,88	65,6	66	12,88	69,3	69,7	13,88	73,1	73,5
10,9	62	62,4	11,9	65,6	66,1	12,9	69,3	69,8	13,9	73,1	73,6
10,92	62,1	62,5	11,92	65,7	66,1	12,92	69,4	69,9	13,92	73,2	73,7
10,94	62,2	62,6	11,94	65,8	66,2	12,94	69,5	69,9	13,94	73,3	73,8
10,96	62,2	62,6	11,96	65,8	66,3	12,96	69,6	70	13,96	73,4	73,9
10,98	62,3	62,7	11,98	65,9	66,4	12,98	69,6	70,1	13,98	73,4	73,9

(CONT.) VISCOSIDAD CINEMÁTICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS	
	A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C
14	73,5	74	15	77,4	77,9	16	81,4	81,9	17	85,4	86
14,02	73,6	74,1	15,02	77,5	78	16,02	81,4	82	17,02	85,5	86
14,04	73,7	74,2	15,04	77,6	78,1	16,04	81,5	82,1	17,04	85,6	86,1
14,06	73,7	74,2	15,06	77,6	78,2	16,06	81,6	82,2	17,06	85,6	86,2
14,08	73,8	74,3	15,08	77,7	78,2	16,08	81,7	82,2	17,08	85,7	86,3
14,1	73,9	74,4	15,1	78,3	78,3	16,1	81,8	82,3	17,1	85,8	86,4
14,12	74	74,5	15,12	78,4	78,4	16,12	81,8	82,4	17,12	85,9	86,5
14,14	74,1	74,6	15,14	78,5	78,5	16,14	81,9	82,5	17,14	86	86,5
14,16	74,1	74,6	15,16	78,6	78,6	16,16	82	82,6	17,16	86	86,6
14,18	74,2	74,7	15,18	78,6	78,6	16,18	82,1	82,6	17,18	86,1	86,7
14,2	74,3	74,8	15,2	78,7	78,7	16,2	82,2	82,7	17,2	86,2	86,8
14,22	74,4	74,9	15,22	78,8	78,8	16,22	82,2	82,8	17,22	86,3	86,9
14,24	74,4	74,9	15,24	78,9	78,9	16,24	82,3	82,9	17,24	86,4	86,9
14,26	74,5	75	15,26	79	79	16,26	82,4	83	17,26	86,5	87
14,28	74,6	75,1	15,28	79	79	16,28	82,5	83	17,28	86,5	87,1
14,3	74,7	75,2	15,3	79,1	79,1	16,3	82,6	83,1	17,3	86,6	87,2
14,32	74,7	75,3	15,32	79,2	79,2	16,32	82,6	83,2	17,32	86,7	87,3
14,34	74,8	75,3	15,34	79,3	79,3	16,34	82,7	83,3	17,34	86,8	87,4
14,36	74,9	75,4	15,36	79,3	79,3	16,36	82,8	83,4	17,36	86,9	87,4
14,38	75	75,5	15,38	79,4	79,4	16,38	82,9	83,4	17,38	86,9	87,5
14,4	75,1	75,6	15,4	79,5	79,5	16,4	83	83,5	17,4	87	87,2
14,42	75,1	75,6	15,42	79,6	79,6	16,42	83	83,6	17,42	87,1	87,3
14,44	75,2	75,7	15,44	79,7	79,7	16,44	83,1	83,7	17,44	87,2	87,4
14,46	75,3	75,8	15,46	79,7	79,7	16,46	83,2	83,8	17,46	87,3	87,4
14,48	75,4	75,9	15,48	79,8	79,8	16,48	83,3	83,8	17,48	87,3	87,5
14,5	75,4	76	15,5	79,9	79,9	16,5	83,4	83,9	17,5	87,4	87,6
14,52	75,5	76	15,52	80	80	16,52	83,5	84	17,52	87,5	87,7
14,54	75,6	76,1	15,54	80,1	80,1	16,54	83,5	84,1	17,54	87,6	87,8
14,56	75,7	76,2	15,56	80,1	80,1	16,56	83,6	84,2	17,56	87,7	87,9
14,58	75,8	76,3	15,58	80,2	80,2	16,58	83,7	84,3	17,58	87,8	87,9
14,6	75,8	76,3	15,6	80,3	80,3	16,6	83,8	84,3	17,6	87,8	88
14,62	75,9	76,4	15,62	80,4	80,4	16,62	83,9	84,4	17,62	87,9	88,1
14,64	76	76,5	15,64	80,5	80,5	16,64	83,9	84,5	17,64	88	88,2
14,66	76,1	76,6	15,66	80,5	80,5	16,66	84	84,6	17,66	88,1	88,3
14,68	76,1	76,7	15,68	80,6	80,6	16,68	84,1	84,7	17,68	88,2	88,3
14,7	76,2	76,7	15,7	80,7	80,7	16,7	84,2	84,7	17,7	88,3	88,4
14,72	76,3	76,8	15,72	80,8	80,8	16,72	84,3	84,8	17,72	88,3	88,5
14,74	76,4	76,9	15,74	80,9	80	16,74	84,3	84,9	17,74	88,4	88,6
14,76	76,5	77	15,76	80,9	80,9	16,76	84,4	85	17,76	88,5	88,7
14,78	76,5	77,1	15,78	81	81	16,78	84,5	85,1	17,78	88,6	88,8
14,8	76,6	77,1	15,8	81,1	81,1	16,8	84,6	85,1	17,8	88,7	88,8
14,82	76,7	77,2	15,82	81,2	81,2	16,82	84,7	85,2	17,82	88,7	88,9
14,84	76,8	77,3	15,84	81,3	81,3	16,84	84,7	85,3	17,84	88,8	89
14,86	76,9	77,4	15,86	81,3	81,3	16,86	84,8	85,4	17,86	88,9	89,1
14,88	76,9	77,4	15,88	81,4	81,4	16,88	84,9	85,5	17,88	89	89,2
14,9	77	77,5	15,9	81,5	81,5	16,9	85	85,6	17,9	89,1	89,3
14,92	77,1	77,6	15,92	81,6	81,6	16,92	85,1	85,6	17,92	89,2	89,3
14,94	77,2	77,7	15,94	81,7	81,7	16,94	85,1	85,7	17,94	89,2	89,4
14,96	77,2	77,8	15,96	81,7	81,7	16,96	85,2	85,8	17,96	89,3	89,5
14,98	77,3	77,3	15,98	81,8	81,8	16,98	85,3	85,9	17,98	89,4	89,6

(CONT.) VISCOSIDAD CINEMÁTICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS	
	A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C
18	89,5	90,1	19	93,6	94,3	20	97,8	98,5	22,5	108,5	109,2
18,02	89,6	90,2	19,02	93,7	94,3	20,05	98	98,7	22,55	108,7	109,4
18,04	89,6	92	19,04	93,8	94,4	20,1	98,2	98,9	22,6	108,9	109,6
18,06	89,7	90,3	19,06	93,9	94,5	20,15	98,5	98,1	22,65	109,1	109,9
18,08	89,8	90,4	19,08	94	94,6	20,2	98,7	99,3	22,7	109,4	110,1
18,1	89,9	90,5	19,1	94	94,7	20,25	98,9	99,5	22,75	109,6	110,3
18,12	90	90,6	19,12	94,1	94,8	20,3	99,1	99,8	22,8	109,8	110,5
18,14	90,1	90,7	19,14	94,2	94,8	20,35	99,3	100	22,85	110	110,7
18,16	90,1	90,7	19,16	94,3	94,9	20,4	99,5	100,2	22,9	110,2	111
18,18	90,2	90,8	19,18	94,4	95	20,45	99,7	100,4	22,95	110,4	111,2
18,2	90,3	90,9	19,2	94,5	95,1	20,5	99,9	100,6	23	110,6	111,4
18,22	90,4	91	19,22	94,5	95,2	20,55	100,1	100,8	23,05	110,9	111,6
18,24	90,5	91,1	19,24	94,6	95,3	20,6	100,4	101	23,1	111,1	111,8
18,26	90,6	91,2	19,26	94,7	95,4	20,65	100,6	101,2	23,15	111,3	112
18,28	90,6	91,2	19,28	94,8	95,4	20,7	100,8	101,5	23,2	111,5	112,3
18,3	90,7	91,3	19,3	94,9	95,5	20,75	101	101,7	23,25	111,7	112,5
18,32	90,8	91,4	19,32	95	95,6	20,8	101,2	101,9	23,3	111,9	112,7
18,34	90,9	91,5	19,34	95	95,7	20,85	101,4	102,1	23,35	112,2	112,9
18,36	91	91,6	19,36	95,1	95,8	20,9	101,6	102,3	23,4	112,4	113,1
18,38	91,1	91,7	19,38	95,2	95,9	20,95	101,8	102,5	23,45	112,6	113,4
18,4	91,1	91,7	19,4	95,3	95,9	21	102,1	102,7	23,5	112,8	113,6
18,42	91,2	91,8	19,42	95,4	96	21,05	102,3	103	23,55	113	113,8
18,44	91,3	91,9	19,44	95,5	96,1	21,1	102,5	103,2	23,6	113,2	114
18,46	91,4	92	19,46	95,6	96,2	21,15	102,7	103,4	23,65	113,5	114,2
18,48	91,5	92,1	19,48	95,6	96,3	21,2	102,9	103,6	23,7	113,7	114,4
18,5	91,5	92,2	19,5	95,7	96,4	21,25	103,1	103,8	23,75	113,9	114,7
18,52	91,6	92,2	19,52	95,8	96,4	21,3	103,3	104	22,8	114,1	114,9
18,54	91,7	92,3	19,54	95,9	96,5	21,35	103,6	104,2	23,85	114,3	115,1
18,56	91,8	92,4	19,56	96	96,6	21,4	103,8	104,5	23,9	114,6	115,3
18,58	91,9	92,5	19,58	96,1	96,7	21,45	104	104,7	23,95	114,8	115,5
18,6	92	92,6	19,6	96,1	96,8	21,5	104,2	104,9	24	115	115,8
18,62	92	92,7	19,62	96,2	96,9	21,55	104,4	105,1	24,05	115,2	116
18,64	92,1	92,7	19,64	96,3	97	21,6	104,6	105,3	24,1	115,4	116,2
18,66	92,2	92,8	19,66	96,4	97	21,65	104,8	105,5	24,15	115,6	116,4
18,68	92,3	92,9	19,68	96,5	97,1	21,7	105	105,8	24,2	115,9	116,6
18,7	92,4	93	19,7	96,6	97,2	21,75	105,3	106	24,25	116,1	116,9
18,72	92,5	93,1	19,72	96,6	97,3	21,8	105,5	106,2	24,3	116,3	117,1
18,74	92,5	93,2	19,74	96,7	97,4	21,85	105,7	106,4	24,35	116,5	117,3
18,76	92,6	93,3	19,76	96,8	97,5	21,9	105,9	106,6	24,4	116,7	117,5
18,78	92,7	93,3	19,78	96,9	97,5	21,95	106,1	106,8	24,45	117	117,7
18,8	92,8	93,4	19,8	97	97,6	22	106,3	107	24,5	117,2	118
18,82	92,9	93,5	19,82	97,1	97,7	22,05	106,6	107,3	24,55	117,4	118,2
18,84	93	93,6	19,84	97,1	97,8	22,1	106,8	107,5	24,6	117,6	118,4
18,86	93	93,7	19,86	97,2	97,9	22,15	107	107,7	24,65	117,8	118,6
18,88	93,1	93,8	19,88	97,3	98	22,2	107,2	107,9	24,7	118	118,8
18,9	93,2	93,8	19,9	97,4	98,1	22,25	107,4	108,1	24,75	118,3	119,1
18,92	93,3	93,9	19,92	97,5	98,1	22,3	107,6	108,3	24,8	118,5	119,3
18,94	93,4	94	19,94	97,6	98,2	22,35	107,8	108,6	24,85	118,7	119,5
18,96	93,5	94,1	19,96	97,7	98,3	22,4	108,1	108,8	24,9	118,9	119,7
18,98	93,5	94,2	19,98	97,7	98,4	22,45	108,3	109	24,95	119,1	119,9

(CONT.) VISCOSIDAD CINEMÁTICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS	
	A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C
25	119,4	120,2	27,5	130,4	131,3	30	141,5	142,5	32,5	152,7	153,8
25,05	119,6	120,4	27,55	130,6	131,5	30,05	141,7	142,7	32,55	153	154
25,1	119,8	120,6	27,6	130,8	131,7	30,1	142	142,9	32,6	153,2	154,2
25,15	120	120,8	27,65	131	131,9	30,15	142,2	143,1	32,65	153,4	154,4
25,2	120,2	121	27,7	131,3	132,1	30,2	142,4	143,4	32,7	153,6	154,7
25,25	120,5	121,3	27,75	131,5	132,4	30,25	142,6	143,6	32,75	153,9	154,9
25,3	120,7	121,5	27,8	131,7	132,6	30,3	142,9	143,8	32,8	154,1	155,1
25,35	120,9	121,7	27,85	131,9	132,8	30,35	143,1	144	32,85	154,3	155,4
25,4	121,1	121,9	27,9	132,2	133	30,4	143,3	144,3	32,9	154,5	155,6
20,45	121,3	122,1	27,95	132,4	133,3	30,45	143,5	144,5	32,95	154,8	155,8
25,5	121,6	122,4	28	132,6	133,5	30,5	143,8	144,7	33	155	156
25,55	121,8	122,6	28,05	132,8	133,7	30,55	144	144,9	33,05	155,2	156,3
25,6	122	122,8	28,1	133	133,9	30,6	144,2	145,2	33,1	155,4	156,5
25,65	122,2	123	28,15	133,3	134,2	30,65	144,4	145,4	33,15	155,7	156,7
25,7	122,4	123,3	28,2	133,5	134,4	30,7	144,6	145,6	33,2	155,9	156,9
25,75	122,6	123,5	28,25	133,7	134,6	30,75	144,9	145,8	33,25	156,1	157,2
25,8	122,9	123,7	28,3	133,9	134,8	30,8	145,1	146,1	33,3	156,3	157,4
25,85	123,1	123,9	28,35	134,2	135,1	30,85	145,3	146,3	33,35	156,6	157,6
25,9	123,3	124,1	28,4	134,4	135,3	30,9	145,5	146,5	33,4	156,8	157,8
25,95	123,5	124,4	28,45	134,6	135,5	30,95	145,8	146,7	33,45	157	158,1
26	123,7	124,6	28,5	134,8	135,7	31	146	147	33,5	157,2	158,3
26,05	124	124,8	28,55	135	135,9	31,05	146,2	147,2	33,55	157,5	158,5
26,1	124,2	125	28,6	135,3	136,2	31,1	146,4	147,4	33,6	157,7	158,8
26,15	124,2	125,2	28,65	135,5	136,4	31,15	146,7	147,7	33,65	157,9	159
26,2	124,6	125,5	28,7	135,7	136,6	31,2	146,9	147,9	33,7	158,2	159,2
26,25	124,9	125,7	28,75	135,9	136,8	31,25	147,1	148,1	33,75	158,4	159,4
26,3	125,1	125,9	28,8	136,2	137,1	31,3	147,3	148,3	33,8	158,6	159,7
26,35	125,3	126,1	28,85	136,4	137,3	31,35	147,6	148,6	33,85	158,8	159,9
26,4	125,5	126,4	28,9	136,6	137,5	31,4	147,8	148,8	33,9	159,1	160,1
26,45	125,7	126,6	28,95	136,8	137,7	31,45	148	149	33,95	159,3	160,3
26,25	124,9	125,7	28,75	135,9	136,8	31,25	147,1	148,1	33,75	158,4	159,4
26,3	125,1	125,9	28,8	136,2	137,1	31,3	147,3	148,3	33,8	158,6	159,7
26,35	125,3	126,1	28,85	136,4	137,3	31,35	147,6	148,6	33,85	158,8	159,9
26,4	125,5	126,4	28,9	136,6	137,5	31,4	147,8	148,8	33,9	159,1	160,1
26,45	125,7	126,6	28,95	136,8	137,7	31,45	148	149	33,95	159,3	160,3
26,5	126	126,8	29	137	138	31,5	148,2	149,2	34	159,5	160,6
26,55	126,2	127	29,05	137,3	138,2	31,55	148,5	149,5	34,05	159,7	160,8
26,6	126,4	127,2	29,1	137,5	138,4	31,6	148,7	149,7	34,1	160	161
26,65	126,6	127,5	29,15	137,7	138,6	31,65	148,9	149,9	34,15	160,2	161,3
26,7	126,8	127,7	29,2	137,9	138,9	31,7	149,1	150,1	34,2	160,4	161,5
26,75	127,1	127,9	29,25	138,2	139,1	31,75	149,4	150,4	34,25	160,6	161,7
26,8	127,3	128,1	29,3	138,4	139,3	31,8	149,6	150,6	34,3	160,9	161,9
26,85	127,5	128,4	29,35	138,6	139,5	31,85	149,8	150,8	34,35	161,1	162,2
26,9	127,7	128,6	29,4	138,8	139,8	31,9	150	151	34,4	161,3	162,4
26,95	127,9	128,8	29,45	139,1	140	31,95	150,3	151,3	34,45	161,5	162,6
27	128,2	129	29,5	139,3	140,2	32	150,5	151,5	34,5	161,8	162,9
27,05	128,4	129,2	29,55	139,5	140,4	32,05	150,7	151,7	34,55	162	163,1
27,1	128,6	129,5	29,6	139,7	140,7	32,1	150,9	152	34,6	162,2	163,3
27,15	128,8	129,7	29,65	140	140,9	32,15	151,2	152,2	34,65	162,4	163,5
27,2	129	129,9	29,7	140,2	141,1	32,2	151,4	152,4	34,7	162,7	163,8
27,25	129,3	130,1	29,75	140,4	141,3	32,25	151,6	152,6	34,75	162,9	164
27,3	129,5	130,4	29,8	140,6	141,6	32,3	151,8	152,9	34,8	163,1	164,2
27,35	129,7	130,6	29,85	140,8	141,8	32,35	152,1	153,1	34,85	163,3	164,4
27,4	129,9	130,8	29,9	141,1	142	32,4	152,3	153,3	34,9	163,6	164,7
27,45	130,2	131	29,95	141,3	142,2	32,45	152,5	153,5	34,95	163,8	164,9

(CONT.) VISCOSIDAD CINEMÁTICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS	
	A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C
35,00	164,0	165,1	37,5	175,4	176,5	40	186,8	188	42,5	198,2	199,5
35,05	164,3	165,4	37,55	175,6	176,8	40,05	187	188,2	42,55	198,4	199,7
35,10	164,5	165,6	37,6	175,8	177,0	40,1	187,2	188,5	42,6	198,6	200
35,15	164,7	165,8	37,65	176,1	177,2	40,15	187,4	188,7	42,65	198,9	200
35,20	164,9	166	37,7	176,3	177,5	40,2	187,7	188,9	42,7	199,1	200
35,25	165,2	166,3	37,75	176,5	177,7	40,25	187,9	189,2	42,75	199,3	200
35,3	165,4	166,5	37,8	176,7	177,9	40,3	188,1	189,4	42,8	199,5	200
35,35	165,6	166,7	37,85	177	178,1	40,35	188,4	189,6	42,85	199,8	201
35,4	165,8	167	37,9	177,2	178,4	40,4	188,6	189,8	42,9	200	201
35,45	166,1	167,2	37,95	177,4	178,6	40,45	188,8	190,1	42,95	200	201
35,5	166,3	167,4	38	177,6	178,8	40,5	189	190,3	43	200	201
35,55	166,5	167,6	38,05	177,9	179,1	40,55	189,3	190,5	43,05	201	202
35,6	166,7	167,9	38,1	178,1	179,3	40,6	189,5	190,8	43,1	201	202
35,65	167	168,1	38,15	178,3	179,5	40,65	189,7	191	43,15	201	202
35,7	167,2	168,3	38,2	178,6	179,8	40,7	189,9	191,2	43,2	201	202
35,75	167,4	168,6	38,25	178,8	180	40,75	190,2	191,5	43,25	202	202
35,8	167,7	168,8	38,3	179	180,2	40,8	190,4	191,7	43,3	202	203
35,85	167,9	169	38,35	179,2	180,4	40,85	190,6	191,9	43,35	202	203
35,9	168,1	169,2	38,4	179,5	180,7	40,9	190,9	192,1	43,4	202	203
35,95	168,3	169,5	38,45	179,7	180,9	40,95	191,1	192,4	43,45	203	203
36	168,6	169,7	38,5	179,9	181,1	41	191,3	192,6	43,5	203	204
36,05	168,8	169,9	38,55	180,1	181,4	41,05	191,5	192,8	43,55	203	204
36,1	169	170,1	38,6	180,4	181,6	41,1	191,8	193,1	43,6	203	204
36,15	169,2	170,4	38,65	180,6	181,8	41,15	192	193,3	43,65	203	204
36,2	169,5	170,6	38,7	180,8	182	41,2	192,2	193,5	43,7	204	205
36,25	169,7	170,8	38,75	181,1	182,3	41,25	192,5	193,7	43,75	204	205
36,3	169,9	171,7	38,8	181,3	182,5	41,3	192,7	194	43,8	204	205
36,35	170,1	171,3	38,85	181,5	182,7	41,35	192,9	194,2	43,85	204	205
36,4	170,4	171,5	38,9	181,7	183	41,4	193,1	194,4	43,9	205	205
36,45	170,6	171,7	38,95	182	183,2	41,45	193,4	194,7	43,95	205	206
36,5	170,8	172	39	182,2	183,4	41,5	193,6	194,9	44	205	206
36,55	171,7	172,2	39,05	182,4	183,6	41,55	193,8	195,1	44,05	205	206
36,6	171,3	172,4	39,1	182,7	183,9	41,6	194,1	195,4	44,1	205	206
36,65	171,5	172,7	39,15	182,9	184,1	41,65	194,3	195,6	44,15	206	207
36,7	171,7	172,9	39,2	183,1	184,3	41,7	194,5	195,8	44,2	206	207
36,75	172	173,1	39,25	183,3	184,6	41,75	194,7	196	44,25	206	207
36,8	172,2	173,3	39,3	183,6	184,8	41,8	195	196,3	44,3	206	207
36,85	172,4	173,6	39,35	183,8	185	41,85	195,2	196,5	44,35	207	208
36,9	172,7	173,8	39,4	184	185	41,9	195,4	196,7	44,4	207	208
36,95	172,9	174	39,45	184,2	185,5	41,95	195,7	197	44,45	207	208
37	173,1	174,3	39,5	184,5	185,7	42	195,9	197,2	44,5	207	208
37,05	173,3	174,5	39,55	184,7	185,9	42,05	196,1	197,4	44,55	208	208
37,1	173,6	174,7	39,6	184,9	186,2	42,1	196,3	197,7	44,6	208	209
37,15	173,8	174,9	39,65	185,2	186,4	42,15	196,6	197,9	44,65	208	209
37,2	174	175,2	39,7	185,4	186,6	42,2	196,8	198,1	44,7	208	209
37,25	174,3	175,4	39,75	185,6	186,9	42,25	197	198,3	44,75	208	209
37,3	174,5	175,6	39,8	185,8	187,1	42,3	197,3	198,6	44,8	209	210
37,35	174,7	175,9	39,85	186,1	187,3	42,35	197,5	198,8	44,85	209	210
37,4	174,9	176,1	39,9	186,3	187,5	42,4	197,7	199	44,9	209	210
37,45	175,2	176,3	39,95	186,5	187,8	42,45	197,9	199,3	44,95	209	210

(CONT.) VISCOSIDAD CINEMÁTICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS	
	A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C
45	210	211	47,5	221	222	50	233	234	55	256	257
45,05	210	211	47,55	221	222	50,1	233	234	55,1	256	257
45,1	210	211	47,6	222	223	50,2	233	235	55,2	256	258
45,15	210	211	47,65	222	223	50,3	234	235	55,3	257	258
45,2	211	211	47,7	222	223	50,4	234	235	55,4	257	259
45,25	211	212	47,75	222	223	50,5	235	236	55,5	258	259
45,3	211	212	47,8	222	223	50,6	235	236	55,6	258	260
45,35	211	212	47,85	223	224	50,7	236	237	55,7	259	260
45,4	211	212	47,9	223	224	50,8	236	237	55,8	259	260
45,45	212	213	47,95	223	224	50,9	237	238	55,9	260	261
45,5	212	213	48	223	224	51	237	238	56	260	261
45,55	212	213	48,05	224	225	51,1	238	239	56,1	261	262
45,6	212	213	48,1	224	225	51,2	238	239	56,2	261	262
45,65	213	214	48,15	224	225	51,3	239	240	56,3	262	263
45,7	213	214	48,2	224	225	51,4	239	240	56,4	262	263
45,75	213	214	48,25	225	226	51,5	239	241	56,5	262	264
45,8	213	214	49,3	225	226	51,6	240	241	56,6	263	264
45,85	214	214	48,35	225	226	51,7	240	241	56,7	263	265
45,9	214	215	48,4	225	226	51,8	241	242	56,8	264	265
45,95	214	215	48,45	225	226	51,9	241	242	56,9	264	266
46	214	215	48,5	226	227	52	242	243	57	265	266
46,05	214	215	48,55	226	227	52,1	242	243	57,1	265	266
46,1	215	216	48,6	226	227	52,2	243	244	57,2	266	267
46,15	215	216	48,65	226	227	52,3	243	244	57,3	266	267
46,2	215	216	48,7	227	228	52,4	244	245	57,4	267	268
46,25	215	216	48,75	227	228	52,5	244	245	57,5	267	268
46,3	216	217	48,8	227	228	52,6	245	246	57,6	268	269
46,35	216	217	48,85	227	228	52,7	245	246	57,7	268	269
46,4	216	217	48,9	227	229	52,8	245	247	57,8	268	270
46,45	216	217	48,95	228	229	52,9	246	247	57,9	269	270
46,5	216	217	49	228	229	53	246	247	58	269	271
46,55	217	218	49,05	228	229	53,1	247	248	58,1	270	271
46,6	217	218	49,1	228	229	53,2	247	248	58,2	270	272
46,65	217	218	49,15	229	230	53,3	248	249	58,3	271	272
46,7	217	218	49,2	229	230	53,4	248	249	58,4	271	273
46,75	218	219	49,25	229	230	53,5	249	250	58,5	272	273
46,8	218	219	49,3	229	230	53,6	249	250	58,6	272	273
46,85	218	219	49,35	230	231	53,7	250	251	58,7	273	274
46,9	218	219	49,4	230	231	53,8	250	251	58,8	273	274
46,95	219	220	49,45	230	231	53,9	250	252	58,9	273	274
47	219	220	49,5	230	231	54	251	252	59	274	275
47,05	219	220	49,55	230	232	54,1	251	253	59,1	274	276
47,1	219	220	49,6	231	232	54,2	252	253	59,2	275	276
47,15	219	220	49,65	231	232	54,3	252	254	59,3	275	277
47,2	220	221	49,7	231	232	54,4	253	254	59,4	276	277

(CONT.) VISCOSIDAD CINEMÁTICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS	
	A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C
60	279	280	65	302	303	70	325	326	75	348	350
60,1	279	280	65,1	302	304	70,1	325	327	75,1	348	350
60,2	280	281	65,2	303	304	70,2	326	327	75,2	349	351
60,3	280	281	65,3	303	305	70,3	326	328	75,3	349	351
60,4	280	282	65,4	303	305	70,4	327	328	75,4	350	352
60,5	281	282	65,5	304	305	70,5	327	329	75,5	350	352
60,6	281	283	65,6	304	306	70,6	328	329	75,6	351	352
60,7	282	283	65,7	305	306	70,7	328	330	75,7	351	353
60,8	282	284	65,8	305	307	70,8	328	330	75,8	352	353
60,9	283	284	65,9	306	307	70,9	329	331	75,9	352	354
61	283	285	66	306	308	71	329	331	76	352	354
61,1	284	285	66,1	307	308	71,1	330	332	76,1	353	355
61,2	284	286	66,2	307	309	71,2	330	332	76,2	353	355
61,3	285	286	66,3	308	309	71,3	331	332	76,3	354	356
61,4	285	286	66,4	308	310	71,4	331	333	76,4	354	356
61,5	286	287	66,5	309	310	71,5	332	333	76,5	355	357
61,6	286	287	66,6	309	311	71,6	332	334	76,6	355	357
61,7	286	288	66,7	309	311	71,7	333	334	76,7	356	358
61,8	287	288	66,8	310	312	71,8	333	335	76,8	356	358
61,9	287	289	66,9	310	312	71,9	334	335	76,9	357	359
62	288	289	67	311	312	72	334	336	77	357	359
62,1	288	290	67,1	311	313	72,1	334	336	77,1	358	359
62,2	289	290	67,2	312	313	72,2	335	337	77,2	358	360
62,3	289	291	67,3	312	314	72,3	335	337	77,3	358	360
62,4	290	291	67,4	313	314	72,4	336	338	77,4	359	361
62,5	290	292	67,5	313	315	72,5	336	338	77,5	359	361
62,6	291	292	67,6	314	315	72,6	337	339	77,6	360	362
62,7	291	292	67,7	314	316	72,7	337	339	77,7	360	362
62,8	291	293	67,8	315	316	72,8	338	339	77,8	361	363
62,9	292	293	67,9	315	317	72,9	338	340	77,9	361	363
63	292	294	68	315	317	73	339	340	78	362	364
63,1	293	294	68,1	316	318	73,1	339	341	78,1	362	364
63,2	293	295	68,2	316	318	73,2	340	341	78,2	363	365
63,3	294	295	68,3	317	319	73,3	340	342	78,3	363	365
63,4	294	296	68,4	317	319	73,4	340	342	78,4	364	365
63,5	295	296	68,5	318	319	73,5	341	343	78,5	364	366
63,6	295	297	68,6	318	320	73,6	341	343	78,6	364	366
63,7	296	297	68,7	319	320	73,7	342	344	78,7	365	367
63,8	296	298	68,8	319	321	73,8	342	344	78,8	365	367
63,9	297	298	68,9	320	321	73,9	343	345	78,9	366	368
64	297	299	69	320	322	74	343	345	79	366	368
64,1	297	299	69,1	321	322	74,1	344	345	79,1	367	369
64,2	298	299	69,2	321	323	74,2	344	346	79,2	367	369
64,3	298	300	69,3	322	323	74,3	345	346	79,3	368	370
64,4	299	300	69,4	322	324	74,4	345	347	79,4	368	370

(CONT.) VISCOSIDAD CINEMÁTICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS	
	A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C
80	371	373	85	394	396	90	417	419	95	440	443
80,1	371	373	85,1	395	397	90,1	418	420	95,1	441	443
80,2	372	374	85,2	395	397	90,2	418	420	95,2	441	444
80,3	372	374	85,3	395	398	90,3	419	421	95,3	442	444
80,4	373	375	85,4	396	398	90,4	419	421	95,4	442	445
80,5	373	375	85,5	396	399	90,5	420	422	95,5	443	445
80,6	374	376	85,6	397	399	90,6	420	422	95,6	443	446
80,7	374	376	85,7	397	399	90,7	420	423	95,7	444	446
80,8	375	377	85,8	398	400	90,8	421	423	95,8	444	447
80,9	375	377	85,9	398	400	90,9	421	424	95,9	444	447
81	376	378	86	399	401	91	422	424	96	445	447
81,1	376	378	86,1	399	401	91,1	422	425	96,1	445	448
81,2	376	379	86,2	400	402	91,2	423	425	96,2	446	448
81,3	377	379	86,3	400	402	91,3	423	426	96,3	446	449
81,4	377	379	86,4	401	403	91,4	424	426	96,4	447	449
81,5	378	380	86,5	401	403	91,5	424	426	96,5	447	450
81,6	378	380	86,6	401	404	91,6	425	427	96,6	448	450
81,7	379	381	86,7	402	404	91,7	425	427	96,7	448	451
81,8	379	381	86,8	402	405	91,8	426	428	96,8	449	451
81,9	380	382	86,9	403	405	91,9	426	428	96,9	449	452
82	380	382	87	403	406	92	426	429	97	450	452
82,1	381	383	87,1	404	406	92,1	427	429	97,1	450	453
82,2	381	383	87,2	404	406	92,2	427	430	97,2	451	453
82,3	382	384	87,3	405	407	92,3	428	430	97,3	451	453
82,4	382	384	87,4	405	407	92,4	428	431	97,4	451	454
82,5	383	385	87,5	406	408	92,5	429	431	97,5	452	454
82,6	383	385	87,6	406	408	92,6	429	432	97,6	452	455
82,7	383	386	87,7	407	409	92,7	430	432	97,7	453	455
82,8	384	386	87,8	407	409	92,8	430	433	97,8	453	456
82,9	384	386	87,9	407	410	92,9	431	433	97,9	454	456
83	385	387	88	408	410	93	431	433	98	454	457
83,1	385	387	88,1	408	411	93,1	432	434	98,1	455	457
83,2	386	388	88,2	409	411	93,2	432	434	98,2	455	458
83,3	386	388	88,3	409	412	93,3	432	435	98,3	456	458
83,4	387	389	88,4	410	412	93,4	433	435	98,4	456	459
83,5	387	389	88,5	410	413	93,5	433	436	98,5	457	459
83,6	388	390	88,6	411	413	93,6	434	436	98,6	457	460
83,7	388	390	88,7	411	413	93,7	434	437	98,7	457	460
83,8	389	391	88,8	412	414	93,8	435	437	98,8	458	460
83,9	389	391	88,9	412	414	93,9	435	438	98,9	458	461
84	389	392	89	413	415	94	436	438	99	459	461
84,1	390	392	89,1	413	415	94,1	436	439	99,1	459	462
84,2	390	392	89,2	413	416	94,2	437	439	99,2	460	462
84,3	391	393	89,3	414	416	94,3	437	440	99,3	460	463
84,4	391	393	89,4	414	417	94,4	438	440	99,4	461	463

(CONT.) VISCOSIDAD CINEMÁTICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS	
	A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C
100	463	466	110	510	513	120	556	559	130	602	606
100,2	464	467	110,2	511	514	120,2	557	560	130,2	603	607
100,4	465	468	110,4	512	515	120,4	558	560	130,4	604	608
100,6	466	469	110,6	513	515	120,6	559	562	130,6	605	609
100,8	467	470	110,8	513	516	120,8	560	563	130,8	606	610
101	468	471	111	514	517	121	561	564	131	607	611
101,2	469	471	111,2	515	518	121,2	562	565	131,2	608	611
101,4	470	473	111,4	516	519	121,4	563	566	131,4	609	612
101,6	471	474	111,6	517	520	121,6	563	567	131,6	610	613
101,8	472	474	111,8	518	521	121,8	564	568	131,8	611	614
102	473	475	112	519	522	122	565	569	132	612	615
102,2	474	476	112,2	520	523	122,2	566	570	132,2	613	616
102,4	475	477	112,4	521	524	122,4	567	570	132,4	613	617
102,6	475	478	112,6	522	525	122,6	568	571	132,6	614	618
102,8	476	479	112,8	523	526	122,8	569	572	132,8	615	619
103	477	480	113	524	527	123	570	573	133	616	620
103,2	478	481	113,2	525	528	123,2	571	574	133,2	617	621
103,4	479	482	113,4	525	529	123,4	572	575	133,4	618	622
103,6	480	483	113,6	526	529	123,6	573	576	133,6	619	623
103,8	481	484	113,8	527	530	123,8	574	577	133,8	620	624
104	482	485	114	528	531	124	575	578	134	621	625
104,2	483	486	114,2	529	532	124,2	575	579	134,2	622	625
104,4	484	487	114,4	530	533	124,4	576	580	134,4	623	626
104,6	485	488	114,6	531	534	124,6	577	581	134,6	624	627
104,8	486	488	114,8	532	535	124,8	578	582	134,8	625	628
105	487	489	115	533	536	125	579	583	135	625	629
105,2	488	490	115,2	534	537	125,2	580	584	135,2	626	630
105,4	488	491	115,4	535	538	125,4	581	584	135,4	627	631
105,6	489	492	115,6	536	539	125,6	582	585	135,6	628	632
105,8	490	493	115,8	537	540	125,8	583	586	135,8	629	633
106	491	494	116	538	541	126	584	587	136	630	634
106,2	492	495	116,2	538	542	126,2	585	588	136,2	631	635
106,4	493	496	116,4	539	542	126,4	586	589	136,4	632	636
106,6	494	497	116,6	540	543	126,6	587	590	136,6	633	637
106,8	495	498	116,8	541	544	126,8	588	591	136,8	634	638
107	496	499	117	542	545	127	588	592	137	635	639
107,2	497	500	117,2	543	546	127,2	589	593	137,2	636	639
107,4	498	501	117,4	544	547	127,4	590	594	137,4	637	640
107,6	499	501	117,6	545	548	127,6	591	595	137,6	638	641
107,8	500	502	117,8	546	549	127,8	592	596	137,8	638	642
108	500	503	118	547	550	128	593	597	138	639	643
108,2	501	504	118,2	548	551	128,2	594	597	138,2	640	644
108,4	502	505	118,4	549	552	128,4	595	598	138,4	641	645
108,6	503	506	118,6	550	553	128,6	596	599	138,6	642	646
108,8	504	507	118,8	550	554	128,8	597	600	138,8	643	647

(CONT.) VISCOSIDAD CINEMÁTICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS	
	A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C
140	649	150	695	160	741	170	788	180	834	190	880
140,2	650	150,2	696	160,2	742	170,2	789	180,2	835	190,2	881
140,4	650	150,4	697	160,4	743	170,4	789	180,4	836	190,4	882
140,6	651	150,6	698	160,6	744	170,6	790	180,6	837	190,6	883
140,8	652	150,8	699	160,8	745	170,8	791	180,8	838	190,8	884
141	653	151	700	161	746	171	792	181	839	191	885
141,2	654	151,2	701	161,2	747	171,2	793	181,2	839	191,2	886
141,4	655	151,4	701	161,4	748	171,4	794	181,4	840	191,4	887
141,6	656	151,6	702	161,6	749	171,6	795	181,6	841	191,6	888
141,8	657	151,8	703	161,8	750	171,8	796	181,8	842	191,8	889
142	658	152	704	162	751	172	797	182	843	192	889
142,2	659	152,2	705	162,2	751	172,2	798	182,2	844	192,2	890
142,4	660	152,4	706	162,4	752	172,4	799	182,4	845	192,4	891
142,6	661	152,6	707	162,6	753	172,6	800	182,6	846	192,6	892
142,8	662	152,8	708	162,8	754	172,8	801	182,8	847	192,8	893
143	663	153	709	163	755	1730	801	183	848	193	894
143,2	663	153,2	710	163,2	756	173,2	802	183,2	849	193,2	895
143,4	664	153,4	711	163,4	757	173,4	803	183,4	850	193,4	896
143,6	665	153,6	712	163,6	758	173,6	804	183,6	851	193,6	897
143,8	666	153,8	713	163,8	759	173,8	805	183,8	851	193,8	898
144	667	154	713	164	760	174	806	184	852	194	899
144,2	668	154,2	714	164,2	761	174,2	807	184,2	853	194,2	900
144,4	669	154,4	715	164,4	762	174,4	808	184,4	854	194,4	901
144,6	670	154,6	716	164,6	763	174,6	809	184,6	855	194,6	902
144,8	671	154,8	717	164,8	763	174,8	810	184,8	856	194,8	902
145	672	155	718	165	764	175	811	185	857	195	903
145,2	673	155,2	719	165,2	765	175,2	812	185,2	858	195,2	904
145,4	674	155,4	720	165,4	766	175,4	813	185,4	859	195,4	905
145,6	675	155,6	721	165,6	767	175,6	814	185,6	860	195,6	906
145,8	676	155,8	722	165,8	768	175,8	814	185,8	861	195,8	907
146	676	156	723	166	769	176	815	186	862	196	908
146,2	677	156,2	724	166,2	770	176,2	816	186,2	863	196,2	909
146,4	678	156,4	725	166,4	771	176,4	817	186,4	864	196,4	910
146,6	679	156,6	726	166,6	772	176,6	818	186,6	864	196,6	911
146,8	680	156,8	726	166,8	773	176,8	819	186,8	865	196,8	912
147	681	157	727	167	774	177	820	187	866	197	913
147,2	682	157,2	728	167,2	775	177,2	821	187,2	867	197,2	914
147,4	683	157,4	729	167,4	776	177,4	822	187,4	868	197,4	914
147,6	684	157,6	730	167,6	776	177,6	823	187,6	869	197,6	915
147,8	685	157,8	731	167,8	777	177,8	824	187,8	870	197,8	916
148	686	158	732	168	778	178	825	188	871	198	917
148,2	687	158,2	733	168,2	779	178,2	826	188,2	872	198,2	918
148,4	688	158,4	734	168,4	780	178,4	826	188,4	873	198,4	919
148,6	688	158,6	735	168,6	781	178,6	827	188,6	874	198,6	920
148,8	689	158,8	736	168,8	782	178,8	828	188,8	875	198,8	921

(CONT.) VISCOSIDAD CINEMÁTICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS	
	A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C
200	927	225	1042	250	1158	275	1274	300	1390	325	1506
200,5	929	225,5	1045	250,5	1160	275,5	1276	300,5	1392	325,5	1508
201	931	226	1047	251	1163	276	1279	301	1394	326	1510
201,5	933	226,5	1049	251,5	1165	276,5	1281	301,5	1397	326,5	1512
202	936	227	1052	252	1167	277	1283	302	1399	327	1515
202,5	938	227,5	1054	252,5	1170	277,5	1286	302,5	1401	327,5	1517
203	940	228	1086	253	1172	278	1288	303	1404	328	1519
203,5	943	228,5	1059	253,5	1174	278,5	1290	303,5	1406	328,5	1522
204	945	229	1061	254	1177	279	1292	304	1408	329	1524
204,5	947	229,5	1063	254,5	1179	279,5	1295	304,5	1411	329,5	1526
205	950	230	1065	255	1181	280	1297	305	1413	330	1529
205,5	952	230,5	1068	255,5	1184	280,5	1299	305,5	1415	330,5	1531
206	954	231	1070	256	1186	281	1302	306	1418	331	1533
206,5	957	231,5	1072	256,5	1188	281,5	1304	306,5	1420	331,5	1536
207	959	232	1075	257	1191	282	1306	307	1422	332	1538
207,5	961	232,5	1077	257,5	1193	282,5	1309	307,5	1424	332,5	1540
208	964	233	1079	258	1195	283	1311	308	1427	333	1543
208,5	966	233,5	1082	258,5	1198	283,5	1313	308,5	1429	333,5	1545
209	968	234	1084	259	1200	284	1316	309	1431	334	1547
209,5	971	234,5	1086	259,5	1202	284,5	1318	309,5	1434	334,5	1550
210	973	235	1089	260	1204	285	1320	310	1436	335	1552
210,5	975	235,5	1091	260,5	1207	285,5	1323	310,5	1438	335,5	1554
211	977	236	1093	261	1209	286	1325	311	1441	336	1557
211,5	980	236,5	1096	261,5	1211	286,5	1327	311,5	1443	336,5	1559
212	982	237	1098	262	1214	287	1330	312	1445	337	1561
212,5	984	237,5	1100	262,5	1216	287,5	1332	312,5	1448	337,5	1563
213	987	238	1103	263	1218	288	1334	313	1450	338	1566
213,5	989	238,5	1105	263,5	1221	288,5	1336	313,5	1452	338,5	1568
214	991	239	1107	264	1223	289	1339	314	1455	339	1570
214,5	994	239,5	1109	264,5	1225	289,5	1341	314,5	1457	339,5	1573
215	996	240	1112	265	1228	290	1343	315	1459	340	1575
215,5	998	240,5	1114	265,5	1230	290,5	1346	315,5	1462	340,5	1577
216	1001	241	1116	266	1232	291	1348	316	1464	341	1580
216,5	1003	241,5	1119	266,5	1235	291,5	1350	316,5	1466	341,5	1582
217	1005	242	1121	267	1237	292	1353	317	1468	342	1584
217,5	1008	242,5	1123	267,5	1239	292,5	1355	317,5	1471	342,5	1587
218	1010	243	1126	268	1242	293	1357	318	1473	343	1589
218,5	1012	243,5	1128	268,5	1244	293,5	1360	318,5	1475	343,5	1591
219	1015	244	1130	269	1246	294	1362	319	1478	344	1594
219,5	1017	244,5	1133	269,5	1248	294,5	1364	319,5	1480	344,5	1596
220	1019	245	1135	270	1251	295	1367	320	1482	345	1598
220,5	1021	245,5	1137	270,5	1253	295,5	1369	320,5	1485	345,5	1601
221	1024	246	1140	271	1255	296	1371	321	1487	346	1603
221,5	1026	246,5	1142	271,5	1258	296,5	1374	321,5	1489	346,5	1605
222	1028	247	1144	272	1260	297	1376	322	1492	347	1607

(CONT.) VISCOSIDAD CINEMÁTICA A VISCOSIDAD SAYBOLT UNIVERSAL

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS	
	A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C
350	1621	375	1737	400	1853	425	1969	450	2085	475	2200
350,5	1624	375,5	1739	40,5	1855	425,5	1971	450,5	2087	475,5	2203
351	1626	376	1742	401	1858	426	1973	451	2089	476	2205
351,5	1628	376,5	1744	401,5	1860	426,5	1976	451,5	2092	476,5	2207
352	1631	377	1746	402	1862	427	1978	452	2094	477	2210
352,5	1633	377,5	1749	402,5	1865	427,5	1980	452,5	2096	477,5	2212
353	1635	378	1751	403	1867	428	1983	453	2098	478	2214
353,5	1638	378,5	1753	403,5	1869	428,5	1985	453,5	2101	478,5	2217
354	1640	379	1756	404	1872	429	1987	454	2103	479	2219
354,5	1642	379,5	1758	404,5	1874	429,5	1990	454,5	2105	479,5	2221
355	1645	390	1760	405	1876	430	1992	455	2108	480	2224
355,5	1647	380,5	1763	405,5	1878	430,5	1994	455,5	2110	480,5	2226
356	1648	381	1765	406	1881	431	1997	456	2112	481	2228
356,5	1651	381,5	1767	406,5	1883	431,5	1999	456,5	2115	481,5	2231
357	1654	382	1770	407	1885	432	2001	457	2117	482	2233
357,5	1656	382,5	1772	407,5	1888	432,5	2004	457,5	2119	482,5	2235
358	1658	383	1774	408	1890	433	2006	458	2122	483	2237
358,5	1661	383,5	1777	408,5	1892	433,5	2008	458,5	2124	483,5	2240
359	1663	384	1779	409	1895	434	2010	459	2126	484	2242
359,5	1665	384,5	1781	409,5	1897	434,5	2013	459,5	2129	484,5	2244
360	1668	385	1783	410	1899	435	2015	460	2131	485	2247
360,5	1670	385,5	1786	410,5	1902	435,5	2017	460,5	2133	485,5	2249
361	1672	386	1788	411	1904	436	2020	461	2136	486	2251
361,5	1675	386,5	1790	411,5	1906	436,5	2022	461,5	2138	486,5	2254
362	1677	387	1793	412	1909	437	2024	462	2140	487	2256
362,5	1679	387,5	1795	412,5	1911	437,5	2027	462,5	2142	487,5	2258
363	1682	388	1797	413	1913	438	2029	463	2145	488	2261
363,5	1684	388,5	1800	413,5	1916	438,5	2031	463,5	2147	488,5	2263
364	1686	389	1802	414	1918	439	2034	464	2149	489	2265
364,5	1689	389,5	1804	414,5	1920	439,5	2036	464,5	2152	489,5	2268
365	1691	390	1807	415	1922	440	2038	465	2154	490	2270
365,5	1693	390,5	1809	415,5	1925	440,5	2041	465,5	2156	490,5	2272
366	1695	391	1811	416	1927	441	2043	466	2159	491	2275
366,5	1698	391,5	1814	416,5	1929	441,5	2045	466,5	2161	491,5	2277
367	1700	392	1816	417	1932	442	2048	467	2163	492	2279
367,5	1702	392,5	1818	417,5	1934	442,5	2050	467,5	2166	492,5	2281
368	1705	393	1821	418	1936	443	2052	468	2168	493	2284
368,5	1707	393,5	1823	418,5	1939	443,5	2054	468,5	2170	493,5	2286
369	1709	394	1825	419	1941	444	2057	469	2173	494	2288
369,5	1712	394,5	1827	419,5	1943	444,5	2059	469,5	2175	494,5	2291
370	1714	395	1830	420	1946	445	2061	470	2177	495	2293
370,5	1716	395,5	1832	420,5	1948	445,5	2064	470,5	2180	495,5	2295
371	1719	396	1834	421	1950	446	2066	471	2182	496	2298
371,5	1721	396,5	1837	421,5	1953	446,5	2068	471,5	2184	496,5	2300
372	1723	397	1839	422	1955	447	2071	472	2187	497	2302

Tabla 6.2_38. FACTORES DE CONVERSION DE VISCOSIDAD CINEMÁTICA A VISCOSIDAD SAY-BOLT UNIVERSAL

Temperatura °C	Factores de Conversión	
	Factor A 75 cSt y bajo	Factor B Sobre 75 cSt
-18	0,994	4,604
-12	0,995	4,607
-7	0,995	4,61
-1	0,996	4,613
4	0,996	4,615
10	0,997	4,618
16	0,998	4,621
21	0,998	4,624
27	0,999	4,627
32	0,999	4,63
38	1	4,632
43	1,001	4,635
49	1,001	4,638
54	1,002	4,641
60	1,002	4,641
66	1,003	4,647
71	1,004	4,649
77	1,004	4,652
82	1,005	4,655
88	1,005	4,658
93	1,006	4,661
99	1,007	4,664
104	1,007	4,666
110	1,008	4,669
116	1,009	4,672
121	1,009	4,675
127	1,01	4,678
132	1,01	4,68
138	1,011	4,683
143	1,012	4,686
149	1,012	4,689
154	1,013	4,692
160	1,013	4,695
166	1,014	4,697
171	1,015	4,7
177	1,015	4,703

Tabla 6.2_39. VISCOSIDAD CINEMÁTICA A VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Furol SFS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Furol SFS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Furol SFS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Furol SFS	
	A 50° C	A 99° C		A 50° C	A 99° C		A 50° C	A 99° C		A 50° C	A 99° C
48	25,1										
49	25,6										
50	26	25,2	100	48,6	48,4	150	71,5	72,1	200	94,8	96
51	26,5	25,6	101	49,1	48,9	151	72	72,6	201	95,2	96,5
52	27	26,1	102	49,5	49,3	152	72,4	73,1	202	95,7	96,9
53	27,4	26,5	103	50	49,8	153	72,9	73,5	203	96,2	97,4
54	27,9	27	104	50,4	50,3	154	73,4	74	204	96,6	97,9
55	28,3	27,4	105	50,9	50,7	155	73,8	74,5	205	97,1	98,4
56	28,8	27,9	106	51,3	51,2	156	74,3	75	206	97,6	98,8
57	29,2	28,4	107	51,8	51,7	157	74,8	75,4	207	98	99,3
58	29,7	28,8	108	52,3	52,2	158	75,2	75,9	208	98,5	99,8
59	30,1	29,3	109	52,7	52,6	159	75,7	76,4	209	99	100,3
60	30,6	29,7	110	53,2	53,1	160	76,1	76,9	210	99,4	100,8
61	31,1	30,2	111	53,6	53,6	161	76,6	77,4	211	99,9	101,2
62	31,5	30,6	112	54,1	54,1	162	77,1	77,8	212	100,4	101,7
63	32	31,1	113	54,5	54,5	163	77,5	78,3	213	100,6	102,2
64	32,4	31,6	114	55	55	164	78	78,8	214	101,3	102,7
65	32,9	32	115	55,4	55,5	165	78,5	79,3	215	101,8	103,1
66	33,3	32,5	116	55,9	55,9	166	78,9	79,7	216	102,3	103,6
67	33,8	33	117	56,3	56,4	167	79,4	80,2	217	102,7	104,1
68	34,2	33,4	118	56,8	56,9	168	79,9	80,7	218	103,2	104,6
69	34,7	33,9	119	57,3	57,4	169	80,3	81,2	219	103,7	105,1
70	35,1	34,3	120	57,7	57,8	170	80,8	81,6	220	104,1	105,5
71	35,6	35,8	121	58,2	58,3	171	81,2	82,1	221	104,6	106
72	36	35,3	122	58,6	58,8	172	81,7	82,6	222	105,1	106,5
73	36,5	35,7	123	59,1	59,3	173	82,2	83,1	223	105,5	107
74	36,9	36,2	124	59,5	59,7	174	82,6	83,6	224	106	107,4
75	37,4	36,7	125	60	60,2	175	83,1	84	225	106,5	107,9
76	37,8	37,1	126	60,5	60,7	176	83,6	84,5	226	106,9	108,4
77	38,3	37,6	127	60,9	61,2	177	84	85	227	107,4	108,9
78	38,7	38,1	128	61,4	61,6	178	84,5	85,5	228	107,9	109,4
79	39,2	38,5	129	61,8	62,1	179	85	85,9	229	108,3	109,8
80	39,6	39	130	62,3	62,6	180	85,4	86,4	230	108,8	110,3
81	40,1	39,5	131	62,8	63,1	181	85,9	86,9	231	109,3	110,8
82	40,5	39,9	132	63,2	63,5	182	86,4	87,4	232	109,8	111,3
83	41	40,4	133	63,7	64	183	86,8	87,9	233	110,2	111,8
84	41,4	40,9	134	64,1	64,5	184	87,3	88,3	234	110,7	112,2
85	41,9	41,3	135	64,6	65	185	87,8	88,8	235	111,2	112,7
86	42,3	41,8	136	65,1	65,4	186	88,2	89,3	236	111,6	113,2
87	42,8	42,3	137	65,5	65,9	187	88,7	89,8	237	112,1	113,7
88	43,2	42,7	138	66	66,4	188	89,2	90,2	238	112,6	114,1
89	43,7	43,2	139	66,4	66,9	189	89,6	90,7	239	113	114,6
90	44,1	43,7	140	66,9	67,3	190	90,1	91,2	240	113,5	115,1
91	44,6	44,1	141	67,4	67,8	191	90,6	91,7	241	114	115,6
92	45	44,6	142	67,8	68,3	192	91	92,2	242	114,4	116,1
93	45,5	45,1	143	68,3	68,8	193	91,5	92,6	243	114,9	116,5
94	45,9	45,6	144	68,7	69,3	194	92	93,1	244	115,4	117
95	46,4	46	145	69,2	69,7	195	92,4	93,6	245	115,9	117,5
96	46,8	46,5	146	69,7	70,2	196	92,9	94,1	246	116,3	118
97	47,3	47	147	70,1	70,7	197	93,4	94,5	247	116,8	118,5
98	47,7	47,4	148	70,6	71,2	198	93,8	95	248	117,3	118,9
99	48,2	47,9	149	71	71,6	199	94,3	95,5	249	117,7	119,4

(CONT) VISCOSIDAD CINEMÁTICA A VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS	
	A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C
250	118,2	119,9	300	141,7	143,8	350	165,2	167,8	400	188,8	191,7
251	118,7	120,4	301	142,2	144,3	351	165,7	168,2	401	189,3	192,2
252	119,1	120,8	302	142,6	144,8	352	166,2	168,7	402	189,7	192,7
253	119,6	121,3	303	143,1	145,3	353	166,6	169,2	403	190,2	193,2
254	120,1	121,8	304	143,6	145,7	354	167,1	169,7	404	190,7	193,6
255	120,5	122,3	305	144	146,2	355	167,6	170,2	405	191,1	194,1
256	121	122,8	306	144,5	146,7	356	168,1	170,6	406	191,6	194,6
257	121,5	123,2	307	145	147,2	357	168,5	171,1	407	192,1	195,1
258	122	123,7	308	145,5	147,7	358	169	171,6	408	192,6	195,5
259	122,4	124,2	309	145,9	148,1	359	169,5	172,1	409	193	196
260	122,9	124,7	310	146,4	148,6	360	169,9	172,6	410	193,5	196,5
261	123,4	125,2	311	146,9	149,1	361	170,4	173	411	194	197
262	123,8	125,6	312	147,3	149,6	362	170,9	173,5	412	194,4	197,5
263	124,3	126,1	313	147,8	150	363	171,4	174	413	194,9	197,9
264	124,8	126,6	314	148,3	150,5	364	171,8	174,5	414	195,4	198,4
265	125,2	127,1	315	148,8	151	365	172,3	174,9	415	195,8	198,9
266	125,7	127,5	316	149,2	151,5	366	172,8	175,4	416	196,3	199,4
267	126,2	128	317	149,7	152	367	173,2	175,9	417	196,8	199,9
268	126,7	128,5	318	150,2	152,4	368	173,7	176,4	418	197,3	200
269	127,1	129	319	150,6	152,9	369	174,2	176,9	419	197,7	201
270	127,6	129,5	320	151,1	153,4	370	174,6	177,3	420	198,2	201
271	128,1	129,9	321	151,6	153,9	371	175,1	177,8	421	198,7	202
272	128,5	130,4	322	152	154,4	372	175,6	178,3	422	199,1	202
273	129	130,9	323	152,5	154,8	373	176,1	178,8	423	199,6	203
274	129,5	131,4	324	153	155,3	374	176,5	179,3	424	200	203
275	129,9	131,9	325	153,5	155,8	375	177	179,7	425	201	204
276	130,4	132,3	326	153,9	156,3	376	177,5	180,2	426	201	204
277	130,9	132,8	327	154,4	156,7	377	177,9	180,7	427	202	205
278	131,4	133,3	328	154,9	157,2	378	178,4	181,2	428	202	205
279	131,8	133,8	329	155,3	157,7	379	178,9	181,7	429	202	206
280	132,3	134,2	330	155,8	158,2	380	179,4	182,1	430	203	206
281	132,8	134,7	331	156,3	158,7	381	179,8	182,6	431	203	207
282	133,2	135,2	332	156,8	159,1	382	180,3	183,1	432	204	207
283	133,7	135,7	333	157,2	159,6	383	180,8	183,6	433	204	208
284	134,2	136,2	334	157,7	160,1	384	181,2	184,1	434	205	208
285	134,6	136,6	335	158,2	160,6	385	181,7	184,5	435	205	208
286	135,1	137,1	336	158,6	161,1	386	182,2	185	436	206	209
287	135,6	137,6	337	159,1	161,5	387	182,7	185,5	437	206	209
288	136,1	138,1	338	159,6	162	388	183,1	186	438	207	210
289	136,5	138,6	339	160	162,5	389	183,6	186,4	439	207	210
290	137	139	340	160,5	163	390	184,1	186,9	440	208	211
291	137,5	139,5	341	161	163,5	391	184,5	187,4	441	208	211
292	137,9	140	342	161,5	163,9	392	185	187,9	442	209	212
293	138,4	140,5	343	161,9	164,4	393	185,5	188,4	443	209	212
294	138,9	140,9	344	162,4	164,9	394	186	188,8	444	210	213
295	139,3	141,4	345	162,9	165,4	395	186,4	189,3	445	210	213
296	139,8	141,9	346	163,3	165,8	396	186,9	189,8	446	210	214
297	140,3	142,4	347	163,8	166,3	397	187,4	190,3	447	211	214
298	140,8	142,9	348	164,3	166,8	398	187,8	190,8	448	211	215

(CONT) VISCOSIDAD CINEMÁTICA A VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS	
	A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C
450	212	216	500	236	240	550	259	264	600	283	288
451	213	216	501	236	240	551	260	264	601	284	288
452	213	217	502	237	241	552	260	265	602	284	288
453	214	217	503	37	241	553	261	265	603	284	289
454	214	218	504	238	242	554	261	265	604	285	289
455	215	218	505	238	242	555	262	266	605	285	290
456	215	219	506	239	242	556	262	266	606	286	290
457	216	219	507	239	243	557	263	267	607	286	291
458	216	220	508	240	242	558	263	267	608	287	291
459	217	220	509	240	244	559	264	268	609	287	292
460	217	220	510	241	244	560	264	268	610	288	292
461	218	221	511	241	245	561	265	269	611	288	293
462	218	221	512	242	245	562	265	269	612	289	293
463	218	222	513	242	246	563	266	270	613	289	294
464	219	222	514	243	246	564	266	270	614	290	294
465	219	223	515	243	247	565	267	271	615	290	295
466	220	223	516	243	247	566	267	271	616	291	295
467	220	224	517	244	248	567	268	272	617	291	296
468	221	224	518	244	248	568	268	272	618	292	296
469	221	225	519	245	249	569	268	273	619	292	297
470	222	225	520	245	249	570	269	273	620	292	297
471	222	226	521	246	250	571	269	274	621	293	298
472	223	226	522	246	250	572	270	274	622	293	298
473	223	227	523	247	251	573	270	275	623	294	299
474	224	227	524	247	251	574	271	275	624	294	299
475	224	228	525	248	252	575	271	276	625	295	300
476	225	228	526	248	252	576	272	276	626	295	300
477	225	229	527	249	253	577	272	277	627	296	300
478	226	229	528	249	253	578	273	277	628	296	301
479	226	230	529	250	254	579	273	277	629	297	301
480	226	230	530	250	254	580	274	278	630	297	302
480	227	231	531	261	254	581	274	278	631	298	302
482	227	231	532	261	255	582	275	279	632	298	303
483	228	231	533	261	255	583	275	279	633	299	303
484	228	232	534	252	256	584	276	280	634	299	304
485	229	232	535	252	256	585	276	280	635	300	304
486	229	233	536	253	257	586	276	281	636	300	305
487	230	233	537	253	257	587	277	281	637	301	305
488	230	234	538	254	258	588	277	282	638	301	306
489	231	234	539	254	258	589	278	282	639	301	306
490	231	235	540	255	259	590	278	283	640	302	307
491	232	235	541	255	259	591	279	283	641	302	307
492	232	236	542	256	260	592	279	284	642	303	308
493	233	236	543	256	260	593	280	284	643	303	308
494	233	237	544	257	261	594	280	285	644	304	309
495	234	237	545	257	261	595	281	285	645	304	306
496	234	238	546	258	262	596	281	286	646	305	310
497	234	238	547	258	262	597	282	286	647	305	310
498	235	239	548	259	263	598	282	287	648	306	311

(CONT) VISCOSIDAD CINEMÁTICA A VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS	
	A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C
650	307	311	700	330	335	750	354	359	800	377	383
651	307	312	701	331	336	751	354	360	802	378	384
652	308	312	702	331	336	752	355	360	804	379	385
653	308	313	703	332	337	753	355	361	806	380	386
654	309	313	704	332	337	754	356	361	808	381	387
655	309	314	705	333	338	755	356	362	810	382	388
656	309	314	706	333	338	756	357	362	812	383	389
657	310	315	707	334	339	757	357	363	814	384	390
658	310	315	708	334	339	758	358	363	816	385	391
659	311	316	709	334	340	759	358	364	818	386	392
660	311	316	710	335	340	760	359	364	820	387	393
661	312	317	711	335	341	761	359	365	822	388	394
662	312	317	712	336	341	762	359	365	824	389	395
663	313	318	713	336	342	763	360	366	826	390	396
664	313	318	714	337	342	764	360	366	828	391	397
665	314	319	715	337	343	765	361	367	830	392	398
666	314	319	716	338	343	766	361	367	832	392	399
667	315	320	717	338	344	767	362	368	834	393	400
668	315	320	718	339	344	768	362	368	836	394	401
669	316	321	719	339	345	769	363	369	838	395	402
670	316	321	720	340	345	770	363	369	840	396	403
671	317	322	721	340	346	771	364	369	842	397	403
672	317	322	722	341	346	772	364	370	844	398	404
673	317	323	723	341	346	773	365	370	846	399	405
674	318	323	724	342	347	774	365	371	848	400	406
675	318	323	725	342	347	775	366	371	850	401	407
676	319	324	726	342	348	776	366	372	852	402	408
677	319	324	727	343	348	777	367	372	854	403	409
678	320	325	728	343	349	778	367	373	856	404	410
679	320	325	729	344	349	779	367	373	858	405	411
680	321	326	730	344	350	780	368	374	860	406	412
681	321	326	731	345	350	781	368	374	862	407	413
682	322	327	732	345	351	782	369	375	864	408	414
683	322	327	733	346	351	783	369	375	866	409	415
684	323	328	734	346	352	784	370	376	868	409	416
685	323	328	735	347	352	785	370	376	870	410	417
686	324	329	736	347	353	786	371	377	872	411	418
687	324	329	737	348	353	787	371	377	874	412	419
688	325	330	738	348	354	788	372	378	876	413	420
689	325	330	739	349	354	789	372	378	878	414	421
690	326	331	740	349	355	790	373	379	880	415	422
691	326	331	741	350	355	791	373	379	882	416	423
692	326	332	742	350	356	792	374	380	884	417	424
693	327	332	743	351	356	793	374	380	886	418	425
694	327	333	744	351	357	794	375	380	888	419	426
695	328	333	745	351	357	795	375	381	890	420	426
696	328	334	746	352	357	796	375	381	892	421	427
697	329	334	747	352	358	797	376	382	894	422	428
698	329	334	748	353	358	798	376	382	896	423	429

(CONT) VISCOSIDAD CINEMÁTICA A VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL

Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS		Viscos. Cinem. cSt	Equivalente Viscosidad Saybolt Universal SUS	
	A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C		A 38°C	A 99°C
900	425	431	1000	472	479	1100	519	527	1200	566	575
902	425	432	1002	473	480	1102	520	528	1202	567	576
904	426	433	1004	474	481	1104	521	529	1204	568	577
906	427	434	1006	475	482	1106	522	530	1206	569	578
908	428	435	1008	475	483	1108	523	531	1208	570	579
910	429	436	1010	476	484	1110	524	532	1210	571	580
912	430	437	1012	477	485	1112	525	533	1212	572	581
914	431	438	1014	478	486	1114	525	534	1214	573	582
916	432	439	1016	479	487	1116	526	535	1216	574	583
918	433	440	1018	480	488	1118	527	536	1218	575	584
920	434	441	1020	481	489	1120	528	537	1220	575	585
922	435	442	1022	482	490	1122	529	538	1222	576	586
924	436	443	1024	483	491	1124	530	539	1224	577	587
926	437	444	1026	484	492	1126	531	540	1226	578	588
928	438	445	1028	485	493	1128	532	541	1228	579	588
930	439	446	1030	486	494	1130	533	542	1230	580	589
932	440	447	1032	487	495	1132	534	542	1232	581	590
934	441	448	1034	488	495	1134	535	543	1234	582	591
936	442	449	1036	489	496	1136	536	544	1236	583	592
938	442	449	1038	490	497	1138	537	545	1238	584	593
940	443	450	1040	491	498	1140	538	546	1240	585	594
942	444	451	1042	492	499	1142	539	547	1242	586	595
944	445	452	1044	492	500	1144	540	548	1244	587	596
946	446	453	1046	493	501	1146	541	549	1246	588	597
948	447	454	1048	494	502	1148	542	550	1248	589	598
950	448	455	1050	495	503	1150	542	551	1250	590	595
952	449	456	1052	496	504	1152	543	552	1252	591	600
954	450	457	1054	497	505	1154	544	553	1254	592	601
956	451	458	1056	498	506	1156	545	554	1256	592	602
958	452	459	1058	499	507	1158	546	555	1258	593	603
960	453	460	1060	500	508	1160	547	556	1260	594	604
962	454	461	1062	501	509	1162	548	557	1262	595	605
964	455	462	1064	502	510	1164	549	558	1264	596	606
966	456	463	1066	503	511	1166	550	559	1266	597	607
968	457	464	1068	504	512	1168	551	560	1268	598	608
970	458	465	1070	505	513	1170	552	561	1270	599	609
972	459	466	1072	506	514	1172	553	562	1272	60	610
974	459	467	1074	507	515	1174	554	563	1274	601	611
976	460	468	1076	508	516	1176	555	564	1276	602	611
978	461	469	1078	509	517	1178	556	565	1278	603	612
980	462	470	1080	509	518	1180	557	565	1280	604	613
982	463	471	1082	510	518	1182	558	566	1282	605	614
984	464	472	1084	511	519	1184	559	567	1284	606	615
986	465	472	1086	512	520	1186	559	568	1286	607	616
988	466	473	1088	513	521	1188	560	569	1288	608	617
990	467	474	1090	514	522	1190	561	570	1290	609	618
992	468	475	1092	515	523	1192	562	571	1292	609	619
994	469	476	1094	516	524	1194	563	572	1294	610	620
996	470	477	1096	517	525	1196	564	573	1296	611	621
998	471	478	1098	518	526	1198	565	574	1296	612	622
									1300	613	623

SECCION 6.2.3.15.

MÉTODOS DE ENSAYO PARA EMULSIONES MODIFICADAS MEDIANTE PLACA VIALIT (ASTM D 244)

6.2.3.15.1. OBJETO

Este método describe el procedimiento que debe seguirse para valorar la adhesividad, así como la resistencia al desprendimiento existente entre los áridos y el residuo asfáltico de una emulsión asfáltica elastomérica, mediante la placa Vialit.

El procedimiento se aplica fundamentalmente a los materiales empleados en tratamientos superficiales mediante riegos con gravilla, en los que se utiliza como ligante una emulsión asfáltica elastomérica. También se puede aplicar para evaluar emulsiones asfálticas convencionales.

El ensayo consiste en incrustar cien gravillas calibradas sobre una película de ligante extendida en una placa metálica; una vez curado el ligante, se coloca la placa invertida sobre tres apoyos horizontales y se la somete al impacto producido por la caída de una bola de acero, valorando el estado de las gravillas desprendidas y de las que han permanecido adheridas a la placa.

Mediante el ensayo se valora la adhesividad así como la resistencia al despegue o agarre que presenta la unión árido-ligante en este tipo de materiales, tanto con áridos inicialmente en estado seco como en estado húmedo. También puede ser útil para evaluar la eficacia de mejoradores de adhesión.

6.2.3.15.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A.PLACA DE ENSAYO

Son placas de acero perfectamente planas y de forma cuadrada, de 200 mm por lado y 2 mm de espesor, provistas de un pequeño reborde lateral que haga estanco el recipiente, bien mediante una tira soldada en su periferia o doblando en ángulo recto sus bordes. En cualquier caso, debe quedar para ensayo una superficie mínima cuadrada de 185 mm por lado. Es fundamental para la correcta realización del ensayo que la superficie de la placa sea rigurosamente plana, desechando las que presenten una desviación superior a 0,5 mm.

B.BOLA

Una bola de acero de 50 mm de diámetro y 500 ± 5 g de masa.

C.RODILLO DE COMPACTACIÓN

Un rodillo con la forma y dimensiones que se indican en la **Figura 6.2_ 46**, con banda de rodadura de caucho y que permita una compactación con una carga total de 25 kg.

D.DISPOSITIVO PARA ENSAYO

Consta esencialmente de un bastidor metálico formado por una base de nivelación, con dos niveles de burbuja y tornillos de ajuste, de las que salen tres varillas verticales terminadas en punta para el apoyo de la placa durante el ensayo. Unida a esta base va soldado un tubo vertical, terminado en su parte superior en una canaleta inclinada, desde la que cae la bola desde una altura de 50 ± 1 cm. sobre el centro de la placa. En la **Figura 6.2_ 47** se detalla la forma y dimensiones de este dispositivo.

E. BALANZA

Una balanza con capacidad mínima de 1 kg y precisión de 0,01 g.

F. HORNO

Con regulación de temperatura hasta 150° C y una precisión de $\pm 1^\circ$ C. Debe disponer de bandejas horizontales para un mínimo de seis placas de ensayo.

G. TAMICES

Tamices de: 4 mm (N° 5); 6,3 mm (1/4"); 9,5 mm (3/8"); 14 mm de luz de malla, Bolivia.

H. CÁMARA HÚMEDA

I. CANASTILLOS METÁLICOS

Deben ser de tamaño adecuado y fabricados con malla de 3 mm.

6.2.3.15.3. PROCEDIMIENTO

A. PREPARACIÓN DE LOS ÁRIDOS

Se seca en el horno, a 105 - 110° C, una cantidad representativa y suficiente de los áridos que se vayan a utilizar en la obra. Según su granulometría, se tamizan para obtener una o más de las siguientes fracciones de ensayo (dado que el ensayo debe realizarse con los áridos en el mismo estado de limpieza que tengan en la obra, hay que cuidar que todas estas manipulaciones no alteren sustancialmente este estado): (Tamices) 4/6,3 mm; 6,3/9,5 mm y 9,5/14 mm.

- Áridos para vía seca. De cada fracción por ensayar elija grupos de 100 partículas de gravilla, que debe reservar en recipientes aparte hasta el ensayo.
- Áridos para vía húmeda. Elija igualmente grupos de 100 gravillas cada uno, con el fin de saturar los áridos sin alterar su estado inicial de limpieza. Coloque cada grupo en un cestillo de tela metálica y manténgalos en una cámara húmeda saturada durante mínimo 24 h, hasta el momento del ensayo.
- Ligantes.** En general se puede utilizar cualquier ligante que sea apropiado para los tratamientos superficiales con riego, como es el cemento asfáltico, emulsiones y eventualmente otros materiales asfálticos. En la **Tabla 6.2_40** se indican los aportes de ligante en función del tamaño de la gravilla.

Tabla 6.2_40. CANTIDAD DE LIGANTE RESIDUAL (kg/m²)

Tipo de Ligante	Gravilla o Tamaño (mm)		
	4/6,3	6,3/9,5	9,5/14
Cemento Asfáltico	1,0	1,1	1,3
Alquitranes	1,0	1,2	1,6
Asfaltos Líquidos	1,0	1,1	1,3
Asfaltos Fluxados	1,0	1,1	1,2
Emulsiones Asfálticas	0,8	1,0	1,2

A.1. Preparación de las Placas de ensayo

- Pesada del ligante.** Para cada ensayo, prepare un mínimo de tres placas perfectamente planas, limpias y secas; pese directamente sobre cada una la cantidad correspondiente de ligante, según la **Tabla 6.2_40**

- i. **Ligantes viscosos.** Cuando utilice ligantes que necesiten calentarse para su empleo, coloque la placa en posición horizontal en el horno a la temperatura adecuada, hasta que todo el ligante se haya extendido y cubra de manera uniforme la superficie total de la placa, ayudándose si fuera preciso con una varilla fina. Sobre el ligante caliente extienda enseguida las cien gravillas para el ensayo, de forma que queden uniformemente repartidas sobre toda la superficie.

Seguidamente, coloque la placa sobre un suelo horizontal y dé tres pasadas con el rodillo de compactación en un sentido y otras tres en sentido perpendicular al anterior. Finalmente, deje la placa en reposo y en posición horizontal hasta que se enfríe.

- **Ensayos por vía seca y por vía húmeda.** El ensayo por vía seca se realiza con los áridos preparados según “Preparación de los áridos” a) y por vía húmeda con los áridos preparados según “Preparación de los áridos” b).
- **Emulsiones.** Cuando utilice como ligante una emulsión bituminosa, una vez pesada sobre la placa la cantidad adecuada, añada las cien gravillas, repartidas con el mismo criterio expuesto en “Preparación de las placas de ensayo” b), y deje en reposo la placa sobre una superficie horizontal hasta que, una vez quebrada la emulsión, el betún residual alcance la necesaria consistencia para poder realizar el ensayo.

Con las emulsiones bituminosas el tiempo de curado depende tanto del tipo y estabilidad de la emulsión como de la naturaleza de los áridos, influyendo, además, su limpieza y las condiciones de temperatura y humedad ambientales.

Dado que el ensayo se ha de realizar cuando la emulsión está completamente quebrada y el betún residual haya alcanzado su consistencia final, el principal problema que se presenta cuando se emplean emulsiones es determinar con cierta exactitud el tiempo de curado, teniendo en cuenta, además, que el quiebre de la emulsión comienza en la zona de contacto con los áridos y es más lenta en el resto de la placa. Una solución puede ser fabricar una serie de placas Vialit de prueba, las cuales se ensayan a tiempos crecientes hasta obtener dos resultados semejantes, realizando entonces el verdadero ensayo en el tiempo así definido.

En general es preferible realizar el curado a temperatura ambiente, aunque éste puede acortarse con un calentamiento suave de la placa. Los ensayos a tiempos crecientes pueden servir igualmente para valorar la acción de un determinado acelerante.

Cuando se emplea una emulsión, el ensayo se realiza normalmente con los áridos secos, preparados según “Preparación de los áridos” a). Como método para valorar la adhesividad en estas condiciones se puede realizar, además, el ensayo sobre placas ya curadas y que se han estado sumergidas en agua 24 h a temperatura ambiente.

A.2. Realización del ensayo

- a) El ensayo se realiza normalmente a una temperatura ambiente no inferior a 10° C, dejando las placas en estas condiciones antes de ensayarlas durante un mínimo de media hora.
- b) Se nivela el dispositivo para ensayo y se coloca la placa en posición invertida, con los áridos hacia abajo, apoyada sobre las puntas de las tres varillas de soporte.
- c) El ensayo consiste en dejar caer la bola libremente, soltándola desde la canaleta inclinada hasta que golpea en el centro de la placa. La caída se repite tres veces en menos de 10seg (Nota 1).

6.2.3.15.4. CÁLCULOS

Terminado el ensayo, recoja todas las gravillas desprendidas. A continuación observe la placa y arranque todos aquellos que puedan desprenderse con la mano; el conjunto de todas las gravillas así recogidas, desprendidas y arrancadas a mano, se divide en dos grupos:

- a) a: Número de gravillas no manchadas por el ligante.
- b) b: Número de gravillas manchadas por el ligante.

Se define la adhesividad en porcentaje como:

$$\text{Adhesividad mediante placa Vialit} = 100 - a$$

Calcule y exprese como resultado del ensayo de Adhesividad con la placa Vialit, el valor medio obtenido de tres placas ensayadas en estas condiciones.

6.2.3.15.5. INFORME

El informe debe incluir los siguientes resultados:

- a) Resultado del ensayo obtenido en "Cálculos".
- b) Tipo y tamaño de gravilla.
- c) Tipo y proporción de ligante.
- d) Tipo y proporción de activante.
- e) Vía seca y/o húmeda.
- f) En el caso de emulsiones, además:

-Condiciones de curado (tiempo, temperatura, etc.)

-Condiciones de ensayo (placa seca, sumergida, etc.)

Nota 1: Para recoger la bola después de cada impacto, se coloca delante del dispositivo de caída una caja con fondo de goma o arena, según la **Figura 6.2_ 47**. Si la placa tiene tendencia a saltar por el impacto, se la sujeta con cuñas apropiadas sobre el bastidor.

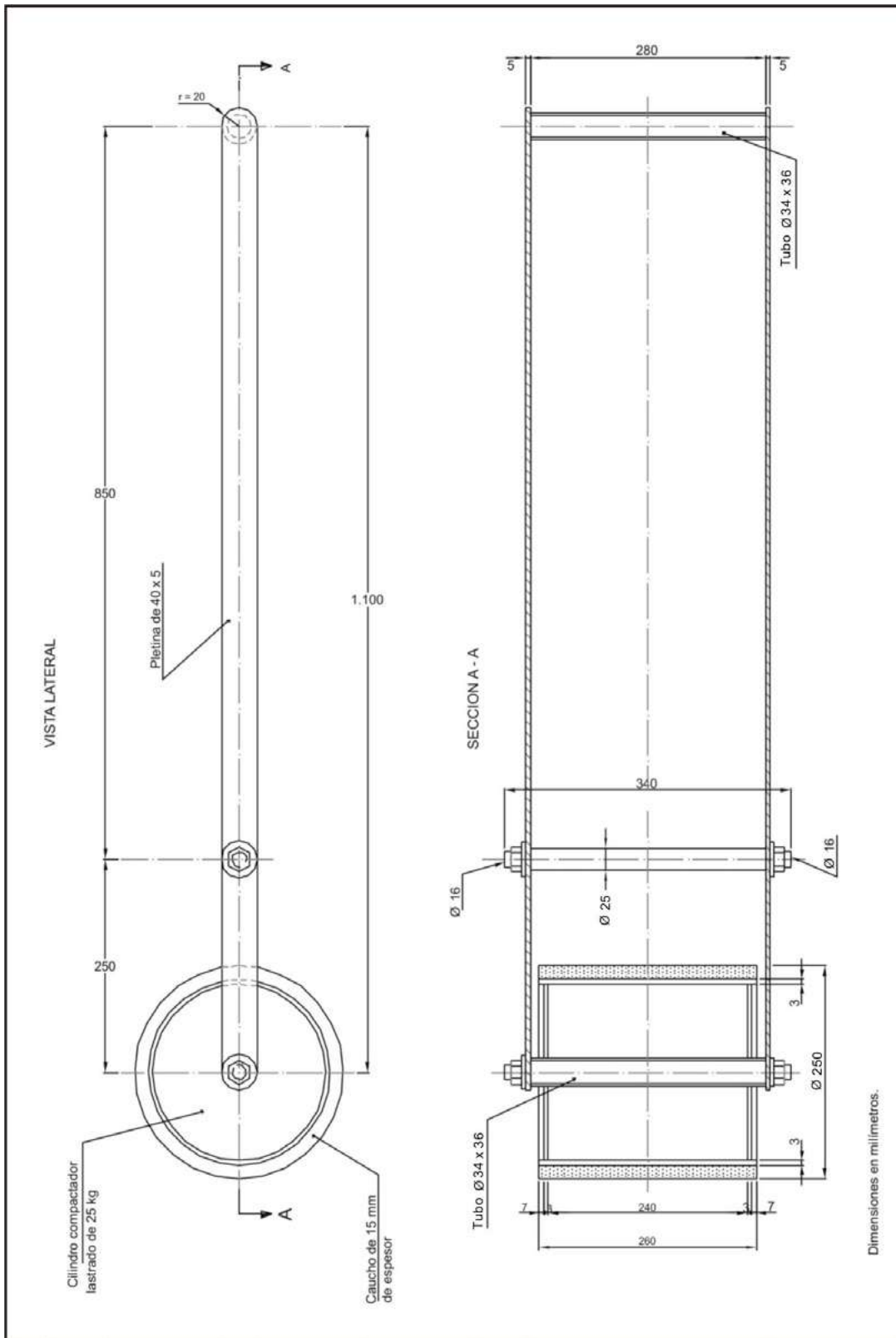


Figura 6.2_46. RODILLO DE COMPACTACIÓN

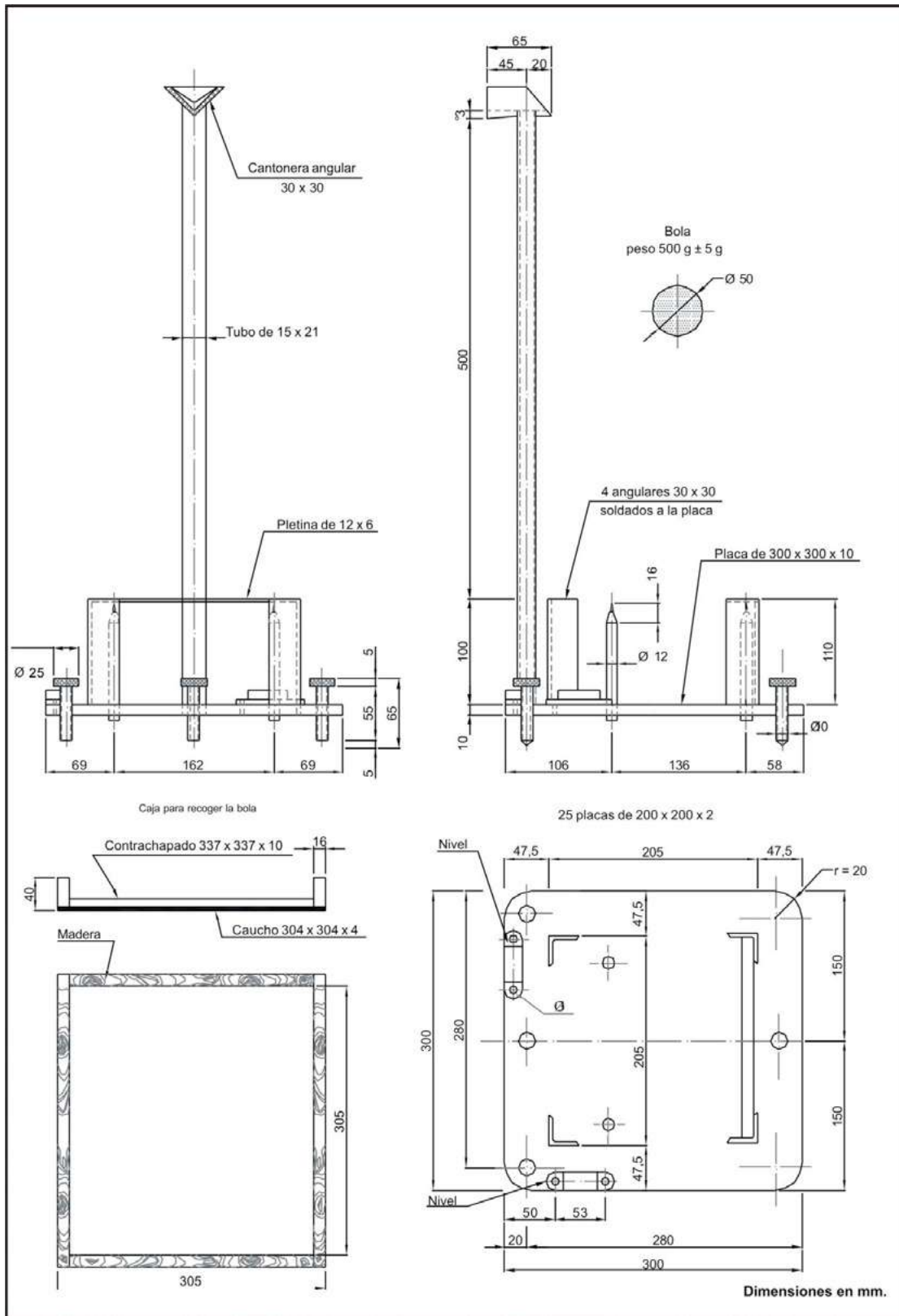


Figura 6.2_47. DISPOSITIVO PARA EL ENSAYO CON PLACA VIALIT

CAPITULO 6.2.4.

ENSAYOS RELACIONADOS A ASFALTOS DILUIDOS

SECCION 6.2.4.1.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL PUNTO DE INFLAMACIÓN MEDIANTE LA COPA CERRADA TAG ASTM D 56 – 05.

6.2.4.1.1. OBJETO

Este método define el procedimiento para determinar el punto de inflamación por el aparato Copa Abierta Tag, de asfaltos cortados que tienen punto de inflamación menor que 93 °C.

Nota 1: Las especificaciones prescriben comúnmente el método de la copa abierta Cleveland para cementos asfálticos y asfaltos cortados que tienen punto de inflamación sobre 79°C.

6.2.4.1.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A. ENSAYADOR COPA ABIERTA TAG

Este aparato consiste en una copa de ensayo de vidrio, baño de agua de cobre, porta termómetro, pequeño mechero a gas, cerilla de inflamación, aparato de nivelación con líquido y protector de corriente de aire. Se describe en detalle en el Anexo.

B. TERMÓMETRO

Debe usar un Pensky Martens, termómetro de rango bajo de - 5 a 100°Cy que cumpla con los requisitos para termómetros 9 C que prescribe la **Norma ASTM E1**.

6.2.4.1.3. BAÑOS

Agua para puntos de inflamación hasta 80°C

Solución 1:1 de agua y glicol para puntos de inflamación sobre 80°C

6.2.4.1.4. PREPARACIÓN DEL APARATO

- a. Coloque el ensayador Copa Abierta Tag en posición nivelada y firme, en una mesa sólida libre de vibraciones; en la posición no deben haber corrientes de aire perceptibles y el tope del ensayador debe estar provisto de una ventana de vidrio resistente, tal que el destello pueda ser visto fácilmente. La temperatura de la sala de $25 \pm 5^\circ\text{C}$ debe mantenerse durante todo el ensayo.
- b. Ajuste las posiciones horizontal y vertical de la cerilla de inflamación, tal que el caño de salida pase por la circunferencia de un círculo que tenga un radio de 152 mm y en un plano nivelado a 3 mm por sobre el borde superior de la copa medido desde el centro del orificio; el caño de salida deberá pasar por el centro de la copa. Haga estos ajustes solamente cuando sea necesario, ya que generalmente se usa continuamente para una serie de ensayos.

Nota 2: El aparato nivelador se usa como un calibrador de la altura de la cerilla.

- c. Coloque el protector de corriente de aire alrededor de la copa tal que los lados formen ángulo recto unos con otros y el ensayador estén bien al fondo del protector.

6.2.4.1.5. PROCEDIMIENTO

- a. Coloque la copa de ensayo de vidrio en el baño metálico y ajuste la porta termómetro de modo que el termómetro quede firmemente afianzado en posición vertical y equidistante entre el borde y centro de la copa, y en una línea que pase a través del centro de la copa y el centro de rotación de la cerilla. Coloque el termómetro de modo que el fondo del bulbo esté 6,0 mm por sobre el fondo interior de la copa.
- b. Llene el baño metálico con agua, o con la solución agua – glicol, que tenga una temperatura al menos 16°C bajo el probable punto de inflamación del material a ser ensayado. Conectar un serpentín enfriador de agua, es conveniente en muchos casos, cuando se usa agua en el baño y debe ser introducido al interior de la cámara entre el baño y la copa con muestra, hasta que un leve derrame se note en el conducto de rebalse. Llene el baño a un nivel aproximado de 3 mm del tope cuando la copa de ensayo esté colocada.
- c. Apoye el aparato nivelador metálico sobre el borde de la copa y llene la copa con el material a ser ensayado hasta que el nivel toque justo las puntas del nivelador (éstas estarán aproximadamente 3 mm bajo el borde de la copa).

Nota 3: La muestra de ensayo debe estar al menos 10°C bajo el punto de inflamación esperado.

- d. Encienda la cerilla de inflamación y ajuste la llama de ensayo, aproximadamente al mismo tamaño de la bolita de comparación o el orificio de referencia en el aparato nivelador, pero en ningún caso mayor que 4 mm.
- e. Aplique calor al baño de manera que la temperatura de la muestra suba a una velocidad de $1 \pm 0,5^\circ\text{C}$ por min.
- f. Comience al menos 10°C bajo el punto de inflamación esperado, ajustando al nivel de la muestra en la copa de ensayo (una jeringa o un cuentagotas medicinal es un medio adecuado para agregar o quitar muestra de la copa), y en intervalos sucesivos de 1°C, pase la cerilla de inflamación a través de la muestra en un movimiento continuo, de manera que el tiempo que demore cada pasada sea de 1 seg. Cada pasada debe hacerse solamente en una sola dirección y la cerilla debe permanecer en la posición “off” al comienzo o fin de la oscilación, excepto cuando la llama se aplica a la muestra.
- g. Informe como punto de inflamación la temperatura leída en el termómetro en el momento en que la llama de ensayo provoca un destello claro en el interior de la copa.

6.2.4.1.6. INFORME

Informe el Punto de Inflamación de la Copa Abierta Tag como la menor temperatura, en grados Celcius, al notar el primer destello o destello inicial.

6.2.4.1.7. ANEXO

A. APARATOS

El ensayador Copa Abierta Tag se muestra en la **Figura 6.2_ 48** consiste de las siguientes partes, las que deben cumplir las dimensiones mostradas y tener características adicionales anotadas:

B. BAÑO DE COBRE

Equipado con un reflujo de nivel constante para mantener el nivel del líquido en el baño, 3 mm bajo los lomos de la copa de vidrio.

C. PORTA TERMÓMETRO

Suministrado con el ensayador como se muestra en la **Figura 6.2_ 48**. Debe soportar firmemente el termómetro en posición vertical.

D. COPA DE ENSAYO DE VIDRIO (FIGURA 6.2_ 49, FIGURA 1)

Moldeada en vidrio transparente, templado, resistente al calor, y libre de defectos superficiales.

E. MEDIDOR DE LÍQUIDO DE LLENADO

Para ajustar convenientemente el líquido en la copa (**Figura 6.2_ 49, Figura 2**). Confeccionado de un metal adecuado de al menos 3 mm de espesor, con dos puntas para ajustar el nivel en la copa de vidrio a 3 mm bajo el tope de la orilla o borde de la copa. También los orificios del aparato nivelador pueden usarse para ajustar el tamaño de la llama de ensayo o para medir la altura de la cerilla sobre el borde de la copa.

F. MECHERO PEQUEÑO A GAS

Redimensiones adecuadas para calentar el baño. Una abrazadera ajustable puede emplearse para ayudar a regular el gas. También puede usarse un calentador eléctrico pequeño, controlado con transformador de voltaje variable.

G. CERILLA DE INFLAMACIÓN

Pequeña, recta, tubo de metal fundido tipo mechero a gas. El extremo de la cerilla debe tener aproximadamente 1,5 mm de diámetro. La llama de inflamación debe mantenerse en plano horizontal fijo por sobre la copa de ensayo, mediante giros del aparato tal que la llama de ensayo pase sobre la circunferencia de un círculo que tiene un radio de al menos 150 mm. Una bolita de 4,0 mm de diámetro puede colocarse en un lugar adecuado para comparación.

H. PROTECTOR DE CORRIENTES DE AIRE

El aparato debe estar protegido de las corrientes de aire por una campana libre de corrientes de aire y emanaciones o un protector adecuado. El protector puede consistir en dos láminas rectangulares de material no combustible, de 610 x 710 mm, fijas por el lado de 710 mm, preferentemente mediante bisagras. Una lámina triangular de 610 x 610 x 860 mm se fija con bisagras a un lado de las láminas para formar una capota cuando el protector se abre. El interior del protector debe pintarse parejo negro.

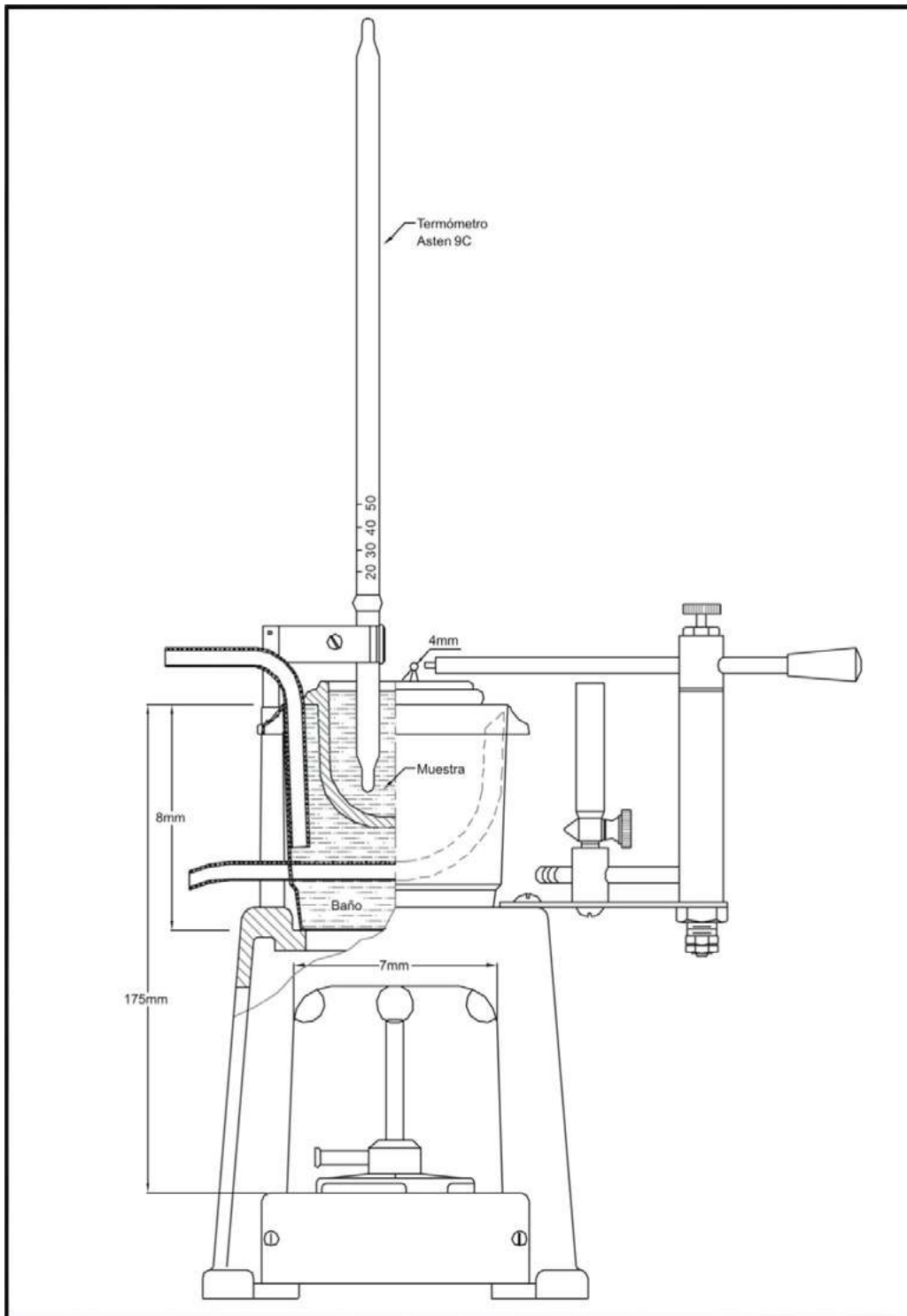


Figura 6.2_48. COPA ABIERTA TAG PARA PUNTOS DE INFLAMACIÓN

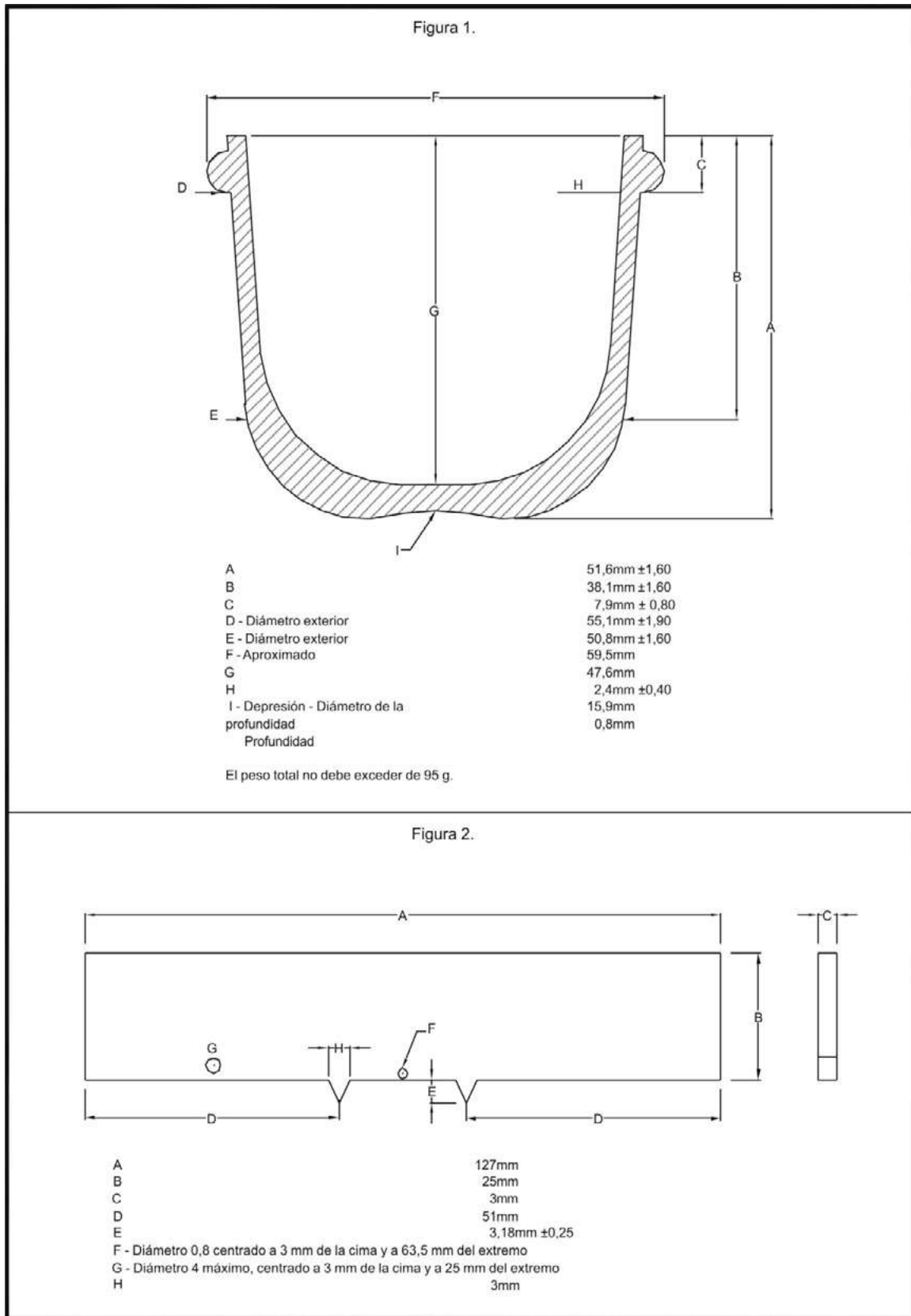


Figura 6.2_49.

FIGURA 1- COPA PARA ENSAYO DE VIDRIO

FIGURA 2- CALIBRACIÓN DEL NIVEL LLENADO

SECCION 6.2.4.2.

MÉTODO DE ENSAYO DE DESTILACIÓN PARA ASFALTOS CORTADOS (ASTM D 402 AASHTO T78-96)

6.2.4.2.1. OBJETO

Este método define el ensayo para la destilación de productos asfálticos cortados.

6.2.4.2.2. SIGNIFICADO

El procedimiento mide la cantidad de constituyentes más volátiles en los productos asfálticos cortados. Las propiedades del residuo, después de la destilación, no son necesariamente características del ligante asfáltico usado en la mezcla original, ni del residuo que puede quedar después de cierto tiempo de utilizarse el producto asfáltico cortado. La presencia de silicona en los asfaltos cortados puede afectar al residuo del destilado por retraso en la pérdida de material volátil, después que el residuo ha sido vaciado al recipiente contenedor.

6.2.4.2.3. EQUIPOS Y MATERIALES

A.MATRAZ DE DESTILACIÓN

De 500 ml de capacidad con tubo lateral, que tenga las dimensiones mostradas en la **Figura 6.2_ 50, Figura 1**.

B.CONDENSADOR

Camisa de vidrio normal, de 200 a300 mm de longitud, con tubo condensador de 450 ± 10 mm de longitud (ver **Figura 6.2_ 51 Figura 1**).

C.ADAPTADOR

Pared de vidrio gruesa (1 mm), con refuerzo en el tope y un ángulo de aproximadamente 105° . El diámetro interior al final de la parte grande de 18 mm aproximadamente y al final de la parte pequeña, no menor de 5 mm. La superficie inferior del adaptador será una curva descendente suave desde el final de la parte mayor a la más pequeña. La línea interior del orificio de salida final debe ser vertical, y el orificio de salida será cortado, no pulido a fuego, en un ángulo de $45 \pm 5^\circ$ con la línea interior.

D.CAMISA PROTECTORA

Hoja metálica medida 22, forrada con 3 mm de asbesto y provista con ventanas adecuadas transparentes, resistentes al calor y no decolorables, de la forma y dimensiones mostrada en la **Figura 6.2_ 50 Figura 2**, usada para proteger el matraz de corrientes de aire y para reducir la radiación. La cubierta es de dos partes de cartón prensado de 6,45 mm.

E.PROTECTOR Y SOPORTE DEL MATRAZ

Dos mallas de abertura aproximada de 1,18 mm, tejidas de alambre de níquel - cromo u otro resistente al calor, de 150 x 150 mm, dispuestas sobre un trípode o anillo.

F.FUENTE DE CALOR

Quemador a gas ajustable tipo Bunsen no equivalente.

G.RECIBIDORES

Probetas graduadas de 100 ml conforme a graduación B, **Figura 6.2_ 50 Figura 2**, de la **Norma ASTM E- 133**, o recipientes de 100 ml crow conforme a British Standard N° 658: 1962 (**ver Figura 6.2_ 51 Figura 2**).

Nota 1: Recipientes de capacidad pequeña que tengan divisiones de 0,1 ml pueden ser usados cuando las expectativas de volumen total destilado son bajas y se requiere de una mayor exactitud.

H.CONTENEDOR DEL RESIDUO

Un recipiente de metal sin costura de 240 ml, con tapa deslizable, de 75 ± 5 mm de diámetro y 55 ± 5 mm de altura. Como medida de precaución, si el residuo se inflama después de vaciado, provéase de una tapa de material y tamaño adecuado para extinguir las llamas en el recipiente de hojalata de 240 ml.

I.TERMÓMETRO

Termómetro 8 C, conforme a la norma ASTM E1 o termómetro 6 C IP conforme a la especificación IP para Termómetros Normales.

J.BALANZA

De 0,1 g de precisión.

6.2.4.2.4. PREPARACIÓN DEL APARATO

- Calcule la masa de 200 ml de la muestra a partir del peso específico del material a $15,5^{\circ}$ C. Pese esta cantidad $\pm 0,5$ g en el matraz de 500 ml.
- Coloque el matraz en la camisa protectora soportada por las dos mallas de alambre sobre un trípode o anillo. Conecte el tubo condensador con el tubo lateral del matraz con una unión de corchos hermética. Afirme el condensador de manera que el eje del bulbo del matraz a través del centro de su cuello esté vertical. Ajuste el adaptador sobre el final del tubo condensador, de manera que la distancia entre el cuello del matraz y el orificio de salida del adaptador sea 650 ± 50 mm (**ver Figura 6.2_ 51**).
- Inserte el termómetro ajustadamente a través del corcho en el cuello del matraz de forma que el bulbo del termómetro permanezca en el fondo del matraz. Alce el termómetro a 6,5 mm desde el fondo del matraz, usando la escala de divisiones del termómetro para estimar los 6,5 mm como la distancia sobre la superficie del corcho.
- Proteja el quemador con un protector o chimenea adecuada. Coloque el recipiente de manera que el adaptador alcance al menos 25 mm de la marca de 100 ml, pero nunca bajo ésta. Cubra la probeta cuidadosamente con un papel secante o material similar, de peso adecuado, previamente cortado para colocar el adaptador fácilmente.
- El matraz, tubo condensador, adaptador y recipiente deben estar limpios y secos antes de comenzar la destilación. Coloque el recipiente del residuo de 240 ml con su cubierta en un área libre de corrientes de aire.
- Circule agua fría a través del tubo condensador. Use agua caliente, si es necesario, para prevenir la formación de sólidos condensados en el tubo condensador.

6.2.4.2.5. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- a. Agite completamente la muestra, calentando si es necesario para asegurar homogeneidad, antes de sacar una porción para análisis.
- b. Si existe agua suficiente para causar espuma o burbujeo ruidoso, deshidrate una muestra de no menos de 250 ml por calentamiento en un matraz de destilación suficientemente grande para prevenir espuma sobre el interior del tubo lateral. Cuando la espuma cese, detenga el destilado. Si algún aceite liviano ha destilado, separe y vacíe éste al interior del matraz cuando el contenido ha enfriado lo suficiente para prevenir pérdida de aceites volátiles.
- c. Mezcle el contenido del matraz completamente antes de extraer la muestra para análisis.

6.2.4.2.6. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

- a. Corrija la temperatura observada en la destilación, si la elevación del laboratorio en el cual se realiza la destilación es 150 m más sobre el nivel del mar. Las correcciones a las temperaturas por efecto de altitud se muestran en **Tabla 6.2_ 41**. Si conoce la presión barométrica predominante, en milímetros de mercurio, corrija aproximando a 1° C la temperatura observada con la corrección mostrada en **Tabla 6.2_ 42** (Nota 2). No corrija cuando la columna del termómetro esté en movimiento.

Nota 2: La **Tabla 6.2_ 42** abarca un amplio rango de temperaturas, desde 160 a 360° C; y esta especificación es preferida mundialmente, antes que las especificaciones AASHTO y ASTM / 1 P.

- b. Aplique calor de manera que la primera gota de destilado caiga del final del tubo lateral entre 5 y 15 min. Conduzca la destilación de manera de mantener las velocidades de gota que se indican (el conteo de las gotas debe hacerse en el extremo del adaptador).
 - 50 a 70 gotas/ min. Para 260° C.-20 a 70 gotas/ min. Entre 260 y 316° C.
 - No más de 10 min. Para completar la destilación desde 316 a 360° C.

Anote los volúmenes de destilado en el recipiente aproximado a 0,5 ml, a la temperatura corregida. Si el volumen de destilado recuperado es crítico, use recipientes graduados en divisiones de 0,1 ml y sumergidos en un baño transparente, mantenido a $15,5 \pm 3^\circ \text{C}$.

Nota 3: Algunos productos asfálticos cortados producen muy poco o nada de destilado en el rango de temperatura sobre 316° C. En ese caso llega a ser impracticable mantener la velocidad de destilación especificada. En esas situaciones el propósito del Método, es saber si la velocidad de ascenso de la temperatura excede de 5° C/min.

Tabla 6.2_41. TEMPERATURA CORREGIDA PARA FRACCIONES DE DESTILADO A DISTINTAS ALTITUDES

Elevación sobre el Nivel del mar(m)	Temperaturas para Fracciones de Destilado a Distintas Altitudes (° C)				
-305	192	227	263	318	362
-152	191	226	261	317	361
0	190	225	260	316	360
152	189	224	259	315	359
305	189	224	258	314	358
457	188	223	258	313	357
610	187	222	257	312	356
762	186	221	256	312	355
914	186	220	255	311	354
1.067	185	220	254	310	353
1.219	184	219	254	309	352
1.372	184	218	253	308	351
1.524	183	218	252	307	350
1.676	182	217	251	306	349
1.829	182	216	250	305	349
1.981	181	215	250	305	348
2.134	180	215	249	304	347
2.286	180	214	248	303	346
2.438	179	213	248	302	345

- c. Cuando la temperatura alcance la temperatura corregida de 360° C, apague la llama y saque el matraz y termómetro. Con el matraz en posición de vaciado, saque el termómetro e inmediatamente vacíe el contenido en el recipiente para el residuo. El tiempo total desde que se corta la llama y comienza el vaciado no debe exceder de 15 seg. Cuando se está vaciando, el tubo lateral debe estar totalmente horizontal para evitar que el condensado en el tubo empiece a regresar al residuo.

Nota 4: La formación de una película en la superficie del residuo durante el enfriamiento atrapa vapores, los cuales condensan y causan penetraciones más altas cuando ellos son nuevamente mezclados con la muestra. Si la película empieza a formarse durante el enfriamiento, debe ser empujada suavemente a un lado con una espátula, con un mínimo de alteración de la muestra.23. Deje que el condensador se vacíe al recipiente y anote el volumen total recolectado como el destilado total a 360° C.

- d. Cuando el residuo se enfríe, en el momento que deje de humear, mezcle completamente y vacíe en los recipientes para ensayar las propiedades tales como penetración, viscosidad o punto de ablandamiento, de acuerdo con estos Métodos, AASHTO, ASTM o IP, según se requiera.

Tabla 6.2_42. FACTOR PARA CALCULAR CORRECCIONES DE TEMPERATURA

Temperatura Nominal ° C	Corrección por mm Hg. de Diferencia en Presión(*) ° C
160	0,0514
175	0,0531
190	0,0549
225	0,0591
250	0,062
260	0,0632
275	0,065
300	0,068
316	0,0698
325	0,0709
360	0,0751

(*) Para restarlo, en caso que la presión barométrica esté bajo 760 mm Hg. o sumarse en caso que la presión esté sobre 760 mm Hg.

- Corrección = (Presión observada - 760) x Corrección por mm Hg.

Ejemplo:

- Presión barométrica = 748 mm Hg.
- Temperatura Nominal observada = 260° C
- Corrección = (748 - 760) x 0,0632 = 0,758
- Temperatura = 260 - 0,758 = 259° C (redondeado para aproximar a 1° C)

- e. Si se desea, el destilado o la combinación de destilados de varios ensayos puede someterse a un destilado adicional, de acuerdo con **AASHTO T 115**, o de acuerdo con **AASHTO T 62** cuando el destilado es de origen alquitrán de hulla.

6.2.4.2.7. CÁLCULOS E INFORME

A. RESIDUO ASFÁLTICO

Calcule el porcentaje de residuo aproximando a 0,1 punto porcentual como sigue:

$$R = \left[\frac{200 - DT}{200} \right] \times 100$$

Donde:

R: Contenido de residuo. (% en volumen).

DT: Destilado total recuperado a 360° C (ml).

Informe como el residuo de destilación a 360° C, porcentaje en volumen por diferencia.

B. DESTILADO TOTAL

Calcule el porcentaje total destilado aproximando a 0,1 puntos porcentuales como sigue:

$$DT \% = (DT / 200) \times 100$$

Infórmelo como destilado total a 360° C, porcentaje en volumen

C. FRACCIONES DESTILADAS

- a) Determine los porcentajes de volumen de la muestra original dividiendo el volumen (en ml) de la fracción observada por 2. Informe como porcentaje de volumen aproximado a 0,1 punto porcentual como sigue:
- Hasta 190°C
 - Hasta 225°C
 - Hasta 260°C
 - Hasta 316°C

- b) Determine los porcentajes de volumen del total destilado dividiendo por el volumen en milímetros observado a 360°C y multiplicando por 100. Informe como el destilado, porcentaje en volumen del destilado total a 360°C, aproximando a 0,1 punto porcentual, como sigue:

- Hasta 190°C
- Hasta 225°C
- Hasta 260°C
- Hasta 316°C

Cuando la penetración, viscosidad u otro ensayo haya sido llevado a cabo, informe con respecto a este método como también cualquier otro método empleado.

Ejemplo: Penetración (**Sección 6.2.1.3**) de residuo según 6.2.4.2.

6.2.4.2.8. PRECISIÓN

Los siguientes criterios serán usados para juzgar la aceptabilidad de resultados (95% Probabilidad).

A. REPETIBILIDAD

Valores duplicados del mismo operador serán considerados sospechosos, si los porcentajes determinados difieren por más de 1,0 en volumen porcentual de la muestra original.

B. REPRODUCIBILIDAD

Los valores informados por dos Laboratorios serán considerados sospechosos, si los porcentajes informados difieren en más de lo siguiente:

- Fracción Destilada, % en volumen de muestra original
 - Hasta 175°C: 3,5 %
 - Sobre 175°C: 2,0 %
- Residuo, % en volumen por diferencia de la muestra original:
 - 2,0 %.

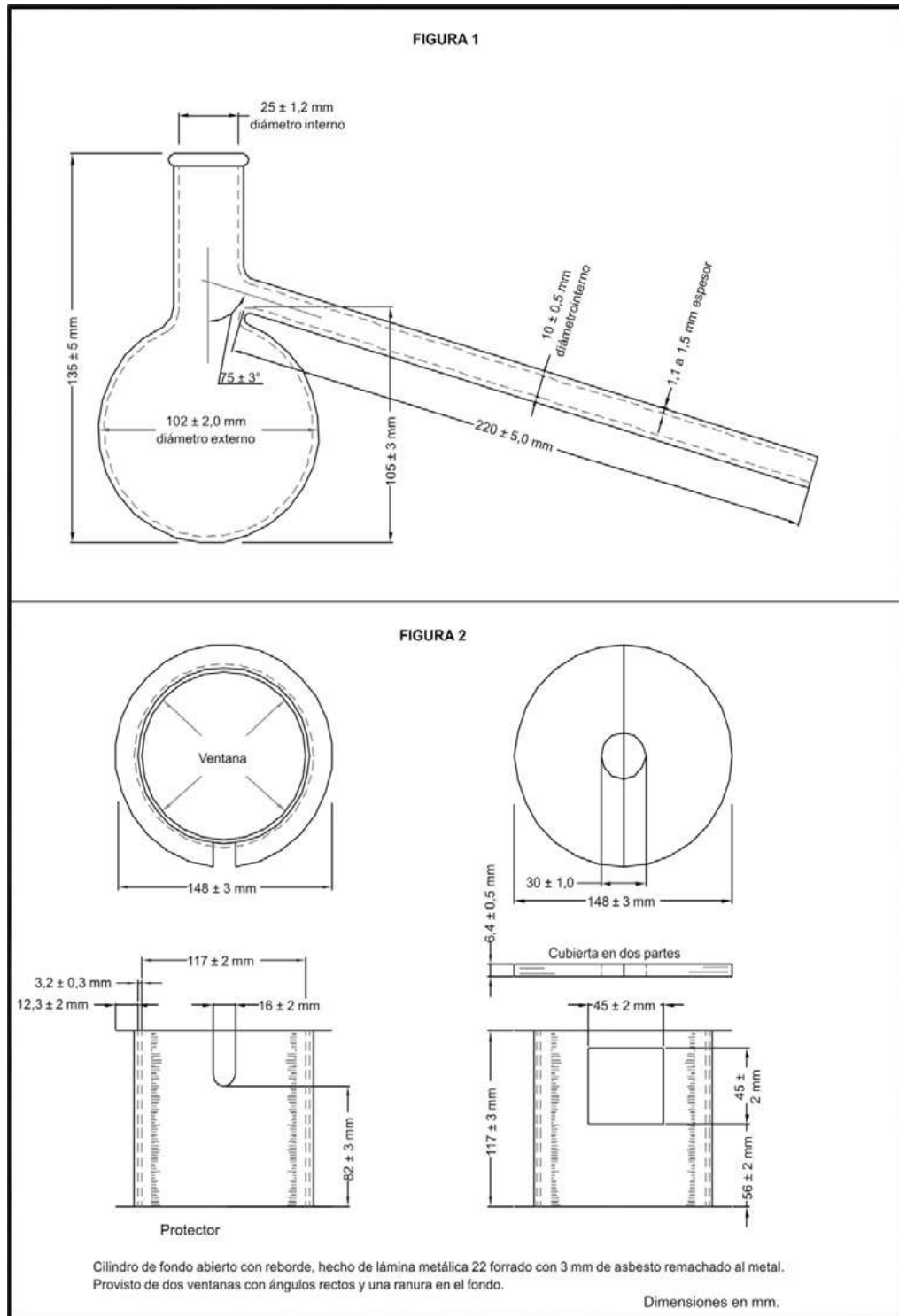


Figura 6.2_50.

FIGURA 1- MATRAZ DESTILADOR

FIGURA 2- CAMISA PROTECTORA

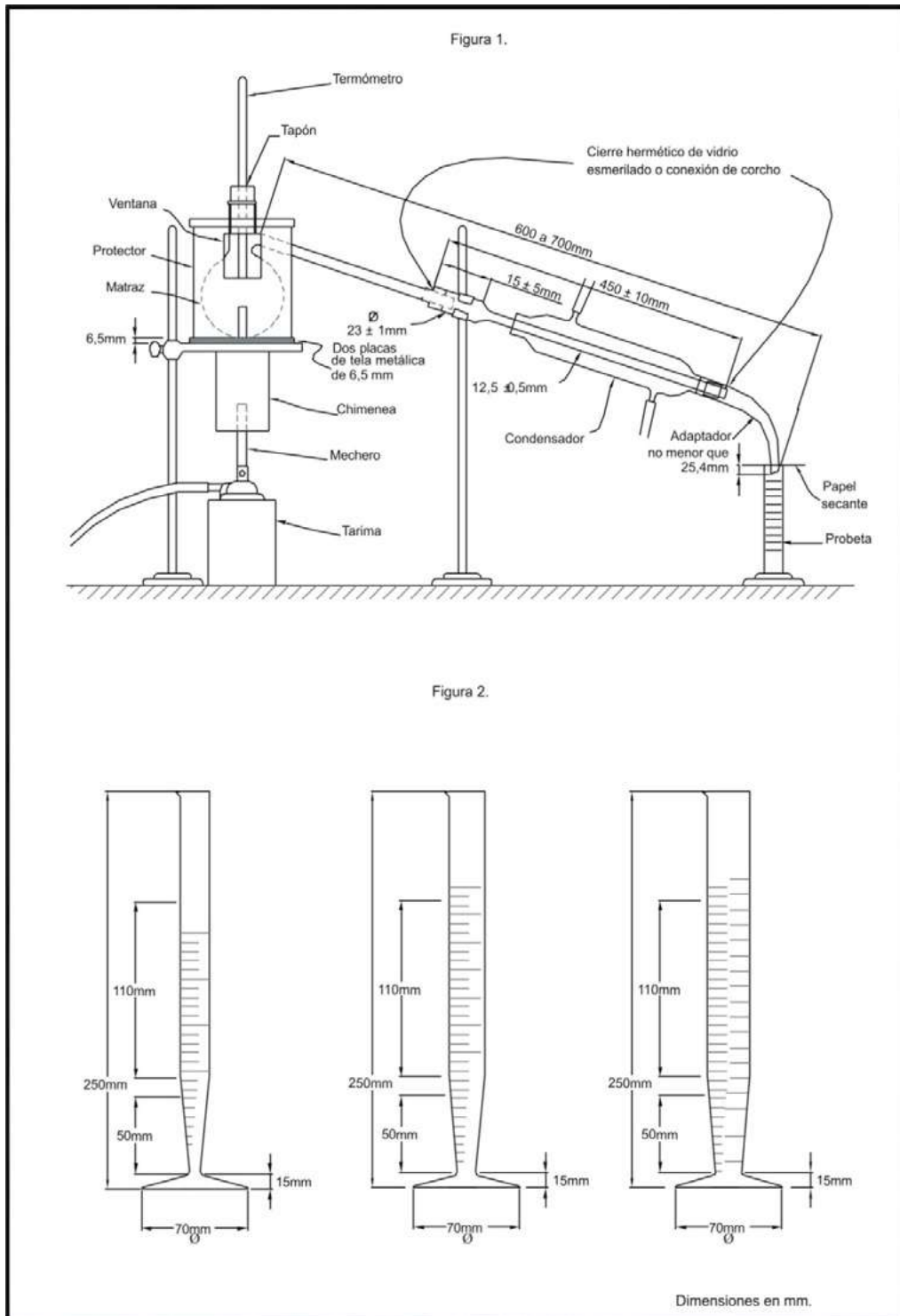


Figura 6.2_51. FIGURA 1- APARATO DE DESTILACIÓN
FIGURA 2- PROBETAS GRADUADAS

CAPITULO 6.2.5.

ENSAYOS RELACIONADOS CON AGREGADOS EN APLICACIONES ASFÁLTICAS

SECCION 6.2.5.1.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE VACÍOS DE ÁRIDOS FINOS NO COMPACTADOS (AASHTO T 304-96)

6.2.5.1.1. OBJETO

Este método describe la determinación del contenido de vacíos sueltos no compactados de agregados finos. Cuando se mide sobre cualquier árido de graduación conocida, el contenido de vacíos da una indicación de la angularidad, esfericidad, y textura superficial del árido comparado con otro árido fino ensayado con la misma graduación. Cuando el contenido de vacíos es graduado (graduación normal o tal como se recibe), y la otra usa varias fracciones de tamaños individuales para determinación de contenido de vacíos.

- c) Muestra Graduada Normal (Método A) - Este método usa una graduación de árido fino normal que se obtiene combinando fracciones individuales de mallas de un análisis típico de mallas de árido fino. Vea "Preparación de las muestras".
- d) Fracciones con Tamaños Individuales (Método B) - Este método usa una de cada tres fracciones de tamaños de árido fino: (a) 2,36 mm (Nº 8) a 1,18 mm (Nº 16); (b) 1,18 mm (Nº 16) a 0,6 mm (Nº 30) y (c) 0,6 mm (Nº 30) a 0,3 mm (Nº 50). Cada tamaño es ensayado separadamente en este método.
- e) Graduación tal como se recibe (Método C) - Este método usa la porción del árido fino menor de malla de 4,75 mm (Nº 4).

Vea la sección Significado y Uso como guía del método a usar.

Los valores indicados en unidades SI deben ser considerados como normales.

Este método no considera todo lo que atañe a tópicos de seguridad, si hay alguno, asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de este método, establecer prácticas apropiadas de seguridad y sanidad y determinar la aplicabilidad de limitaciones reglamentarias previas a su uso.

6.2.5.1.2. SIGNIFICADO Y USO

Métodos A y B proporcionan contenidos de vacíos determinados bajo condiciones normalizadas las que dependen de la forma de las partículas y de la textura del árido fino. Un aumento en el contenido de vacíos por estos procedimientos indica mayor angularidad, menor esfericidad, o textura de la superficie más áspera, o alguna combinación de éstos tres factores. Una disminución en el resultado del contenido de vacíos está asociado con árido fino más redondeado, esférico o de superficies suaves, o una combinación de estos tres factores.

El Método C mide el contenido de vacíos no compactados de la porción del material bajo malla 4,75 mm (Nº 4) tal como es recibido. El contenido de vacíos depende de la graduación, así como de la forma de las partículas y textura.

El contenido de vacíos determinado sobre una muestra graduada normal (Método A) no es directamente comparable con el promedio de contenido de vacíos de tres fracciones de ta-

maño individual de una misma muestra ensayada separadamente (Método B). Una muestra que consista de partículas de tamaño individual tendrá un contenido de vacíos mayor que una muestra graduada. En consecuencia, use ya sea uno u otro método como medida comparativa de forma y textura, e identifique cual método se ha usado para obtener los datos informados. El método C no proporciona una indicación directa de forma y textura si la graduación cambia de una muestra a otra.

- a) La muestra graduada normal (Método A), es más útil como un ensayo rápido el cual indica las propiedades de la forma de las partículas de un árido de graduación fina. Típicamente, el material usado para preparar una muestra graduada normal puede obtenerse de lo que resta de las fracciones de tamaños después de ejecutar un análisis simple de cernido de un árido fino.
- b) Obtener y ensayar fracciones de tamaños individuales (Método B), requiere más tiempo y muestras iniciales más grandes que usando la muestra graduada. En todo caso, el Método B proporciona información adicional concerniente a las características de forma y textura de tamaños individuales.
- c) Ensayar muestras con graduación tal como se reciben (Método C) puede ser útil en seleccionar proporciones de componentes usados en una variedad de mezclas. En general, altos contenidos de vacíos sugieren que el material puede ser mejorado proporcionando finos adicionales al árido fino o puede necesitarse más material cementante para llenar los huecos entre las partículas.
- d) El peso específico seco Bulk del árido fino, se usa para calcular el contenido de vacíos. La efectividad de estos métodos para determinar el contenido de vacíos y sus relaciones con la forma de las partículas y textura depende de que el peso específico seco Bulk de los diferentes tamaños de las fracciones sean iguales, o cerca de eso. El contenido de vacíos es actualmente una función del volumen de cada tamaño de fracción. Si el tipo de roca o minerales, o su porosidad, en cualquiera de los tamaños de fracciones varía marcadamente, puede ser necesario determinar el peso específico de los tamaños de las fracciones usadas en el ensayo.

La información del contenido de vacíos de los Métodos A, B, o C, pueden ser útiles como indicadores de propiedades tales como: necesidad de agua de mezclado para concretos de cemento hidráulico; fluidez, facilidad de bombeo, o factores de trabajabilidad cuando se formulan morteros o lechadas; o, en concretos bituminosos, el efecto del árido fino sobre la estabilidad o vacíos en el árido mineral; o la estabilidad de la porción del árido fino de una base de árido grueso.

6.2.5.1.3. DEFINICIONES

Términos en uso en este método están definidos *en ASTM C125 o ACI 116R*.

6.2.5.1.4. EQUIPOS Y MATERIALES

A.MEDIDA CILÍNDRICA

Un cilindro recto de aproximadamente 100 ml de capacidad que tenga un diámetro interior de aproximadamente 39 mm y una altura interior de aproximadamente 86 mm de cañería de agua en cobre extrudido que cumpla Especificaciones **ASTM B88 Tipo M o B88 M Tipo C**. El fondo de la medida debe ser de metal de a lo menos 6 mm de espesor, firmemente sellado al cilindro, y debe estar provisto de un medio para alinear el eje del cilindro con el del embudo. **(Vea Figura 6.2_ 52)**.

B. EMBUDO

La superficie lateral del cono vertical truncado estará inclinada $60 \pm 4^\circ$ con la horizontal con una abertura de $12,7 \pm 0,6$ mm de diámetro. La sección del embudo debe ser una pieza de metal, suave en el interior y a lo menos de 38 mm de alto. Tendrá un volumen de a lo menos 200 ml y debe estar provisto de un envase suplementario de vidrio o metal para proporcionar el volumen requerido. **(Vea Figura 6.2_ 53)**

Nota 1: La parte superior del picnómetro vendido por Hogentogler y Cía., Inc., 9519 Gerwig, Columbia, MD 21045, 410-381-2390 es satisfactorio para la sección del embudo, excepto que la medida de la abertura tiene que agrandarse y cualquier rebaba o reborde aparentes deben ser removidos con un limado ligero o lijado antes de su uso. Esta parte superior de picnómetro debe usarse con un frasco de vidrio apropiado con el fondo removido **(Vea Figura 6.2_ 53)**

C. SOPORTE DEL EMBUDO

Un soporte con tres o cuatro patas capaz de soportar firmemente el embudo en posición con el eje del embudo en línea (dentro de un ángulo de 4° y un desplazamiento de 2 mm) con el eje de la medida cilíndrica. La abertura del embudo debe estar a 115 ± 2 mm sobre la parte superior del cilindro. Una disposición apropiada se muestra en la **Figura 6.2_ 53**.

D. PLACA DE VIDRIO

Una placa cuadrada de vidrio de aproximadamente 60 x 60 mm con espesor mínimo de 4 mm se usa para calibrar la medida cilíndrica.

E. BANDEJA

Una bandeja de plástico o metal de dimensiones suficientes para acomodar el soporte del embudo y prevenir pérdida de material. El propósito de esta bandeja es capturar y retener partículas de agregado fino que rebalsen de la medida durante el llenado y enrasado.

F. ESPÁTULA DE METAL

Con una hoja de aproximadamente 100 mm de largo y un ancho de a lo menos 20 mm con bordes rectos. El borde recto de la hoja de la espátula se usa para enrasar el agregado fino.

G. BALANZA

Precisa y legible a $\pm 0,1$ g dentro del rango de uso, capaz de pesar la medida cilíndrica y su contenido.

H. CALIBRACIÓN DE LA MEDIDA CILÍNDRICA

Aplique una capa ligera de grasa al borde superior seco de la medida cilíndrica vacía. Pese la medida, la grasa y la placa de vidrio. Llene la medida con agua des-ionizada y recién hervida a temperatura entre 18 a 24°C . Anote la temperatura del agua. Coloque la placa de vidrio sobre la medida, asegurándose que no hay burbujas de aire. Seque las superficies exteriores de la medida y determine la masa combinada de la medida, placa de vidrio, grasa, y agua por pesada. Después de la pesada final, remueva la grasa, y determine la masa de la medida limpia, seca y vacía para ensayos posteriores.

Calcule el volumen de la medida como sigue:

$$V = 1000 * M / D$$

Donde:

- V: Volumen del cilindro, ml.
- M: Masa neta de agua, g.
- D: Densidad del agua (vea tabla en ASTM C 29/C 29/M para la densidad a la temperatura usada, kg/m³).

Determine el valor aproximando a 0,1 ml.

Nota 2: Si el volumen de la medida es mayor de 100,0 ml, puede ser deseable esmerilar el borde superior del cilindro hasta que el volumen sea exactamente 100.0 ml, para simplificar cálculos posteriores.

6.2.5.1.5. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. EXTRACCIÓN DE LAS MUESTRAS

La(s) muestra(s) para este ensayo deben obtenerse usando **ASTM D 75 y ASTM C 702**, o de muestras de análisis de cernido usadas para ASTM C 136, o de áridos extraídos de especímenes de concreto asfáltico.

Para Métodos A y B, la muestra se lava sobre una malla de 0,150 mm (Nº 100) o 0,075 mm (Nº 200) de acuerdo con **ASTM C 117** y después secada y cernida en fracciones separadas en tamaño de acuerdo a procedimientos de **ASTM C 136**. Mantenga las fracciones de tamaño necesarias obtenidas de uno o más análisis de cernido en condición seca y en envases separados para cada medida. Para el Método C, seque una porción cuarteada de la muestra como se recibe de acuerdo al procedimiento de secado de **ASTM C 136**.

B. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

B.1. Método A - Muestra de graduación normal.

Pese y combine las siguientes cantidades de áridos finos los que han sido secados y cernidos de acuerdo a ASTM C 136.

Fracciones de Tamaños Individuales	Masa (g)	%
2,36 mm (Nº8) a 1,18mm (Nº16)	44	23,2
1,18mm (Nº16) a 0,6mm (Nº30)	57	30,0
0,6mm (Nº30) a 0,3mm (Nº50)	72	37,9
0,3mm (Nº50) a 0,15mm (Nº100)	17	8,9
TOTALES	190	100

La tolerancia de cada una de estas cantidades es ± 0,2 g.

B.2. Método B - Fracciones de tamaños individuales.

Prepare una muestra separada de 190 g de árido fino, secada y tamizada de acuerdo con ASTM C 136, para cada una de las siguientes fracciones:

Fracción de Tamaño Individual	Masa, g
2,36mm (Nº8) a 1,18mm (Nº16)	190
1,18mm (Nº16) a 0,6mm (Nº30)	190
0,6mm (Nº30) a 0,3mm (Nº50)	190

La tolerancia de cada una de estas cantidades es ± 1 g. No mezcle estas muestras juntas.

Cada tamaño se ensaya separadamente.

B.3.Método C – Graduación como es recibida

Pase la muestra (secada de acuerdo con ASM C 136) a través de la malla de 4,75 mm (Nº 4). Obtenga una muestra de 190 g del material que pasa la malla de 4,75 mm (Nº 4) para ensayo.

C.PESO ESPECÍFICO DEL ÁRIDO FINO

Si el peso específico seco Bulk del árido fino de la fuente es desconocido, determínelo sobre el material menor a 5 mm (Nº4) de acuerdo a ASTM C128. Use este valor en los cálculos siguientes a menos que algunos tamaños de fracciones difieran por más de 0,05 del peso específico típico de la muestra completa, en cuyo caso el peso específico de la fracción (o fracciones) en ensayo deben determinarse.

Un indicador de diferencias en peso específico de varios tamaños de partículas, es una comparación de pesos específicos efectuados sobre áridos finos en diferentes graduaciones. Pesos específicos pueden efectuarse sobre graduaciones con o sin fracciones específicas de tamaño de interés.

Si las diferencias de peso específico difieren en más de 0,05, determine los pesos específicos de los tamaños individuales de 2,5 mm (Nº8) a 0,16 mm (Nº100) para uso con el método A o de las fracciones de tamaños individuales para uso con el método B ya sea por medidas directas o por cálculo usando los datos de pesos específicos de graduaciones con o sin los tamaños de fracciones de interés. Una diferencia de peso específico de 0,05, cambiará el contenido de vacíos calculado en cerca de uno por ciento.

6.2.5.1.6. PROCEDIMIENTO

- a. Mezcle cada muestra con la espátula hasta que parezca estar homogénea. Coloque el frasco y la sección del embudo en el soporte y centre la medida cilíndrica como se muestra en **Figura 6.2_ 53**. Use un dedo para bloquear la abertura del embudo. Vierta la muestra de ensayo en el embudo. Enrase el material en el embudo con la espátula. Remueva el dedo y permita que la muestra caiga libremente dentro de la medida cilíndrica.
- b. Después de vaciar el embudo, remueva el montón de exceso de árido fino de la medida cilíndrica con una sola pasada vertical con el ancho de la hoja usando la parte recta del canto en ligero contacto con la parte superior de la medida. Hasta que esta operación no se haya completado, tenga buen cuidado de evitar cualquier vibración o disturbio que pueda causar compactación del árido fino en la medida cilíndrica. (Nota 3). Cepille los granos adheridos exteriormente a la medida cilíndrica y determine la masa de ésta y su contenido aproximando a 0,1 g. Guarde todas las partículas de árido fino para un segundo ensayo.

Nota 3: Después de enrasada, la medida cilíndrica debe golpearse suavemente para compactar la muestra y facilitar la transferencia desde el recipiente a la balanza sin perder nada de la muestra 27. Recombinela muestra de la bandeja de retención y de la medida cilíndrica y repita el procedimiento. Los resultados de dos intentos se promedian.

Vea " Cálculos".

- c. Anote la masa de la medida vacía. También, después de cada intento, anote la masa de la medida y del árido fino.

6.2.5.1.7. CÁLCULOS

- Calcule los vacíos no compactados de cada determinación como sigue:

$$U = \frac{V - \left(\frac{F}{G}\right)}{V} \times 100$$

- Para muestras graduadas Normales (Método A), calcule el promedio de vacíos no compactados de dos determinaciones e informe el resultado como U_s .
- Para Fracciones Tamaños Individuales (Método B), calcule:

Primero, el promedio de vacíos no compactados para la determinación hecha sobre cada una de las tres muestras de fracciones de tamaños:

U_1 = Vacíos No Compactados, 2,5 mm (Nº8) a 1,25 mm (Nº16), por ciento

U_2 = Vacíos No Compactados, 1,25 mm (Nº16) a 0,63 mm (Nº30), por ciento

U_3 = Vacíos No Compactados, 0,63 mm (Nº30) a 0,315 mm (Nº50), por ciento

Segundo, el promedio de vacíos no compactados (U_m) incluyendo los resultados de todos los tres tamaños:

$$U_m = \frac{U_1 + U_2 + U_3}{3}$$

Para graduaciones tal como se reciben (Método C), calcule el promedio de vacíos no compactados para las dos determinaciones e informe el resultado como UR.

6.2.5.1.8. PRECISIÓN Y SESGO

A. PRECISIÓN

- La desviación normal de un solo operador ha resultado ser 0,13 % de vacíos (1S), usando la arena de sílice graduada normal como se describe en **ASTM C 778**. En consecuencia, resultados de dos ensayos propiamente ejecutados por un mismo operador sobre muestras similares, no deben diferir por más de 0,37 % (D2S).
- La desviación normal de multi - laboratorios ha resultado ser 0,33 % (1S), usando árido fino como se describe en ASTM C 778. En consecuencia, resultado de dos ensayos propiamente ejecutados por diferentes laboratorios sobre muestras similares, no deben diferir por más de 0,93 % (D2S).
- Los planteamientos de arriba conciernen a contenidos de vacíos determinados sobre "arenas graduadas normales" como se describen en Especificaciones C 778, la que es considerada redondeada, y es graduada desde 0,63 mm (Nº30) a 0,16 mm (Nº100), y puede no ser típica de otros áridos finos. Se necesitan datos adicionales de precisión para ensayos de áridos finos que tengan diferentes niveles de angularidad y textura ensayados de acuerdo con este Método de Ensayo.

B.SESGO

- Ya que no hay material apropiado de referencia aceptado para determinar el sesgo por los procedimientos de este Método de Ensayo, no se ha determinado sesgo.

6.2.5.1.9. INFORME

Para Muestra de Graduación Normal (Método A), informe:

- Los Vacíos No Compactados (U_s) en porcentaje, aproximando al décimo por ciento (0,1%).
- El valor de gravedad específica usado en los cálculos.

Para Fracciones de Tamaños Individuales (Método B), informe:

- El porcentaje de vacíos, aproximando al décimo por ciento (0,1%).

Para Vacíos No Compactados para fracciones de tamaños:

- 2,5 mm (Nº8) a 1,25 mm (Nº16) (U1);
- 1,25 mm (Nº16) a 0,63 mm (Nº30) (U2);
- 0,63 mm (Nº30) a 0,315 mm (Nº50) (U3),

Informe:

Promedio de Vacíos No Compactados (U_m)

El (los) valor(es) del peso específico usados en los cálculos, y si el (los) valor(es) del peso específico fueron determinados sobre una muestra graduada o sobre fracciones de tamaños individuales usados en el ensayo.

Para Muestras como Recibidas (Método C), informe:

- Los vacíos no compactados (UR) en porcentaje aproximando al décimo por ciento (0,1%).
- El valor del peso específico usado en los cálculos.

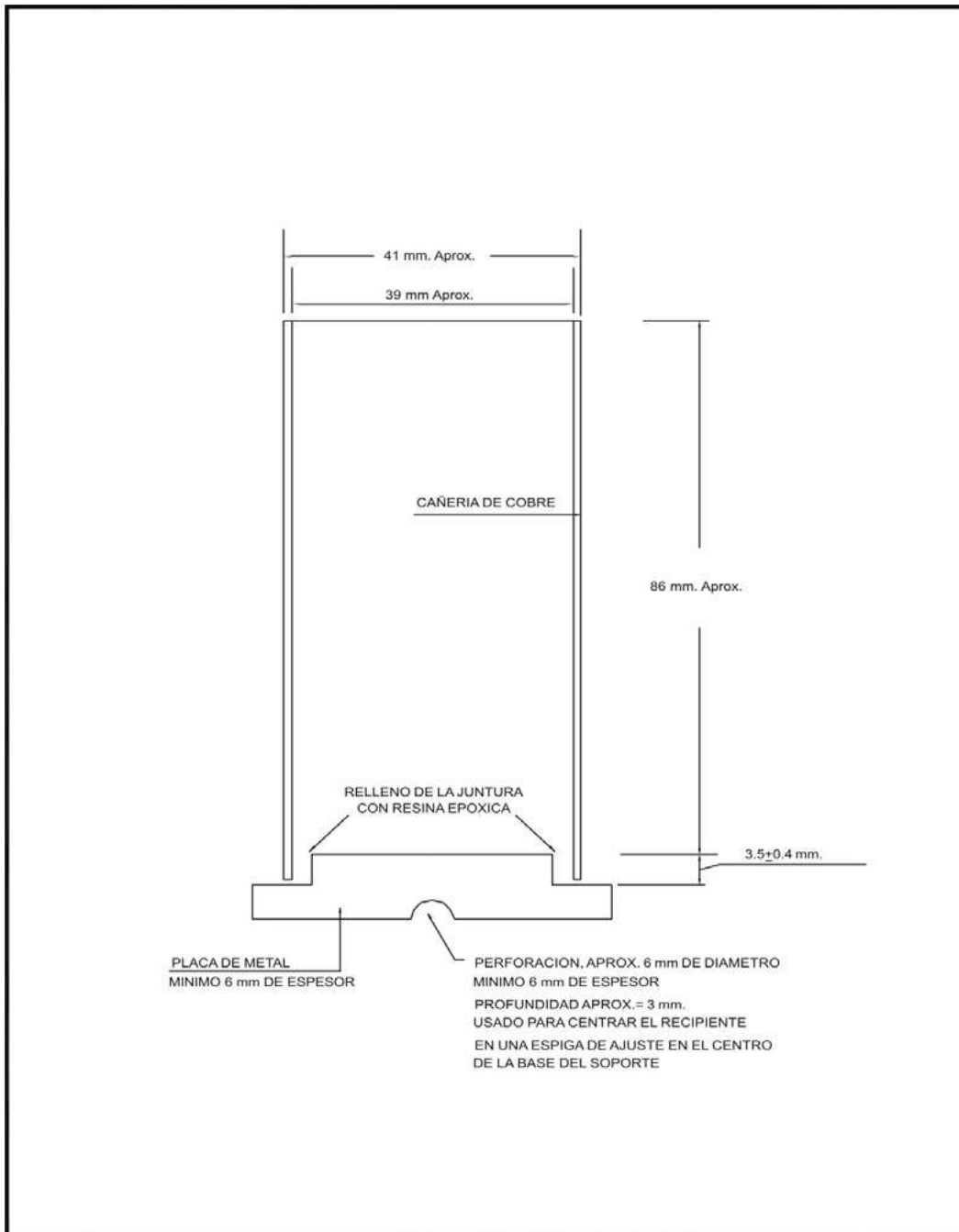


Figura 6.2_52. MEDIDA CILÍNDRICA-100 ML NOMINAL

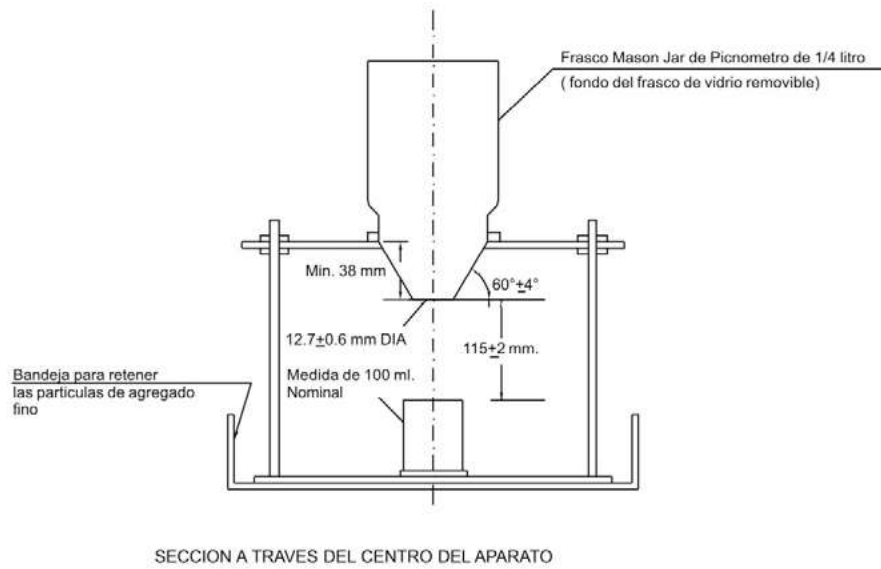


Figura 6.2_53. DISPOSITIVO DE SOPORTE APROPIADO PARA EL EMBUDO CON LA MEDIDA CILÍNDRICA EN POSICIÓN

SECCION 6.2.5.2.

MÉTODO PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DEL FILLER (ASTM D 113 – 9 AASHTO T 51)

6.2.5.2.1. OBJETO

El método tiene por objeto el análisis, por medio de tamices, del filler empleado en materiales componentes de mezclas para pavimentos bituminosos. **ANEXO DETALLES ESPECIFICOS AO 502**

6.2.5.2.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A. BALANZA

Una balanza con precisión de 0,1 g.

B. TAMICES

Los Tamices empleados serán los correspondientes a 0,6 mm (Nº 30), 0,3 mm (Nº 50) y 0,075 mm (Nº 200) de la **Tabla 6.2_44** de la **Sección 6.2.5.6**.

C. HORNO

El horno será capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

6.2.5.2.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRAS

La muestra para este ensayo se obtiene por cuarteo o mediante una sacamuestras, a fin de lograr una muestra representativa del material por ensayar. Se necesitan alrededor de 50 g de material seco para cada ensayo.

C.1. Secado de la muestra

La muestra se debe secar hasta que tenga un peso constante, a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

6.2.5.2.4. PROCEDIMIENTO

Después de secar y pesar, coloque la muestra sobre el tamiz 0,6, previamente montado sobre los tamices 0,3 y 0,075. El material debe lavarse mediante un chorro de agua; el lavado continúa hasta que el agua emerja clara. Seque el residuo en cada tamiz hasta peso constante, a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$. El peso del material retenido en cada tamiz se refiere como porcentaje de la muestra original.

6.2.5.2.5. INFORME

Informe el resultado del análisis granulométrico como el porcentaje total que pasa cada tamiz, aproximando al 0,5%.

SECCION 6.2.5.3. | MÉTODO PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE LAJAS (AASHTO C 142)

6.2.5.3.1. OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar el Índice de Lajas de un árido.

Este índice se emplea principalmente en árido para tratamientos superficiales.

Se define Índice de Lajas, como el porcentaje en peso de partículas que tienen un espesor (dimensión mínima) inferior a 0,6 veces la dimensión media de la fracción de árido considerada.

Este método es aplicable a áridos de tamaño máximo absoluto igual o superior a 6,3 mm.

6.2.5.3.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A. BALANZA

De capacidad superior a la masa de la muestra de ensayo y una precisión de 0,1 g.

B. HORNO

Provisto de circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

C. PIE DE METRO

Graduado en décimas de mm.

D. JUEGO DE TAMICES

Según banda granulométrica especificada.

E. OTROS

Bandejas, pailas, brochas, poruñas, etc.

6.2.5.3.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con la **Sección 6.2.5.4**. La cantidad mínima de muestra se indica en la **Tabla 6.2_43**, de acuerdo al tamaño máximo absoluto del árido.

Tabla 6.2_43. CANTIDAD MÍNIMA DE MUESTRA DE ENSAYO

Tamaño Máximo Absoluto (mm)	Masa Mínima (g)
37,5	16.000
25	10.000
19	8.000
12,5	5.000
9,5	4.000
6,3	3.000

Seque la muestra, pésela y determine su distribución granulométrica de acuerdo con la **Sección 6.2.5.6.**

6.2.5.3.4. PROCEDIMIENTO

- a. Las fracciones a considerar para el ensayo son las siguientes: 37,5 – 25 mm, 25 - 19 mm, 19 - 12,5 mm, 12,5 – 9.5 mm, 9.5 - 6,3mm y 6,3 – 4,75 mm.
- b. Obtenga por cuarteo una cantidad mínima de 100 partículas de cada fracción y registre su peso como M_{Ti} , aproximando a 0,1 g.

Nota 1: Cuando se obtenga una cantidad de material menor que el 5% en cualquier fracción, se puede omitir la determinación correspondiente sin que el resultado cambie apreciablemente.

- c. Repita para cada fracción los pasos que a continuación se indican:
 - Fije la abertura del pie de metro (A_i) en 0,6 veces su dimensión media, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$A_i = \frac{(T_{si} + T_{ii})}{2} \times 0.6$$

Donde:

A_i : Abertura del pie de metro para la fracción i (mm).

T_{si} : Abertura del tamiz superior de la fracción i (mm).

T_{ii} : Abertura del tamiz inferior de la fracción i (mm).

- Haga pasar cada una de las partículas a través de la abertura del pie de metro.
- Pese el total de partículas que pasan por la abertura del pie de metro y registre como M , aproximando a 0,1 g.
- Calcule el Índice de Lajas de la fracción i (IL_i) de acuerdo a la siguiente expresión, aproximando a un decimal:

$$IL_i = \frac{MP_i}{MT_i} \times 100$$

Donde:

IL_i : Índice de Lajas de la fracción i (%).

MP_i : Masa de material que pasa por la abertura del pie de metro para la fracción i (g).

MT_i : Masa total de ensayo de la fracción i (g).

6.2.5.3.5. CÁLCULOS

El Índice de Lajas del árido (IL_i), se obtiene de la siguiente expresión, aproximando al entero:

$$IL = \frac{\sum (IL_i \times R_i)}{\sum R_i}$$

Donde:

- IL: Índice de Lajas del árido (%).
- IL_i: Índice de Lajas de la fracción i (%).
- R_i: Porcentaje parcial retenido de la fracción i (%), aproximado al entero.

6.2.5.3.6. INFORME

El informe debe incluir:

- a) Nombre del contrato y del contratista.
- b) Identificación y procedencia de la muestra.
- c) Resultado del Índice de Lajas.
- d) Cualquier otra información específica relativa al ensayo, o al árido utilizado.
- e) Referencia a este método.

SECCION 6.2.5.4.

MÉTODO PARA EXTRAER Y PREPARAR MUESTRAS (ASTM C75 AASHTO T2-91)

6.2.5.4.1. OBJETO

Este método establece los procedimientos para extraer y preparar las muestras representativas de áridos finos, gruesos e integrales para fines de ensayo. Se aplicará a los áridos naturales y manufacturados de densidad neta entre 2.000 y 3.000 kg /m³.

6.2.5.4.2. DEFINICIONES

A.MUESTRA DE YACIMIENTO

Muestra representativa del árido en su sitio de depósito natural, no sometido a tratamiento alguno.

B.MUESTRA DE PRODUCCIÓN

Muestra representativa de un árido removido de su depósito natural y sometido a cualquier tratamiento como trituración, lavado o clasificación y que se encuentra sobre cintas transportadoras, o almacenado junto al lugar de extracción o tratamiento.

C.MUESTRA DE OBRA

Muestra representativa de un árido que se encuentra en una obra, ya sea sobre vehículos o almacenado.

D.MUESTRA GEMELA

Conjunto de dos o más fracciones de muestra, separadas por cuarteo según **Sección 6.2.5.5**. Dichas muestras pueden emplearse para verificar el efecto de los procedimientos de ensayo (operador, equipo, etc.) en la dispersión de los resultados.

6.2.5.4.3. EQUIPOS Y MATERIALES

Las herramientas y accesorios mínimos necesarios para las operaciones de muestreo incluyen pala, bolsas o sacos, cajas o recipientes y otros que sean necesarios para los procedimientos que se establecen en el presente método.

6.2.5.4.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A.ASPECTOS GENERALES

Dado que el muestreo es tan importante como los ensayos mismos, el muestreador debe tomar todas las precauciones necesarias para obtener muestras que sean representativas del material que se va a analizar. Para ello, personal debidamente experimentado debe inspeccionar el material por muestrear en superficie o a través de pozos de prueba o sondajes, según corresponda, a fin de determinar su homogeneidad con un adecuado nivel de confiabilidad.

B.TAMAÑO DE LA MUESTRA

- a) Muestra de terreno. La cantidad de muestra tomada en terreno debe ser tal que represente la naturaleza y condición de los áridos. Redúzcala por cuarteo hasta obtener una cantidad de al menos el doble de la requerida como muestra de laboratorio, conservando el material restante de la reducción como contramuestra ante cualquier eventualidad.

Nota 1: La contramuestra se conservará en el lugar de extracción debidamente identificada y almacenada en bolsas, cajas o recipientes, de modo de evitar contaminaciones, pérdidas o alteraciones del material.

- b) Muestra de laboratorio. La cantidad de muestra necesaria para ser enviada al laboratorio depende del tipo y número de ensayos a los cuales será sometido el material. Generalmente las cantidades mínimas requeridas para los ensayos básicos de calidad son las siguientes:

- Árido fino: 30 kg.
- Árido grueso: Una cantidad en kg equivalente a 2 veces el tamaño máximo absoluto del árido grueso, expresado este último en mm.
- Árida integral: En este caso se cumplirá simultáneamente con las cantidades mínimas requeridas para los distintos tipos de áridos antes mencionados.

Nota 2: Para ensayos adicionales y/o especiales se aumentarán los tamaños indicados en 6 b) en la cantidad requerida para ellos.

6.2.5.4.5. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS PARA RECONOCIMIENTO DE YACIMIENTOS

A.PROCEDIMIENTOS DE EXTRACCIÓN

- a) Yacimiento con frente descubierto. Inspeccione la(s) cara(s) del yacimiento, para determinar variaciones importantes o existencia de estratos. Extraiga muestras por fajas verticales del frente de explotación, de acuerdo con la homogeneidad del material, la forma de explotación y la facilidad de acceso. Registre el ancho de la faja, la profundidad horizontal y las cotas verticales de extracción de muestras si ello es procedente, además registre las diferencias observables en el color y la estructura.
- b) Yacimiento sin frente descubierto. Extraiga muestras representativas de los diferentes estratos, identificados en cada pozo de prueba o sondaje, tomando tres o más porciones de cada uno de ellos. Registre la profundidad relativa de extracción de la muestra y el espesor del (de los) estrato(s).

B.FRECUENCIA DE MUESTREO

- a) En yacimientos con frente descubierto, extraiga muestras de fajas verticales ubicadas a distancias inferiores a 30 m.
- b) En yacimientos sin frente descubierto, ejecute al menos un pozo de prueba o sondaje cada 5.000 m², uniformemente distribuidos y cubriendo el área de estudio.

6.2.5.4.6. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DE PRODUCCIÓN

De preferencia las muestras de material manufacturado se extraerán de cintas transportadoras. Si esto no es aplicable, se extraerán muestras desde silos, tolvas o depósitos, o bien desde acopios.

A.PROCEDIMIENTOS DE EXTRACCIÓN

- a) Cintas transportadoras. Detenga la cinta a intervalos regulares de tiempo y extraiga porciones de pétreo que correspondan a todo material comprendido entre dos secciones transversales a la cinta, distanciadas en aproximadamente 1 m. Extraiga tres o más porciones de árido hasta completar la muestra.
- b) Silos, tolvas o depósitos. Extraiga porciones de árido en el flujo de la descarga sin incluir el primer y último 10% de ésta. Tome tres o más porciones de material hasta completar la muestra. Emplee, en lo posible, un recipiente que abarque todo el flujo del material.
- c) Acopios. Utilizando un cargador frontal, extraiga porciones de árido en distintos niveles y ubicaciones rodeando el acopio, evitando sacar material de las zonas inferior y superior de éste. Con las porciones extraídas forme un pequeño acopio debidamente homogeneizado, aplanando su parte superior. Desde éste extraiga manualmente las porciones necesarias para conformar la muestra.

B.FRECUENCIA DE MUESTREO

Adopte como frecuencia mínima de muestreo la correspondiente al menor volumen indicado en los siguientes puntos:

- a) Extraiga una muestra cada 1.000 m³ de cada tipo de árido producido.
- b) Extraiga una muestra correspondiente al volumen de cada tipo de árido producido en un mes.

6.2.5.4.7. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DE OBRA

Las muestras se extraerán desde vehículos o desde el material almacenado. Establezca un control de calidad durante la recepción del material y disponga los acopios según las diferencias que se observen.

Nota 3: El control del material almacenado, tiene por objetivo cuantificar los efectos de las manipulaciones realizadas y proporcionar antecedentes para el uso de los áridos.

A.PROCEDIMIENTOS DE EXTRACCIÓN

- a) Vehículos. Extraiga porciones de árido en tres o más puntos, profundizando aproximadamente hasta la mitad de la altura de la carga o a intervalos regulares de tiempo durante la descarga.
- b) Silos, tolvas o depósitos. Proceda de acuerdo con 9 b).
- c) Acopios. Proceda de acuerdo con 9 c).

B.FRECUENCIA DE MUESTREO

- a) Control de recepción

- Extraiga al menos una muestra de cada tipo de árido por cada 500 m³ recepcionados.
 - Extraiga una muestra cada vez que se cambie de fuente de abastecimiento o se aprecien cambios de calidad del material.
 - El profesional a cargo podrá disminuir la frecuencia mínima establecida hasta en un 50%, cuando se verifique que no hay cambios significativos en las características del material.
- b) Control para el uso
- Extraiga una o más muestras de cada tipo de árido por cada 250 m³ por emplear.
 - Extraiga una muestra cada vez que se aprecien cambios de calidad del material, debido a tiempo prolongado de almacenamiento en obra, contaminaciones, segregaciones, etc.
 - El profesional a cargo podrá disminuir la frecuencia mínima establecida hasta en un 50%, cuando se verifique que no hay cambios significativos en las características del material.

6.2.5.4.8. PREPARACIÓN DE MUESTRAS

A.MEZCLADO

Mezcle con pala, sobre una superficie horizontal y limpia, las porciones de árido obtenidas del muestreo hasta obtener una muestra homogénea, asegurando la incorporación de todas las partículas más finas que la componen. Si se requiere determinar el grado de variabilidad de un acopio, las porciones extraídas de las distintas zonas de éste no deben mezclarse entre sí.

B.REDUCCIÓN

Reduzca por cuarteo según **Sección 6.2.5.5** el tamaño de la muestra extraída, para obtener el tamaño de muestra de laboratorio especificado en 6 b).

C.TRANSPORTE A LABORATORIO

Transporte las muestras en bolsas, cajas o recipientes confeccionados de tal manera de evitar pérdidas de material. Identifíquelas claramente, de acuerdo a lo indicado en "Registro", con marcas indelebles protegidas de cualquier eventual deterioro.

6.2.5.4.9. REGISTRO

Cada muestra para laboratorio llevará un registro en que se indicarán los siguientes datos:

A.INFORMACIÓN MÍNIMA

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Identificación del muestreador (nombre, entidad y/o laboratorio).
- c) Tipo de material.
- d) Procedencia del material.
- e) Tamaño aproximado de la muestra (kg).

- f) Cantidad de material que representa la muestra (m³).
- g) Procedimiento de extracción utilizado.
- h) Empleo propuesto.
- i) Ensayos requeridos.
- j) Fecha de extracción.

B.INFORMACIÓN OPTATIVA

- k) Ubicación y nombre del yacimiento, depósito, planta de manufacturado u obra.
- l) Capacidad de producción o consumo diario estimado.
- m) Procedimientos de explotación y/o manufacturado.
- n) Radio de alcance (zona que abastece).
- o) Cualquier información específica relativa a las características del árido o a los requisitos de empleo.

SECCION 6.2.5.5.

MÉTODO PARA EL CUARTEO DE MUESTRAS (ASTM C702)

6.2.5.5.1. OBJETO

Los diferentes tipos y tamaños de áridos requieren que la muestra sea representativa para los varios ensayos a los que será sometida. El material obtenido en terreno debe ser siempre mayor que la cantidad de la muestra requerida para el ensayo.

El material debe ser reducido en cantidad de acuerdo al ensayo que se le va a practicar. Este método establece dos procedimientos, uno manual y otro mecánico, para la reducción de muestras de suelo, áridos y agregados pétreos en general. Los mejores resultados se obtienen usando un cuarteador metálico de un tamaño adecuado.

6.2.5.5.2. PROCEDIMIENTO MANUAL

A continuación, se describe un método para reducir la cantidad del material, cuarteándola manualmente, para obtener muestras menores que 100 kg.

- a) Para llevar a cabo el cuarteo, el material debe estar húmedo; si está seco, humedézcalo añadiendo agua limpia con un rociador. Mezcle bien el material hasta formar una pila en forma de cono; revuelva de nuevo hasta formar un nuevo cono; repita esta operación tres veces.
- b) Distribuya una palada llena del material tan uniformemente como sea posible sobre una lona u otra superficie lisa, plana y ancha. Una lona de 150 x 150 cm será suficiente. Cuando la cantidad del material es pequeña, se puede usar una plana de albañil.

Continúe colocando material en capas, una sobre la otra, hasta que se haya distribuido todo el material formando un montón plano y ancho, cuyo espesor y distribución de los tamaños del árido sea razonablemente uniforme. No permita la conicidad del árido.

- c) Divida el montón en cuatro partes iguales, con una pala de borde recto o una plancha de metal.

Cuando emplee una lona, el cuarteo puede hacerse convenientemente insertando un palo delgado o varilla por debajo de la lona y levantándola para así dividir la muestra en partes iguales, primero en dos mitades iguales y luego en cuartas partes. (Ver **Figura 6.2_ 54**).

- d) Remueva dos cuartas partes opuestas y colóquelas a un lado, cuidando de retirar todo el material fino limpiando los espacios despejados con una brocha o escoba.
- e) Repita el procedimiento indicado desde a) a d) con la porción restante del agregado, hasta que obtenga una muestra de ensayo del tamaño deseado.

- f) Si lo desea, puede guardar la porción que colocó a un lado para luego hacer un posible ensayo de comprobación.

6.2.5.5.3. PROCEDIMIENTO CON CUARTEADOR METÁLICO O MECÁNICO

El método para reducir a muestras menores que 100 kg mediante un cuarteador metálico es el siguiente: **(Ver Figura 6.2_55).**

- a) Coloque la muestra en uno de los recipientes del cuarteador.
- b) Vacíe la muestra en el cuarteador.
- c) Separe el material correspondiente a uno de los recipientes.
- d) Repita el procedimiento con el material del recipiente restante hasta obtener el tamaño de muestra requerido.

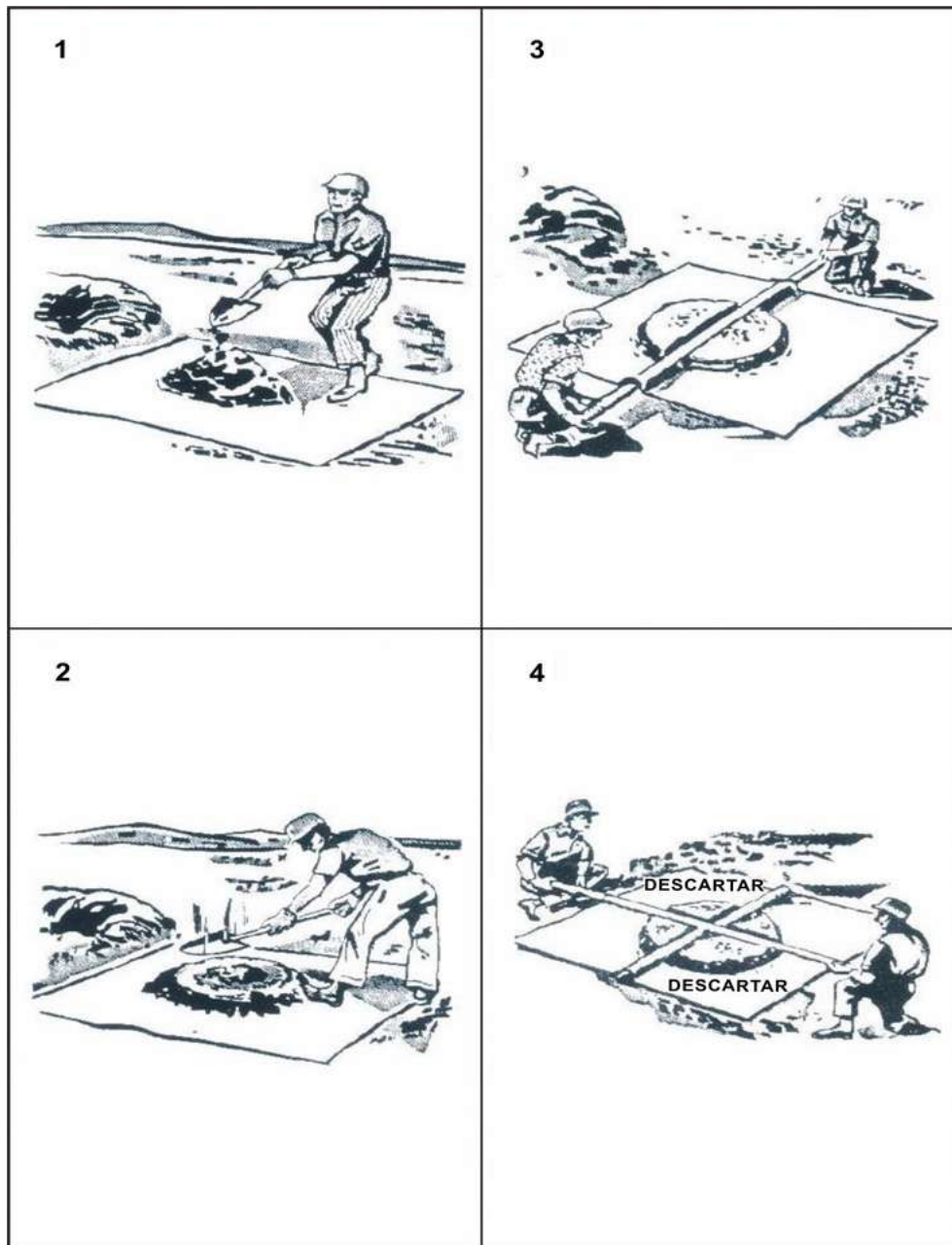


Figura 6.2_54. CUARTEO DE MUESTRAS

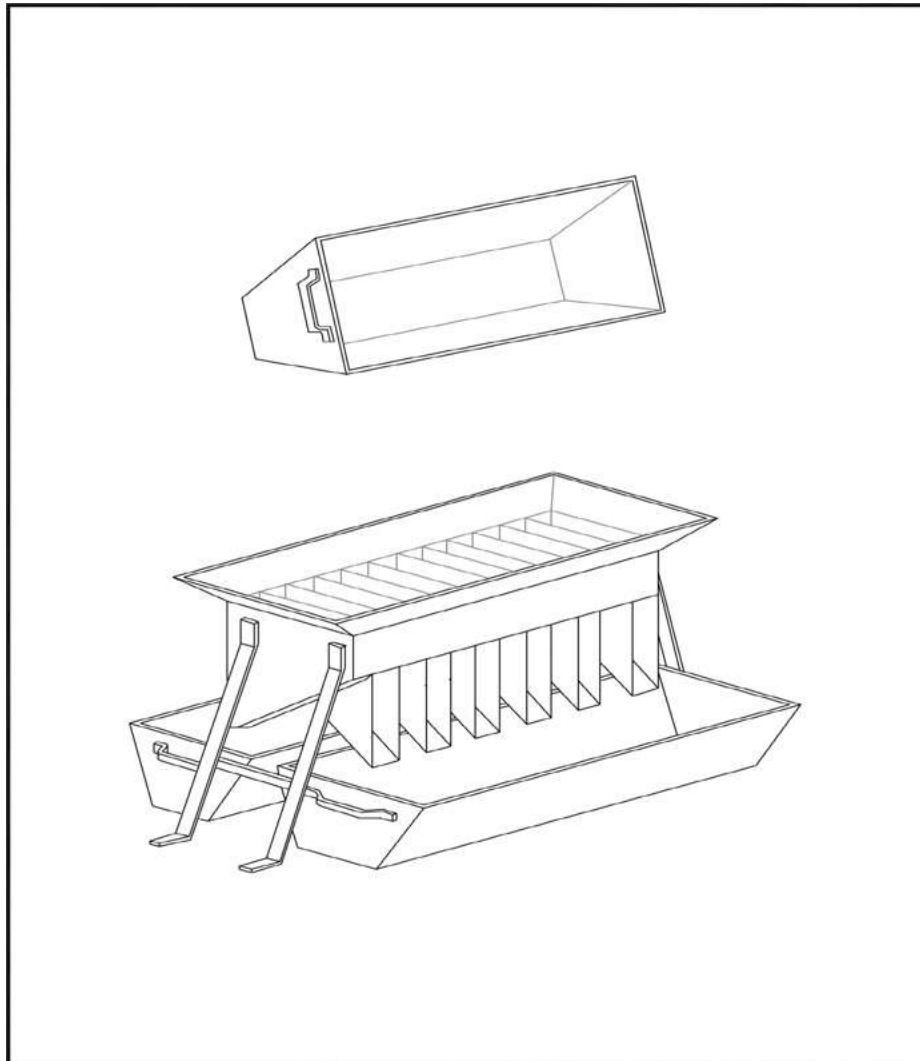


Figura 6.2_55. CUARTEADOR

SECCION 6.2.5.6.

MÉTODO PARA TAMIZAR Y DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA (ASTM E 40 AASHTO T27-99)

6.2.5.6.1. OBJETO

Este método establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

6.2.5.6.2. DEFINICIONES

A. GRANULOMETRÍA

Distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un árido.

B. PORCENTAJE PARCIAL RETENIDO EN UN TAMIZ

Porcentaje en masa correspondiente a la fracción directamente retenida en un determinado tamiz.

C. PORCENTAJE ACUMULADO RETENIDO EN UN TAMIZ

Porcentaje en masa de todas las partículas de mayor tamaño que la abertura de un determinado tamiz. Se calcula como la suma del porcentaje parcial retenido en ese tamiz más todos los porcentajes parciales retenidos en los tamices de mayor abertura.

D. PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA POR UN TAMIZ

Porcentaje en masa de todas las partículas de menor tamaño que la abertura de un determinado tamiz. Se calcula como la diferencia entre el 100% y el porcentaje acumulado retenido en ese tamiz.

6.2.5.6.3. EQUIPOS Y MATERIALES

1. Balanza

Debe tener una capacidad superior a la masa de la muestra más el recipiente de pesaje y una precisión de 0,1 g.

2. Tamices

- a) Son tejidos, de alambre y abertura cuadrada, y sus tamaños nominales de abertura pertenecen a las series que se indican en la **Tabla 6.2_44**
- b) Los marcos de los tamices deben ser metálicos y suficientemente rígidos y firmes para fijar y ajustar las telas de alambre, a fin de evitar pérdidas de material durante el tamizado y alteraciones en la abertura de las mallas. Deben ser circulares, con diámetros de 200 mm y 300 mm, preferentemente para los gruesos.

- c) Cada juego de tamices debe contar con un depósito que ajuste perfectamente, para la recepción del residuo más fino.
- d) Cada juego de tamices debe contar con una tapa que ajuste perfectamente para evitar pérdidas de material.

Tabla 6.2_44. SERIE DE TAMICES ESCOGIDOS

Tamaños nominales de abertura	
mm	ASTM
75	(3")
63	(2 1/2")
50	(2")
37,5	(1 1/2")
25	(1")
19	(3/4")
12,5	(1/2")
9,5	(3/8")
6,3	(1/4")
4,75	(N° 4)
2,36	(N° 8)
2,0	(N° 10)
1,18	(N° 16)
0,6	(N° 30)
0,3	(N° 50)
0,15	(N° 100)
0,075	(N° 200)

Nota 1: Cuando no se cuente con tamices de aberturas nominales en mm, los tamaños nominales de los tamices podrán ser los correspondientes a ASTM.

3. Horno

Provisto de circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

4. Herramientas y accesorios

Espátulas, brochas, recipientes para secado, recipientes para pesaje, etc.

6.2.5.6.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con los Secciones 6.2.5.5 y 6.2.5.4

Nota 2: Las muestras de áridos finos o áridos mezclados deben humedecerse antes de la reducción para evitar segregaciones y pérdida de polvo.

B. ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

- a) Homogeneicé cuidadosamente el total de la muestra de laboratorio en estado húmedo y redúzcala por cuarteo, de acuerdo con la **Sección 6.2.5.5** hasta que obtenga, cuando esté seca, un tamaño de muestra ligeramente superior a los valores que se indican en "Tamaño de la muestra de ensayo".
- b) No se debe reducir la muestra de laboratorio en estado seco, ni tampoco reducirla a una masa exacta predeterminada.
- c) Seque la muestra hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$.

C.TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

C.1.Para el Árido fino

- a) Cuando se emplean los tamices de 200 mm de diámetro, la muestra de ensayo en estado seco debe tener una masa ligeramente superior a los valores que se indican en **Tabla 6.2_ 44**.

Tabla 6.2_45. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO DEL ÁRIDO FINO

Tamiz	% Retenido	Masa mínima de la muestra (g)
4,75 mm	≤ 5 %	500
2,36 mm	≤ 5 %	100

- b) Los tamaños de muestra indicados en la **Tabla 6.2_ 45**, podrán aumentarse proporcionalmente cuando se empleen tamices de mayor tamaño, siempre que se cumpla lo establecido en 9 c).
- c) La masa máxima de la muestra será tal que la fracción retenida en cualquiera de los tamices al terminar la operación de tamizado sea inferior a 0,6 g por cm³ de superficie de tamizado.
- d) En tamices de 200 mm de diámetro dicha fracción debe ser inferior a 200 g.

C.2.Para los áridos gruesos

- a) Cuando se emplean tamices de 300 mm de diámetro, la muestra de ensayo en estado seco debe tener una masa ligeramente superior a los valores que se indican en **Tabla 6.2_ 46**

Tabla 6.2_46. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO DEL ÁRIDO GRUESO

Absoluto Tamaño máximo Da (mm)	Masa mínima de la muestra (kg)
75	32
63	25
50	20
37,5	16
25	10
19	8
12,5	5
9,5	4

- b) Cuando una muestra contenga una fracción de árido fino superior al 15%, el material debe separarse por el tamiz de 4,75 mm o 2,36 mm, según corresponda a hormigón o asfalto, respectivamente, debiéndose determinar y registrar el porcentaje en masa de ambas fracciones.
- c) Trate las fracciones de árido fino y árido grueso de acuerdo con 9 y 10, respectivamente.
- d) Los tamaños de muestra indicados en la Tabla 6.2_46 podrán aumentarse proporcionalmente cuando se empleen tamices de mayor tamaño, siempre que se cumpla lo que establece el 10 d).
- e) La masa máxima de la muestra debe ser tal que la fracción retenida en cualquiera de los tamices al terminar la operación de tamizado pueda distribuirse en una sola capa sobre la malla de tejido de alambre.

6.2.5.6.5. PROCEDIMIENTO

A. PREPARACIÓN DE TAMICES

Seleccione un juego de tamices de acuerdo con la especificación correspondiente al material por ensayar. Dispóngalos según aberturas decrecientes, montados sobre el depósito receptor y provisto de su tapa. Todos estos elementos deben estar limpios y secos. Verifique los tamaños de abertura de las mallas, a lo menos una vez cada seis meses.

B. TAMIZADO

Efectúelo en dos etapas:

- a) Un tamizado inicial que puede ser manual o mecánico
- b) Un tamizado final que debe ser manual.

Nota 3: Se recomienda efectuar primero un tamizado húmedo por el tamiz de 0,075 mm de acuerdo con la **Sección 6.2.5.7**, y después efectuar el tamizado de acuerdo con el presente método. Para el cálculo de la granulometría tome como base 100% la pesada de la muestra de ensayo en estado seco previa al tamizado húmedo.

C. TAMIZADO INICIAL

- c) Determine la masa de la muestra de ensayo en estado seco, registre aproximando a 1 g para áridos finos y a 10 g para áridos gruesos; vacíela sobre el tamiz superior y cubra con la tapa.
- d) Agite el conjunto de tamices por un período suficiente para aproximarse a la condición que se establece en 14 g).

D. TAMIZADO FINAL

- a) Retire el primer tamiz, provisto de depósito y tapa.
- b) Sosténgalo de un costado con una mano, manteniéndolo ligeramente inclinado.
- c) Golpee firmemente el costado libre hacia arriba con la palma de la otra mano a un ritmo de 150 golpes/min.
- d) Gire el tamiz cada 25 golpes en 1/6 de vuelta.
- e) Al completar cada ciclo de 150 golpes, pese separadamente el material retenido sobre el tamiz y el material que pasa, recogido en el depósito.
- f) Traslade el material que pasa en cada ciclo al tamiz siguiente.
- g) Repita el ciclo en el mismo tamiz con el material retenido hasta que se recoja en el depósito una masa inferior al 1% de la masa retenida, con lo cual dé por terminado el tamizado de esa fracción.
- h) Retire el tamiz siguiente provisto de depósito y tapa para efectuar con dicho tamiz los ciclos necesarios, y así sucesivamente hasta completar todos los tamices.

Nota 4: Si resulta difícil el tamizado manual de gravas con tamices de 300 mm de diámetro, se recomienda efectuar los ciclos en tamices de 200 mm de diámetro, cuidando que el material pueda distribuirse formando una sola capa.

E.DETERMINACIÓN DE LA MASA

Determine la masa final del material retenido en cada tamiz y del material que pasa por el tamiz de menor abertura, recogido en el depósito. Registre con la aproximación que sea mayor entre 1 g y 0,1% de la pesada.

6.2.5.6.6. CÁLCULOS

- a. Sume y registre la masa total (100%) de las fracciones retenidas en todos los tamices y en el depósito receptor. Esta suma no debe diferir de la masa inicial registrada en 13 en más de 3% para los áridos finos y de 0,5% para los áridos gruesos.
- b. Cuando no se cumpla con lo especificado en 16, rechace el ensayo y efectúe otro con una muestra gemela.
- c. Calcule el porcentaje parcial retenido en cada tamiz, referido a la masa total de las fracciones retenidas, aproximando al 1%.
- d. Exprese la granulometría como porcentaje acumulado que pasa, indicando como primer resultado el del menor tamiz en que pasa el 100% y como último resultado, el del primer tamiz en que el porcentaje sea 0%.
- e. Adicionalmente la granulometría se puede expresar de acuerdo con cualquiera de las siguientes formas:
 - 1) Como porcentaje acumulado retenido, indicando como primer resultado el del menor tamiz en que queda retenido un porcentaje igual a 0%, y
 - 1) Como último resultado el del primer tamiz en que el porcentaje acumulado retenido sea 100%. como porcentaje parcial retenido.

6.2.5.6.7. EXPRESIÓN GRÁFICA

La expresión gráfica de la granulometría de un pétreo se debe hacer en un sistema de coordenadas ortogonales, cuya abscisa, a escala logarítmica, indica las aberturas nominales y cuya ordenada, a escala lineal, indica los valores de la granulometría en las formas señaladas en 19 y 20.

SECCION 6.2.5.7.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL MATERIAL FINO MENOR QUE 0,075 MM (ASTM E 117 AASHTO T11-96)

6.2.5.7.1. OBJETO

El método establece el procedimiento mediante el tamizado húmedo para determinar el contenido de material fino compuesto por partículas inferiores a 0,075 mm en los áridos.

Este método se aplica al ensayo de áridos de densidad neta de 2.000 a 3.000 kg/m³ que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, mezclas asfálticas y tratamientos superficiales.

Es aplicable a materiales cuyo material fino no experimente alteraciones físicas o se aglomere por efecto del secado.

6.2.5.7.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A. BALANZA

Debe tener una capacidad superior a la masa de la muestra de ensayo más el recipiente de pesaje y una precisión de 0,1 g.

B. TAMICES

Serán dos tamices, el superior de 1,18 mm (Nº 16) y el inferior de 0,075 mm (Nº 200).

C. RECIPIENTE PARA LAVADO

Debe ser impermeable, estanco y de forma y tamaño tales que permitan contener la muestra de ensayo completamente cubierta por agua, y agitarla sin pérdida de partes de la muestra o del agua.

D. HORNO

Provisto de circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

E. HERRAMIENTAS Y ACCESORIOS

Espátula, brocha, recipiente para pesaje, recipiente para secado, etc.

6.2.5.7.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con las **Secciones 6.2.5.5 y 6.2.5.4.**

B. ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Homogeneicé cuidadosamente el total de la muestra de laboratorio en estado húmedo y redúzcala por cuarteo de acuerdo con la **Sección 6.2.5.5**, hasta obtener, cuando esté seca, el tamaño de muestra de ensayo que se indica en el punto "Tamaño de la muestra de ensayo". No se debe

reducir cuando la muestra esté en estado seco, ni tampoco reducir hasta una masa exacta pre-determinada.

Seque la muestra hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

C.TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

La muestra de ensayo en estado seco debe tener una masa ligeramente superior a los valores indicados en **Tabla A0507_1**, de acuerdo al tamaño máximo nominal del pétreo.

Tabla 6.2_47. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Tamaño maximo nominal del arrido (mm)	Masa minima de la muestra seco (g)
37,5 o mas	5.000
19	2.500
9,5	2.000
4,75	500
2,36	100

6.2.5.7.4. PROCEDIMIENTO

- Determine y registre la masa inicial de la muestra de ensayo en estado seco (B), aproximando a 0,1 g para los áridos finos y a 1 g para los áridos gruesos o integral.
- Coloque la muestra de ensayo en el recipiente de lavado y agregue agua potable en cantidad suficiente para cubrirla.

Nota 1: Al agua no deben agregarse detergentes, agentes diluyentes o floculantes ni otras sustancias.

- Agite la muestra con agua, de modo de separar el material más fino, dejándolo en suspensión o en disolución.
- Vacíe inmediatamente el agua con el material más fino en suspensión y en disolución, a través de los tamices dispuestos de mayor a menor.
- Agregue nuevas cargas de agua y repita la operación hasta que el agua agitada con la muestra permanezca limpia y clara.
- Reúna el material retenido en ambos tamices con el material decantado en el recipiente de lavado.
- Seque el material reunido hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Pese y registre la masa de la muestra de ensayo lavado y seco (C), aproximando a 0,1 g para los áridos finos y a 1 g para los áridos gruesos e integral.

6.2.5.7.5. CÁLCULOS

Calcule el contenido de material fino inferior que 0,080 mm aproximando a 0,1%, según la fórmula siguiente:

$$A(\%) = \frac{B - C}{B} \cdot 100$$

Donde:

A: Contenido de material fino inferior que 0,080 mm (%).

B: Masa inicial de la muestra de ensayo seca (g).

C: Masa de la muestra de ensayo lavada y seca (g).

Cuando el árido contenga sales solubles, determine previamente su contenido según el Método correspondiente y descuéntelo del resultado obtenido en 17.

6.2.5.7.6. INFORME

El informe, incluirá lo siguiente:

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Clase de árido.
- c) Procedencia de la muestra.
- d) Resultado del ensayo.
- e) Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al árido.
- f) Referencia a este método.

SECCION 6.2.5.8.

MÉTODO PARA DETERMINAR LA CUBICIDAD DE LAS PARTÍCULAS (VN -E16 – 67)

6.2.5.8.1. OBJETO

Este ensayo consiste en relacionar la dimensión mínima, con la medida de las partículas de un agregado pétreo, mediante operaciones de zarandeo a través de cribas reductoras y tiene por objeto determinar las características de forma de las partículas que constituyen el agregado, definiendo la misma por el valor que resulta para su “factor de cubicidad”. Este valor de cubicidad toma el valor de uno para agregados de cubicidad óptima y cero para los de cubicidad mínima (partículas sumamente achatadas o lajosas).

6.2.5.8.2. EQUIPOS Y MATERIALES

La ejecución del ensayo requiere los siguientes elementos de laboratorio:

- a) Una balanza de sensibilidad dentro del 0,1 por ciento del peso de la muestra ensayar.
- b) Un juego de cribas con aberturas circulares de los tamaños necesarios para el tipo de graduación a utilizar.
- c) Un “Marco de zarandeo” para las cribas reductoras según figura 1.
- d) Un “juego de cribas reductoras de los tamaños necesarios para el tipo de graduación a utilizar”, según figura 2.

6.2.5.8.3. PROCEDIMIENTO

- a. La muestra a ensayar estará formada por partículas de pedregullo ó grava y deberá tener una granulometría tal, que cumpla con una de las cuatro graduaciones (A, B, C ó D), dadas más adelante. Se elegirá para el ensayo, la graduación que sea más representativa del tipo de agregado a utilizar en el trabajo. Los agregados secos serán clasificados previamente por cribado, en los diferentes tamaños exigidos para el ensayo.
- b. La muestra será de unos 12 Kg. de agregado para la graduación A; 6 Kg. para las graduaciones B y C; y 2 Kg. para la graduación D.
- c. La muestra a ensayar cumplirá, con una de las siguientes granulometrías:

Tabla 6.2_48. CANTIDAD MÍNIMA DE MUESTRA DE ENSAYO

Graduacion “	Tamaño Directriz		Porcentaje
	Pasa criba	Retenido criba	
	Criba de abertura circular		
A	3" (7,63 cm)	2 ½ " (6,36 cm)	25
	2 ½ " (6,36 cm)	2" (5,08 cm)	25
	2" (5,08 cm)	1 ½" (3,81)	25
	1 ½" (3,81 cm)	1 ¼" (3,18)	25
	1 ¼" (3,18)	1" (2,54 cm)	33 1/3
B	1" (2,54 cm)	¾" (1,90 cm)	33 1/3
	¾" (1,90 cm)	5/8" (1,59 cm)	33 1/3
C	¾" (1,90 cm)	5/8" (1,59 cm)	33 1/3
	5/8" (1,59)	½" (1,27)	33 1/3
	½" (1,27 cm)	3/8" (0,95 cm)	33 1/3
	½" (1,27 cm)	3/8" (0,95 cm)	50
	3/8" (0,95 cm)	¼" (0,64 cm)	50

- d. Cada una de las fracciones de la muestra para el ensayo (partículas que pasa una criba y son retenidas por la criba de tamaño inmediato inferior) será tamizada a través de las cribas “Reductoras” I y II correspondiente a su “Tamaño directriz”, (tamaño de la criba por la que pasan las partículas de una fracción). Por cribas “Reductoras”, se entiende aquellas cuyas aberturas son rectangulares y cuyo lado menor tiene una dimensión igual a ½ diámetro de la criba circular correspondiente, para el Tipo I, y 1/3 del diámetro para el tipo II.
- e. El cribado a través de las cribas reductoras, continuará hasta que no pese más del 1% en peso del agregado retenido, durante un minuto de zarandeo, la sumatoria de los porcentajes de los agregados retenidos por la criba Reductora I, más la mitad de la sumatoria de los porcentajes de los agregados retenidos por la criba Reductora II, divididos por 100 y por el número de “Tamaños directrices” correspondientes a la muestra analizada, definen el factor de cubicidad y expresa el resultado del ensayo.

$$F = \frac{P1 + \frac{1}{2} P2}{100n}$$

En donde:

F = “Factor de cubicidad”

P1 = Porcentaje de partículas retenidas en la criba “Reductora” I.

P2 = Porcentaje de partículas retenidas en la criba “Reductora” II.

n = Número de “tamaños directrices” correspondientes a la muestra analizada.

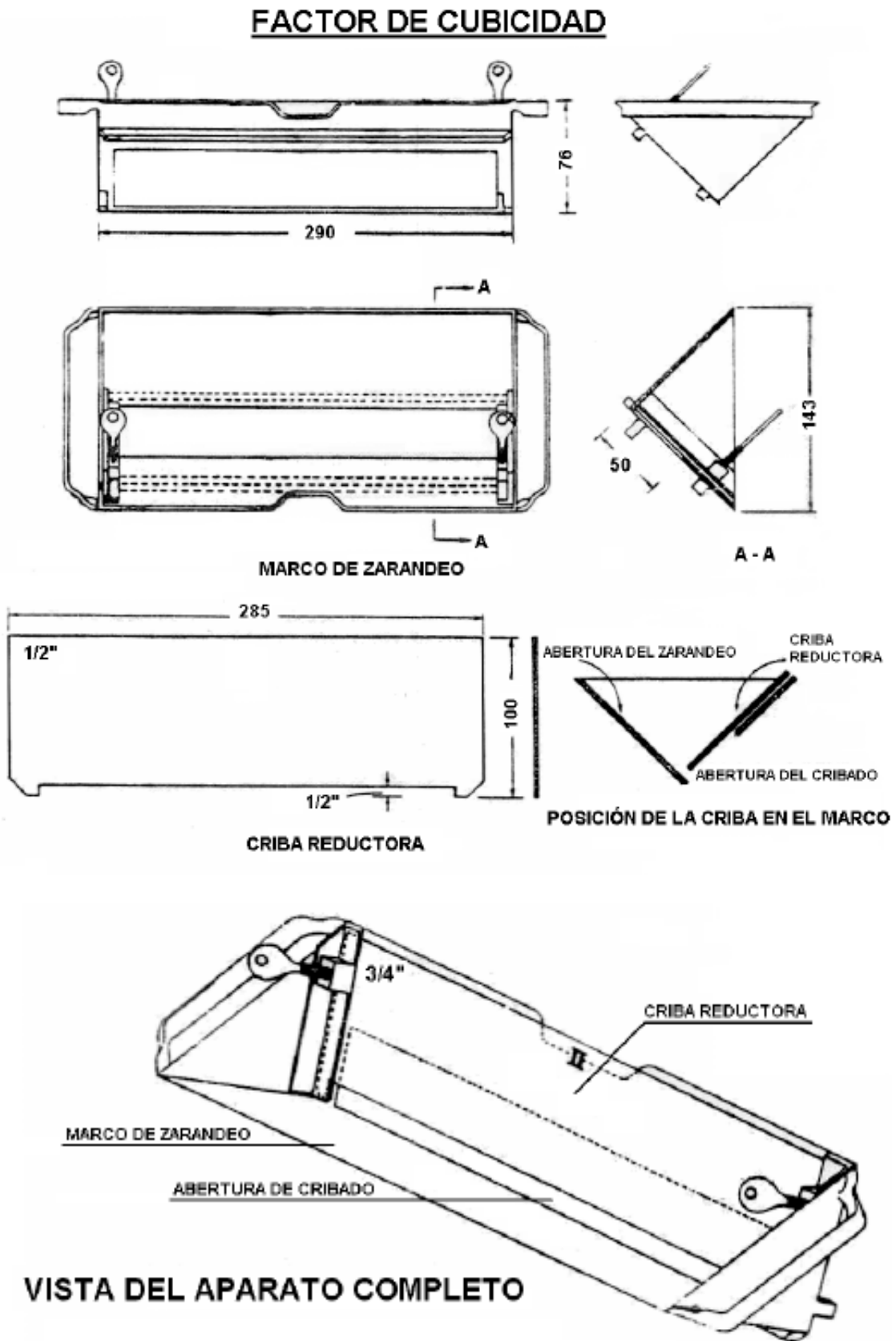


Figura 6.2_56.

SECCION 6.2.5.9.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL EQUIVALENTE DE ARENA (ASTM D 2419 AASHTO T176-00)

6.2.5.9.1. OBJETO

Este método establece un procedimiento rápido para determinar las proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los áridos que pasan por tamiz de 4,75 mm (Nº 4).

6.2.5.9.2. DEFINICIONES

A.EQUIVALENTE DE ARENA

Porcentaje de arena propiamente tal con respecto al total de arena y de impurezas coloidales floculadas, particularmente arcillosas, húmicas y eventualmente ferruginosas.

6.2.5.9.3. EQUIPOS Y MATERIALES

A.PROBETA GRADUADA

De 30 ± 1 mm de diámetro interior y aproximadamente 400 mm de alto, graduado en milímetros hasta una altura de 380 mm (o graduada en mililitros hasta una capacidad de 270 ml) y provisto de un tapón hermético de caucho (*ver Figura 6.2_ 57, Figura 1*).

B.PISÓN

Compuesto por los siguientes elementos:(*ver Figura 6.2_ 57, Figura 2*).

- Una varilla de bronce de 6 mm de diámetro y 450 mm de largo, con rosca en ambos extremos.
- Un pie de bronce troncocónico, de 25 mm de diámetro basal y 20 mm de altura, con una perforación central con rosca para conectarlo a la varilla.
- Un par de guías que mantengan centrada la varilla en el eje de la probeta.
- Una sobrecarga cilíndrica de acero laminado en frío de 50 mm de diámetro y 53 mm de altura, con una perforación central con rosca para conectarla a la varilla.

Esta sobrecarga debe ser rectificada de modo que el conjunto de varilla, pie, guías y sobrecarga tenga una masa de $1\text{kg} \pm 5\text{g}$.

C.SIFÓN

Compuesto por los siguientes elementos:(*ver Figura 6.2_ 57, Fig3*):

- Una botella de aproximadamente 4 l, provista de un tapón de caucho con dos perforaciones, a través de las cuales se dispondrán dos tuberías de metal, vidrio, caucho o plástico.
- Una tubería de entrada de aire que penetre al interior de la botella sin tomar contacto con la solución y cuyo tramo exterior debe estar doblado en L.

- c) Una tubería de irrigación cuyo tramo interior penetre hasta 20 mm del fondo de la botella y cuyo tramo exterior sea una manguera de caucho o plástico de una longitud igual o mayor que 1,5 m provista de un sistema que regule el flujo de la solución (por ejemplo, una pinza con tornillo).
- d) Un tubo irrigador conectado al extremo exterior de la tubería de irrigación, de acero inoxidable de aproximadamente 500 mm de largo, 4 ± 1 mm de diámetro interior y con su extremo libre cerrado en forma de cuña. Debe tener dos perforaciones de $0,5 \pm 0,1$ mm de diámetro, una en cada cara plana de la cuña.

D.MEDIDA

Un recipiente de 85 ± 5 ml de capacidad.

E.TAMIZ

De tela de alambre y abertura cuadrada, de 4,75 mm (Nº 4) de abertura nominal de acuerdo con la **Sección 6.2.5.6**.

F.RECIPIENTE

Estanco y de capacidad igual o mayor que 4 l para preparar el reactivo y la solución de ensayo.

G.AGITADOR MECÁNICO

Con un desplazamiento horizontal de 200 ± 2 mm y una velocidad de agitación de 175 ± 2 ciclos/min.

H.HERRAMIENTAS Y ACCESORIOS

Embudos, botellas para reactivos, regla de enrase, etc.

I.REACTIVOS

1.1.Solución base

- a) Componentes. Emplee los siguientes materiales en las cantidades que se indican:
 - 240 g de cloruro de calcio anhidro, grado técnico.
 - 1.085 g de glicerina farmacéutica.
 - 25 g de formaldehido (solución 40% de volumen / volumen).
- b) Preparación. Disuelva el cloruro de calcio en 1 l de agua destilada y filtre. Agregue la glicerina y el formaldehido a la solución, mezcle bien y diluya a 2 l con agua destilada.

1.2.Solución de ensayo

Tome 22,5 ml de la solución base y diluya a 1 l con agua destilada.

6.2.5.9.4. CONDICIONES GENERALES

A.LUGAR DE ENSAYO

Debe estar libre de golpes o vibraciones que puedan alterar el período de decantación. Cuando se empleen probetas de acrílico deben protegerse de la luz solar directa.

6.2.5.9.5. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A.MUESTREO

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con las **Secciones 6.2.5.4 y 6.2.5.5.**

B.TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

- a) La muestra original debe tener un tamaño igual o mayor que 2.000 g de material bajo 5 mm.
- b) La muestra para cada ensayo debe ser igual a una medida llena enrasada (85 ± 5 ml).

C.PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO

C.1.Tamizado

Pase la muestra original en estado húmedo por el tamiz de 4,75 mm; disgregue manualmente los terrones de material arcilloso. Si el material retenido tiene adheridas capas de material arcilloso, remuévalas secando el material retenido y frotándolo entre las manos sobre un recipiente. El polvo resultante debe incorporarse a la muestra y el material retenido debe desecharse.

C.2.Reducción

Reduzca por cuarteo hasta obtener material suficiente para llenar cuatro medidas.

C.3.Secado

Seque hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ$ C; deje enfriar a temperatura ambiente.

6.2.5.9.6. PROCEDIMIENTO

- a. Coloque la botella del sifón con la solución de ensayo a aproximadamente 1 m sobre la superficie de trabajo.
- b. Sifonee la solución de ensayo en la probeta hasta que alcance un nivel de 100 ± 5 mm.
- c. Obtenga por cuarteo el material suficiente para llenar una medida.
- d. Llene una medida; asiente el material golpeando el fondo de la medida contra la mesa de trabajo a lo menos 4 veces, enrase y vierta en la probeta.
- e. Golpee firmemente el fondo de la probeta contra la palma de la mano hasta desalojar las burbujas de aire.
- f. Deje la probeta en reposo por un período de 10 min.
- g. Coloque el tapón y suelte la arena del fondo inclinando y sacudiendo el tubo.
- h. Agite la probeta y su contenido mediante uno de los siguientes procedimientos:
 - a) Agitación manual. Sujete la probeta en posición horizontal y agite vigorosamente en un movimiento lineal horizontal con un desplazamiento de 230 ± 25 mm. Agite 90 ciclos en aproximadamente 30 seg.

Nota 1: Un ciclo corresponde a un movimiento completo de ida y vuelta. Se recomienda agitar sólo con los antebrazos, manteniendo relajados el cuerpo y los hombros.

Nota 2: Antes de autorizar a un operador para realizar el ensayo de equivalente de arena, debe ser capaz de obtener resultados consistentes sobre muestras representativas de cualquier material ensayadas de acuerdo con el procedimiento normal. Los resultados se consideran consistentes si los valores individuales de tres ensayos realizados por el mismo operador sobre muestras gemelas no varían en más de ± 4 puntos respecto al promedio de esos ensayos. Si un operador no es capaz de obtener resultados consistentes, no debe autorizarse a efectuar este ensayo hasta que perfeccione su técnica y obtenga resultados que cumplan con los límites especificados.

- b) Agitación mecánica. Fije la probeta en el agitador mecánico y agite durante un período de 45 ± 1 seg.
- i. Coloque la probeta sobre la mesa de trabajo, destápela y lave sus paredes interiores mediante el irrigador.
- j. Introduzca el irrigador hasta el fondo de la probeta con un movimiento lento de penetración y torsión para remover todo el material.
- k. Retire el irrigador en forma similar, regulando el flujo de la solución de modo de ajustar el nivel final a 380 mm.
- l. Deje sedimentar por un periodo de $20 \text{ min} \pm 15 \text{ seg}$.
- m. Al final del período de sedimentación lea y registre el nivel superior de la arcilla (N_t) aproximando al milímetro.

Nota 3: Si después de 20 min. no se ha formado una clara línea de sedimentación, deje reposar el tiempo necesario registrándolo en el informe.

Cuando el tiempo total exceda de 30 min., repita 3 veces el ensayo con muestras del mismo material. Registrar el N_t . Que requiera el período de sedimentación más breve.

- n. Introduzca el pisón en la probeta y hágalo descender suavemente hasta que quede apoyado en la arena. Registre el nivel superior de la arena (N_a) aproximando al milímetro.

Nota 4: Cuando el nivel superior de la arcilla o de la arena quede entre graduaciones, registre la graduación superior como N_t o N_a , según corresponda.

6.2.5.9.7. CÁLCULOS

Calcule el equivalente de arena de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 1% :

$$EA(\%) = (N_a / N_t) \cdot 100$$

Donde:

EA: Equivalente de arena (%).

N_a : Nivel superior de la arena (mm).

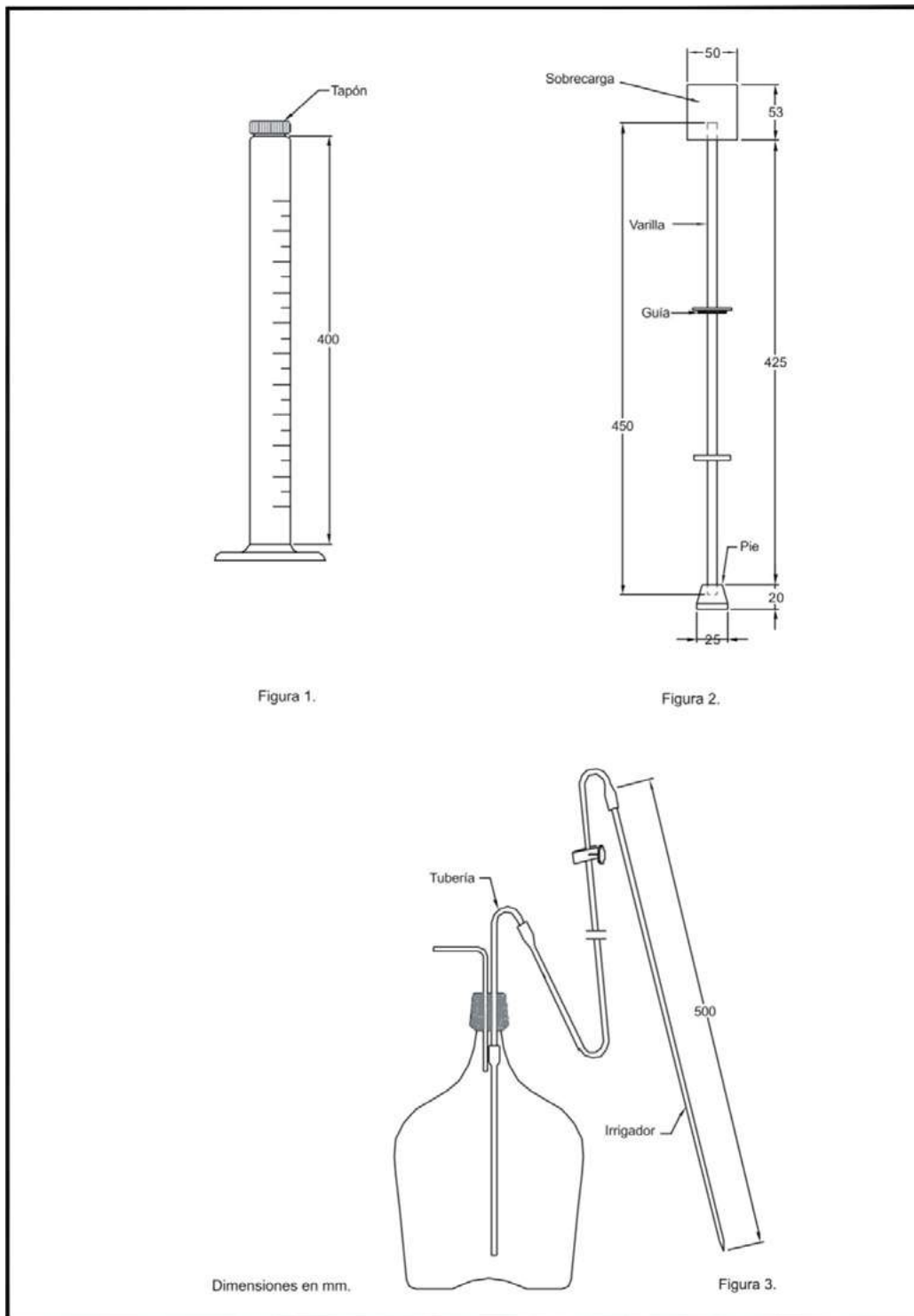
N_t : Nivel superior de la arcilla (mm).

Calcule el equivalente de arena de cada muestra como el promedio aritmético de los resultados de dos ensayos paralelos, con aproximación al 1 % superior.

6.2.5.9.8. PRECISIÓN

Debe aceptarse la determinación del equivalente de arena solamente cuando la diferencia entre dos resultados obtenidos por el mismo operador, en ensayos paralelos sobre muestras gemelas, sea igual o inferior a 4 puntos.

Debe ensayar dos nuevas muestras gemelas cuando no se cumpla con lo especificado en 30.



**Figura 6.2_57. FIGURA 1- PROBETA GRADUADA,
FIGURA 2 -PISÓN,
FIGURA 3 – SIFÓN**

SECCION 6.2.5.10. | MÉTODO PARA DETERMINACIÓN DE HUECOS (ASTM C29)

6.2.5.10.1. OBJETO

El método establece un procedimiento para determinar el contenido de huecos en los áridos. Es aplicable a los áridos de densidad neta entre 2.000 y 3.000 Kg/m³ que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

6.2.5.10.2. DEFINICIONES

A.HUECOS

Espacios vacíos entre las partículas de un árido.

6.2.5.10.3. PROCEDIMIENTO

- Efectúe la determinación de densidad real seca de acuerdo con la **Sección 6.2.5.19** para los pétreos gruesos y con la **Sección 6.2.5.20** para los pétreos finos.
- Efectúe la determinación de densidad aparente de acuerdo con la **Sección 6.2.5.18**.

6.2.5.10.4. CÁLCULOS

Calcule el contenido de huecos de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 1%:

$$H(\%) = \frac{P_{RS} / P_a}{P_{RS}} \times 100$$

Donde:

H : Contenido de huecos (%).

P_{RS}: Densidad real seca del pétreo, determinada en el punto 2 (Kg/m³).

P_a : Densidad aparente del pétreo, determinada en el punto 3 (Kg/m³).

6.2.5.10.5. INFORME

El informe, incluirá lo siguiente:

- Resultados del ensayo de densidad real seca, de acuerdo con la **Sección 6.2.5.19** o **Sección 6.2.5.20**, según corresponda.
- Resultados del ensayo de densidad aparente, de acuerdo con la **Sección 6.2.5.18**.
- Contenido de huecos.

SECCION 6.2.5.11.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL DESGASTE MEDIANTE LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES (ASTM C131 AASHTO T96-99)

6.2.5.11.1.OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de los áridos mayores a 2,36 mm, de densidad neta entre 2.000 y 3.000 Kg/m³, mediante la máquina de Los Ángeles.

6.2.5.11.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A.MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (VER FIGURA 6.2_ 58)

- a) Tambor de acero de 710 ± 6 mm de diámetro interior y de 510 ± 6 mm de longitud interior montado horizontalmente por sus vástagos axiales con una tolerancia de inclinación de 1 en 100, uno de los cuales debe tener un dispositivo de polea o similar, para acoplar un motor. En su manto cilíndrico debe tener una abertura para introducir la muestra, con una tapa provista de dispositivos para fijarla firmemente en su lugar y que asegure la estanqueidad del material sobre tamiz N ° 50 (0.3 mm).
- b) Debe llevar en su superficie interior una aleta consistente en una plancha de acero desmontable, fijada rígida y firmemente a todo lo largo de una generatriz del cilindro, de modo que se proyecte radialmente hacia el interior en 90 ± 3 mm. La distancia entre la aleta y la abertura, medida a lo largo de la circunferencia exterior del cilindro y en la dirección de rotación, debe ser igual o mayor que 1,25 m.

Nota 1: Es preferible utilizar una aleta de acero de sección rectangular montada independientemente de la tapa. Sin embargo, puede emplearse como aleta una de las alas de un perfil L de acero laminado montado en el interior de la tapa, de modo que la carga se reciba por la cara externa del ángulo. Cuando la aleta se deforma debe ser reparada o reemplazada.

- c) La rotación debe estar comprendida entre 30 y 33 rpm, ser contrapesada e impulsada de modo de mantener una velocidad periférica uniforme y tener incorporado un dispositivo contador de revoluciones con detención automática.

Nota 2: Cualquier deslizamiento o punto muerto en el mecanismo de impulsión puede alterar los resultados de ensayo, lo que los hace no comparables con resultados obtenidos en una máquina que produzca una velocidad periférica uniforme.

B.BALANZA

Con una capacidad superior a 10 kg y una precisión de 1 g.

C.TAMICES

Deben cumplir con lo especificado en la *Sección 6.2.5.6* numeral 2.

D.HORNO

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

E.ESFERAS (CARGA ABRASIVA)

Un juego de esferas de acero de aproximadamente 47 mm de diámetro y de masas diferentes, distribuidas en un rango entre 390 y 445 g.

6.2.5.11.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A.MUESTREO Y PREPARACIÓN

- a. Extraiga y prepare la muestra de acuerdo con las **Secciones 6.2.5.4 y 6.2.5.5**.
- b. Determine la granulometría de la muestra de acuerdo con la **Sección 6.2.5.6**.

B.TAMAÑO DE LA MUESTRA

El tamaño de la muestra (en kg) debe ser igual o mayor que $2 D_n$, en que D_n es el tamaño máximo nominal expresado en mm, y no menor que 50 kg para los grados 1 al 5 y 25 kg para los grados 6 y 7.

C.ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

- c. Lave la muestra y séquela hasta masa constante en horno a una temperatura de 110 ± 5 ° C.
- d. Tamice la muestra obtenida, de acuerdo con la Sección 6.2.5.6, empleando la serie de tamices de aberturas nominales siguientes: 75 mm, 63 mm, 50 mm, 37,5 mm, 25 mm, 19 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 6,3 mm, 4,75 mm y 2,36 mm. Deje el material separado en las fracciones resultantes de este tamizado.
- e. Elija de la Tabla 6.2_49 el grado de ensayo que mejor represente la granulometría de la muestra. Para ello, sume los porcentajes parciales retenidos en los tamices correspondientes a cada uno de los grados y elija para el ensayo el que entregue una mayor suma.

Nota 3: En caso que alguna de las fracciones del grado elegido tenga un porcentaje parcial retenido muy bajo, que requiera tamizar una cantidad de material muy alta para componerlo, se considerará como grado de ensayo aquel que entregue la suma de parciales retenidos inmediatamente inferior a la del grado elegido. En el caso del grado 4, se entenderá como porcentaje parcial retenido muy bajo un valor igual o inferior que 4%.

- f. Cuando se trate de áridos sin tratamiento ni selección, debe procesar la muestra a fin de componer la banda granulométrica adecuada al uso propuesto y elegir de la tabla el grado de ensayo correspondiente a dicha banda granulométrica.

6.2.5.11.4. PROCEDIMIENTO

- a. Pese los tamaños de las fracciones correspondientes al grado elegido, de acuerdo con la **Tabla 6.2_49**. Registre la masa del total de material por ensayar como masa inicial de la muestra (mi), aproximando a 1 g.

- b. Coloque la masa inicial de material en la máquina de Los Ángeles y ensaye de acuerdo con el grado elegido (número y masa de esferas, y número de revoluciones), según **Tabla 6.2_49**.

Nota 4: Seleccione las esferas de manera tal que la suma de sus masas individuales cumpla con los valores estipulados en la **Tabla 6.2_49**.

- c. Una vez completado el número de revoluciones correspondiente, saque el material de la máquina evitando pérdidas y contaminaciones.
- d. Separe la carga abrasiva.
- e. Efectúe un primer tamizado en un tamiz de 2,36 mm o superior, a fin de evitar dañar el tamiz de corte (1,7 mm).
- f. Tamice manualmente el material bajo 2,36 mm por tamiz de 1,7 mm (N° 12), según procedimiento de tamizado final descrito en el punto 14 de la Sección 6.2.5.6.
- g. Reúna todo el material retenido en ambos tamices, lávelo, séquelo hasta masa constante en horno a 100 ± 5 °C y deje enfriar a temperatura ambiente.
- h. Pese y registre la masa del material retenido como masa final de la muestra (mf), aproximando a 1 g.

6.2.5.11.5. CÁLCULOS

Calcule el desgaste del árido como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra, aproximando a un decimal, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$P(\%) = \frac{mi - mf}{mi} \cdot 100$$

Donde:

P: Pérdida de masa de la muestra (%).

mi: Masa inicial de la muestra (g).

mf: Masa final de la muestra (g).

Nota 5: Los resultados de ensayo de los grados 1, 2 y 3 con 1.000 revoluciones no tienen relación consistente con los resultados de los grados 4, 5, 6 y 7 con 500 revoluciones y, por lo tanto, no son comparables.

6.2.5.11.6. INFORME

El Informe debe incluir al menos los siguientes antecedentes:

9. **Nombre del contrato y empresa contratista.**
- a) Identificación de la muestra (tipo de material, procedencia, lugar y fecha de muestreo).
- b) Grado de ensayo elegido.

- c) Resultado del ensayo.
- d) Fecha del ensayo.
- e) Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al árido analizado.
- f) La referencia a este método.

Tabla 6.2_49. GRADOS DE ENSAYO (DEFINIDOS POR SUS RANGOS DE TAMAÑO, EN MM)

Tamaño de Partículas (mm)	1	2	3	4	5	6	7
	(80-40)	(50-25)	(40-20)	(40-10)	(20-10)	(10-5)	(5-2,5)
	Tamaño de las fracciones (g)						
75 - 63	2.500 ± 50						
63- 50	2.500 ± 50						
50 -37,5	5.000 ± 50	5.000 ± 25					
37,5 - 25		5.000 ± 50	5.000 ± 25	1.250 ± 10			
25 - 19			5.000 ± 25	1.250 ± 25			
19 - 12,5				1.250 ± 10	2.500 ± 10		
12,5 - 9,5				1.250 ± 25	2.500 ± 10		
9,5 - 6,3						2.500 ± 10	
6,3 - 4,75						2.500 ± 10	
4,75 - 2,36							5.000 ± 10
Masa inicial de muestra (Mi)	10.000 ± 100	10.000 ± 75	10.000 ± 50	5.000 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10
Esferas							
- numero	12		12		11	8	6
- masa (g)	5.00 ± 25		5.000 ± 25		4.584 ± 25	3.330 ± 25	2.500 ± 15
Numero de revoluciones	1.000			500			

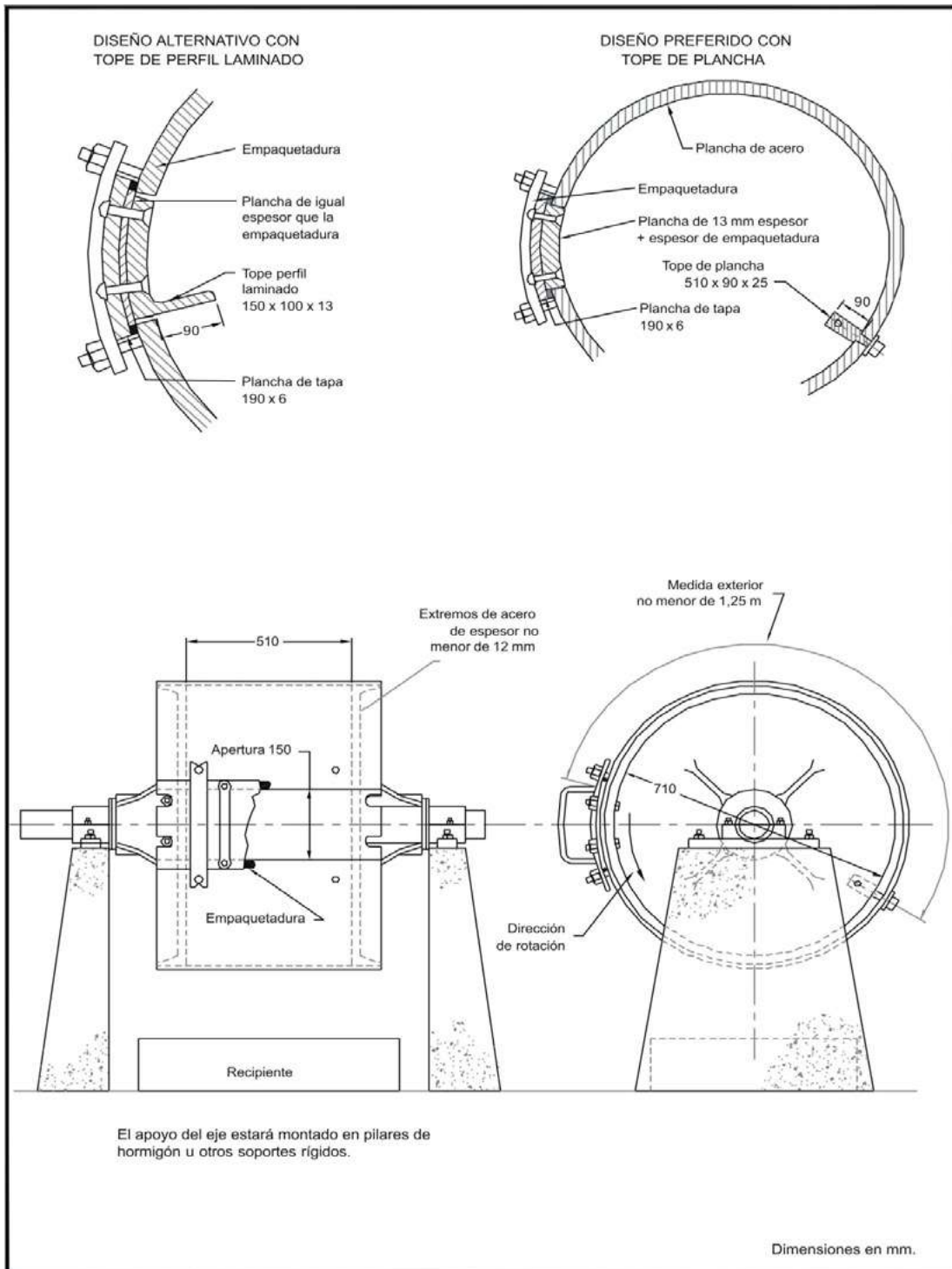


Figura 6.2_58. MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

SECCION 6.2.5.12.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE VOLUMÉTRICO MEDIO DE LOS PÉTREOS GRUESOS

6.2.5.12.1. OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar el coeficiente volumétrico medio de los áridos gruesos. Es aplicable a los áridos gruesos de densidad neta entre 2.000 y 3.000 kg/m³ que se utilizan en la elaboración de hormigones y mezclas asfálticas. El método establece dos procedimientos para determinar la suma de los volúmenes reales (V) de las partículas que constituyen un árido: un procedimiento volumétrico, aplicable a los casos corrientes, y un procedimiento gravimétrico, que se utiliza como contra ensayo en casos de controversia.

6.2.5.12.2. DEFINICIONES

A.COEFICIENTE VOLUMÉTRICO DE UNA PARTÍCULA

Cociente entre el volumen real (V) de una partícula y el volumen de una esfera de diámetro igual a la mayor dimensión (N) de esa partícula.

B.COEFICIENTE VOLUMÉTRICO MEDIO (C)

Cociente entre la suma de los volúmenes reales (V) de las partículas que constituyen un áridos y a suma de los volúmenes $\left(\sum \pi \cdot \frac{N_i^3}{6}\right)$ de las respectivas esferas circunscritas.

6.2.5.12.3. EQUIPOS Y MATERIALES

A.APARATOS PARA DETERMINAR V

- Método volumétrico. Una probeta graduada en cm³ con una capacidad mínima de 500 cm³ y un diámetro interior igual o mayor que el tamaño máximo absoluto del árido.
- Método gravimétrico. Los aparatos indicados en la **Sección 6.2.5.19**.

B.APARATO PARA DETERMINAR N_i

Un pie de metro.

6.2.5.12.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A.MUESTREO

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con las **Secciones 6.2.5.4 y 6.2.5.5**.

B.ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

- Previamente realice el ensayo de tamizado de acuerdo con la **Sección 6.2.5.6**, registrando el tamaño máximo absoluto (D_a).

- b. Reduzca por cuarteo el material mayor que 4,75 mm o 2,36 mm, según sea para hormigón o asfalto respectivamente, al tamaño de la muestra de ensayo que se indica en la **Tabla 6.2_50**.

Tabla 6.2_50. TAMAÑO MÍNIMO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Tamaño máximo absoluto del pétreo, D_a (mm)	Tamaño mínimo de la Muestra (g)
75	1.500
37,5	500
19	250

Nota 1: Para tamaños máximos intermedios, los tamaños de muestra pueden interpolarse. Por ejemplo, para $D_a = 50$ mm corresponden 750 g de muestra y para $D_a = 25$ mm corresponden 300 g.

6.2.5.12.5. PROCEDIMIENTO

- a. Determine la suma de los volúmenes reales (V) de las partículas mediante el procedimiento volumétrico siguiente:
- Acondicione la muestra al estado saturado superficialmente seco, de acuerdo con la **Sección 6.2.5.20**.
 - Coloque en la probeta graduada un volumen de agua que garantice que la muestra va a quedar completamente sumergida. Registre el volumen correspondiente como V_1 , aproximando a 1 cm^3 .
 - Sumerja la muestra en el agua de la probeta. Agite el agua de modo de eliminar las burbujas de aire. Registre el volumen total del agua más la muestra sumergida como V_2 , aproximando a 1 cm^3 .
 - Calcule V como el volumen de agua desplazada de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a 1 cm^3 :

$$V(\text{cm}^3) = V_2 - V_1$$

Donde:

V : Suma de los volúmenes reales de las partículas de la muestra (cm^3).

V_1 : Volumen del agua en la probeta (cm^3).

V_2 : Volumen del agua más la muestra sumergida en la probeta (cm^3).

- b. En casos de controversia efectúe contra ensayos, determinando la suma de los volúmenes reales de las partículas (V) mediante el procedimiento gravimétrico siguiente:
- Obtenga los valores de la pesada sumergida (A) y la pesada al aire ambiente en condición saturada superficialmente seca (B) del material en estudio, determinados según Sección 6.2.5.20.
 - Calcule V como el volumen del total de partículas de la muestra, de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a $1 (\text{cm}^3)$:

$$V(\text{cm}^3) = (B-A) \cdot \frac{1,000 \text{ cm}^3}{\text{Kg}}$$

Donde:

- V: Suma de los volúmenes reales de las partículas de la muestra (cm³):
- A: Masa del árido sumergido.
- B: Masa del árido saturado superficialmente seco (kg).

- c. Determine los valores de N_i para el total de partículas de la muestra mediante el procedimiento de medición directa siguiente:
- Mida con el pie de metro la mayor dimensión de cada partícula (N_i) y regístrela en centímetros, aproximando a 0,1 cm.
 - Calcule y registre el valor de la sumatoria de los $\sum N_i^3$.

6.2.5.12.6. CÁLCULOS

Calcule el coeficiente volumétrico medio para cada ensayo de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a 0,01:

$$C = \frac{1,91 \times V}{\sum N_i^3}$$

Donde:

- C: Coeficiente volumétrico medio.
- 1,91: Factor correspondiente al valor inverso de $\pi/6$
- V: Suma de los volúmenes reales de las partículas de la muestra (cm³).
- N_i : Mayor dimensión de cada partícula de la muestra (cm).

Calcule el coeficiente volumétrico medio de un pétreo como el promedio aritmético de dos ensayos sobre muestras gemelas.

6.2.5.12.7. PRECISIÓN

Acepte la determinación del coeficiente volumétrico medio cuando la diferencia entre los dos resultados obtenidos por un mismo operador, en ensayos sobre muestras gemelas, sea igual o inferior a 0,02.

Debe ensayar dos nuevas muestras gemelas cuando no se cumpla con lo especificado en el punto 12.

6.2.5.12.8. INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Nombre del contrato y contratista.

- b) Procedencia de la muestra y lugar de extracción.
- c) Tamaño máximo absoluto del árido grueso D_a .
- d) Procedimiento empleado en la determinación del volumen total de partículas (volumétrico o gravimétrico).
- e) El resultado del ensayo.
- f) Fecha de ensayo.
- g) Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al árido.
- h) Referencia a este método.

SECCION 6.2.5.13. | MÉTODO PARA DETERMINAR LA SUPERFICIE ESPECÍFICA

6.2.5.13.1. OBJETO

A.APLICACIÓN

Este método describe el procedimiento para determinar la superficie específica teórica de áridos.

B.ALCANCE

- a) El método considera que el árido está formado por partículas esféricas ideales. Por lo tanto, no considera el efecto de la forma, porosidad ni rugosidad del árido.
- b) El método define el procedimiento para calcular la superficie específica externa de un árido. Por lo tanto, no considera el área de los poros accesibles (macro y meso poros), ni de los poros inaccesibles del árido.
- c) El procedimiento es aplicable a áridos de cualquier tamaño máximo absoluto. Para árido muy finos, tales como filler o cemento, con superficie específica volumétrica de hasta aproximadamente $1,2 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$, se recomienda la aplicación de procedimientos de medición basados en ensayos de permeabilidad o de adsorción de gas.

Nota 1: Para una densidad de 3.000 kg/m^3 , el valor mencionado anteriormente implica una superficie específica de $400 \text{ m}^2/\text{kg}$.

6.2.5.13.2. DEFINICIONES

A.SUPERFICIE ESPECÍFICA

- a) Cociente entre la superficie externa de un agregado y su volumen, la que se expresa en m^{-1} o pie^{-1} .

Nota 2: La superficie externa de un agregado no considera el área de los poros accesible a éste.

B.SUPERFICIE ESPECÍFICA EN PESO.

Cociente entre la superficie específica de un agregado y su densidad real seca, la que se expresa como m^2/kg o pie^2/lb .

6.2.5.13.3. FUNDAMENTOS

La superficie específica, SE, para partículas monogranulares esféricas de diámetro d , se puede calcular según la siguiente ecuación:

$$SE = \frac{\text{superficie de la esfera}}{\text{Volumen de la esfera}} = \frac{\pi d^2}{\pi d^3 / 6} = \frac{6}{d} \quad (\text{m}^{-1}) \text{ o } (\text{pie}^{-1}) \quad (1)$$

De la expresión anterior se puede ver que la superficie específica de las partículas es inversamente proporcional al diámetro de las mismas, supuesto partículas de diámetro uniforme.

Para el caso de agregados pétreos de distinto tamaño y suponiendo partículas esféricas, la superficie específica correspondiente a una determinada fracción de agregado retenido entre dos mallas sucesivas de la serie normal, se calcula con el diámetro equivalente a la media geométrica de los tamaños extremos, como:

$$SE = \frac{6}{d} = \frac{6}{\sqrt{D_{\max} \times D_{\min}}} \quad (\text{m}^{-1}) \text{ o } (\text{pie}^{-1}) \quad (2)$$

En que $D_{\min} = D_{\max} / 2$

D_{\max} y D_{\min} son las dimensiones de los tamices de la serie normal de mayor y menor abertura, expresados en metros, que dejan pasar y retienen al material, respectivamente.

La **Tabla 6.2_51** da la superficie específica de agregados, SE, para distintas fracciones del tamaño de partículas.

Tabla 6.2_51. SUPERFICIE ESPECÍFICA SEGÚN TAMAÑO DE PARTÍCULAS

Fracción tamaño partículas $D_{\max} - D_{\min}$ (mm)	Superficie específica	
	SE (m ⁻¹) $6/(D_{\max} \cdot D_{\min})^{1/2}$	SE (pie ⁻¹) $6/(D_{\max} \cdot D_{\min})^{1/2}$
37,5 – 19	212	65
19 - 9,5	424	129
9,5 – 4,75	849	259
4,75 – 2,36	1.697	517
2,36 - 1,18	3.394	1.035
1,18 - 0,6	6.761	2.061
0,6 - 0,3	13.469	4.105
0,3 - 0,15	26.726	8.146
0,15 - 0,075	53.033	16.164
0,075 - 0,045	106.066	32.329

La superficie específica total de un árido, SET, que tiene una granulometría determinada, expresada en m-1, se obtiene de la sumatoria de los productos del porcentaje en peso retenido en cada fracción de tamaño de los tamices normales por la superficie específica correspondiente a dicha fracción indicado en **Tabla 6.2_51** y dividiendo el resultado por 100.

$$SE_T = \frac{\sum(\text{Porcentaje retenido} \times SE)}{100} \quad \{\text{correspondiente entre mallas } D_{\max} \text{ } D_{\min}\} (\text{m}^{-1}) \text{ o } (\text{pie}^{-1}) \quad (3)$$

La superficie específica en peso de un agregado, SEP, es función de su densidad real seca, ρ_{RS} , expresada en kg /m³, y viene dada por la siguiente expresión:

$$SE_p = \frac{SE_T}{\rho_{RS}} \left(\frac{m^2}{kg} \right) \left(\frac{pie^2}{lb} \right) \quad (4)$$

6.2.5.13.4. PROCEDIMIENTO

A.MUESTREAR ÁRIDOS

Prepare muestras representativas de los áridos para efectuar ensayos según lo señalado en **Sección 6.2.5.4.**

B.DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS ÁRIDOS

Ejecute los ensayos para determinar la granulometría de los áridos según lo señalado en los siguientes **Métodos: A0506, A0507 y A0502**, cuando proceda.

C.DETERMINAR LA DENSIDAD REAL SECA DE LOS ÁRIDOS

Ejecute los ensayos para determinar las densidades reales de los agregados según lo señalado en los siguientes **Métodos: A0519 y A0520.**

D.CALCULAR LA SUPERFICIE ESPECÍFICA DE LOS ÁRIDOS

Calcule la superficie específica total en peso de cada uno de los agregados utilizando la ecuación (4).

E.CALCULAR LA SUPERFICIE ESPECÍFICA DEL ÁRIDO COMBINADO

La superficie específica del árido combinado, en peso, se obtiene de la sumatoria de los productos de los porcentajes en peso de cada tipo de árido por su superficie específica, y dividiendo el resultado por 100.

$$SE_{PT} = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Porcentaje en peso árido } (i) \times SE_p \text{ árido } (i))}{100} \left(\frac{m^2}{kg} \right) \text{ o } \left(\frac{pie^2}{lb} \right) \quad (5)$$

6.2.5.13.5.INFORME

El informe deberá incluir al menos los siguientes antecedentes:

- Nombre del Contrato y de la empresa Contratista.
- Identificación de las muestras (tipo y aspecto visual de los áridos, procedencia de las muestras).
- Lugar y fecha de muestreo.
- Entidad responsable del muestreo y ensayo.
- Análisis granulométricos y dosificación de mezcla de los áridos.
- Densidades reales secas de los áridos.
- Cálculo de la superficie específica de los áridos.

SECCION 6.2.5.14.

MÉTODO PARA DETERMINAR SALES SOLUBLES

6.2.5.14.1. OBJETO

Este método establece el procedimiento analítico de cristalización para determinar el contenido de cloruros y sulfatos, solubles en agua, de los áridos empleados en bases estabilizadas y mezclas asfálticas. Este método es aplicable en controles de obra, debido a la rapidez de visualización y cuantificación del contenido de sales.

6.2.5.14.2. EQUIPOS Y MATERIALES

- a) Balanza precisión 0,01 g.
- b) Mecheros.
- c) Matraces aforados.
- d) Vasos de precipitado.
- e) Pipetas.
- f) Solución de Nitrato de Plata.
- g) Solución de Cloruro de Bario.
- h) Agua destilada.
- i) Horno.
- j) Tubos de ensayo.

6.2.5.14.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Extraiga y prepare la muestra de acuerdo con la **Sección 6.2.5.4**. La cantidad de muestra y aforo debe ajustarse a lo que se indica en la **Tabla 6.2_ 52**.

Tabla 6.2_52. CANTIDAD Y AFORO DE LA MUESTRA.

Árido Pétreo	Cantidad Mínima (g)	Aforo Mínimo (ml)
Grava 50 - 20 mm	1,000	500
Grava 20 - 5 mm	5,00	500
Arena 5 mm	100	500

6.2.5.14.4. PROCEDIMIENTO

- a. Seque la muestra en horno a $110 \pm 5^\circ$ C hasta masa constante, aproximando a 0,01 g. Registre esta masa como A.

- b. Coloque la muestra en un vaso de precipitado, agregue agua destilada en volumen suficiente para cubrir hasta unos 3 cm. sobre el nivel de la muestra y caliente hasta ebullición.
- c. Agite durante 1 min. Repita la agitación a intervalos regulares, hasta completar cuatro agitaciones en un período de 10 min.
- d. Decante mínimo 10 min. hasta que el líquido se aprecie transparente y transvase el líquido sobrenadante a otro vaso. Determine en forma separada, en dos tubos de ensayo, las sales solubles con los respectivos reactivos químicos. La presencia de cloruros se detecta con unas gotas de nitrato de plata, formándose un precipitado blanco de cloruro de plata y la de sulfatos con unas gotas de cloruro de bario, dando un precipitado blanco de sulfato de bario.
- e. Repita los pasos desde 2 a 4, hasta que no se detecte presencia de sales, juntando los líquidos sobrenadantes.
- f. Una vez enfriados, vacíe todos los líquidos sobrenadantes acumulados, a un matraz aforado y enrase con agua destilada. En caso de tener un volumen superior, concentre mediante evaporación. Registre el aforo como B.
- g. Tome una alícuota de un volumen entre 50 y 100 ml, de la muestra previamente homogeneizada, del matraz aforado y registre su volumen como C.
- h. Cristalice la alícuota en un horno a $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$, hasta masa constante y registre la masa como D.

6.2.5.14.5. INFORME

Informe el porcentaje de sales solubles, calculándolo mediante la siguiente relación:

$$\text{Sales solubles (\%)} = \frac{1}{\frac{C \times A}{D \times B} - 1} \times 100$$

Nota 1: En caso de necesitar mayor precisión en la determinación de sales o cuando se esté en el límite de la exigencia, emplee el Método AO 517.

SECCION 6.2.5.15.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE PARTÍCULAS DESMENUZABLES

6.2.5.15.1. OBJETO

Este método establece un procedimiento para determinar el contenido de partículas desmenuzables en los áridos. Se aplica a los áridos de densidad neta entre 2.000 y 3.000 kg/m³ que se utilizan en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

6.2.5.15.2. Definiciones

A. PARTÍCULAS DESMENUZABLES

Son aquellas partículas contenidas en los áridos que pueden desmenuzarse con la presión de los dedos.

6.2.5.15.3. EQUIPOS Y MATERIALES

A. BALANZA

De capacidad superior a la masa de la muestra de ensayo y una precisión de 0,1 g.

B. RECIPIENTES

De material resistente, no absorbente y químicamente inerte con los áridos y el agua, estancos y de capacidad tal que permitan distribuir toda la muestra de ensayo en una capa delgada.

C. TAMICES

De malla de alambre y abertura cuadrada que cumplan con la **Sección 6.2.5.6**. Emplee la serie de aberturas nominales de: 37,5 mm (1 ½"), 19 mm (¾"), 9,5 mm (3/8"), 4,75 mm (Nº 4), 2,36 mm (Nº 8), 1,18 mm (Nº 16), 0,6 mm (Nº 30) y 0,3 mm (Nº 50).

D. HORNO

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

6.2.5.15.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con la **Sección 6.2.5.4**.

B. ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

- Emplee material previamente lavado o bien material proveniente del ensayo de determinación de material fino inferior a 0,080 mm, según Sección 6.2.5.7.
- En el caso de materiales integrales o mal horneados, deje constancia en el informe y separe el material en árido fino y árido grueso mediante el tamiz de 4,75 mm o 2,36

mm, según corresponda a hormigón o asfalto respectivamente. Determine y registre el porcentaje en masa de ambas fracciones.

Nota 1: Se consideran mal harneados los pétreos finos que retienen más de 5% sobre el tamiz de referencia y los áridos gruesos que dejan pasar más de 5 % por el mismo tamiz.

c. Seque la muestra hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

C.TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

d. Árido fino

Debe tener el tamaño especificado en la **Tabla 6.2_53**.

e. Árido grueso

Debe tener un tamaño tal que permita obtener las fracciones de muestra especificadas en **Tabla 6.2_ 53**.

Tabla 6.2_53. TAMAÑO MÍNIMO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Árido fino

Tamaño de partículas (mm)	Masa mínima de la muestra (g)
Hormigón 1,18-4,75	100
Asfalto 0,6-2,36	100

Árido grueso

Fracción *	Tamaño de partículas (mm)	Masa mínima de la fracción (g)
1	sobre 37,5	5.000
2	19-37,5	3.000
3	9,5-19	2.000
4	4,75-9,5	1.000
5	2,36-4,75	500

* Fracción 1, 2, 3 y 4 para hormigón.

Fracción 1, 2, 3, 4 y 5 para asfalto.

f. Los tamaños de muestra del árido grueso se deben tomar considerando el porcentaje parcial retenido (ppr) de cada fracción, determinado mediante tamizado según **Sección 6.2.5.6**, en la forma siguiente:

- Ensayo las fracciones indicadas siempre que el ppr sea igual o mayor que 5 %.
- No ensayo las fracciones que tengan un ppr menor que 5% (ver 21 b)).

6.2.5.15.5. PROCEDIMIENTO

- Pese la muestra o fracción de muestra de ensayo en estado seco y registre su masa inicial (mi), aproximando a 0,1 g en el árido fino y a 1 g en el árido grueso.
- Esparza el material de cada muestra o fracción de muestra en una capa delgada sobre el fondo de un recipiente, cúbrala con agua destilada y déjela remojando durante 24 ± 4 h.

- c. Finalizado el plazo de inmersión, deshaga las partículas desmenuzables comprimiéndolas y frotándolas entre los dedos.

Nota 2: Las partículas no deben deshacerse empleando las uñas ni comprimiéndolas contra superficies duras.

- d. Después de deshacer todas las partículas desmenuzables, separe el residuo mediante tamizado húmedo, empleando el tamiz que corresponda de acuerdo con la **Tabla 6.2_54**, según el tamaño de las partículas ensayadas.

Tabla 6.2_54. TAMICES PARA SEPARAR RESIDUOS

Árido fino

Tamaño de partículas (mm)	Abertura nominal del tamiz (mm)
Hormigón 1,18-4,75	0,6
Asfalto 0,6-2,36	0,3

Árido grueso

Fracción *	Tamaño de partículas (mm)	Abertura nominal del tamiz (mm)
1	sobre 37,5	4,75
2	19-37,5	4,75
3	9,5-19	4,75
4	4,75-9,5	2,36
5	2,36-4,75	1,18

*Fracción 1, 2, 3 y 4 para hormigón

Fracción 1, 2, 3, 4 y 5 para asfalto

- e. Efectúe el lavado dejando caer agua corriente sobre la muestra o fracción de muestra colocada en el tamiz correspondiente, agite manualmente hasta eliminar todos los residuos de partículas desmenuzables.
- f. Retire las partículas retenidas y séquelas hasta masa constante en horno a temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$. Luego deje enfriar a temperatura ambiente.
- g. Mida y registre la masa del material retenido como masa final de la fracción correspondiente (mf), aproximando a 0,1 g en el árido fino y a 1 g en el árido grueso.

6.2.5.15.6. CÁLCULOS

A. ÁRIDO FINO

Calcule el contenido de partículas desmenuzables del árido fino como la pérdida de masa de la muestra de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 0,1%:

$$P(\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot 100$$

Donde:

P : Pérdida de masa del árido fino (%).

m_i : Masa inicial de la muestra del árido fino (g)

m_f : Masa final de la muestra del árido fino (g).

B.ÁRIDO GRUESO

- a) Calcule el porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción de muestra de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 0,1 %:

$$P_n(\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot P_{pr}$$

Donde:

P_n : Porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción de muestra de árido grueso (%).

m_i : Masa inicial de la fracción (g).

m_f : Masa final de la fracción (g).

P_{pr} : Porcentaje parcial retenido correspondiente a la fracción según el análisis granulométrico (%).

- b) Considere que las fracciones no ensayadas de acuerdo con lo especificado en el punto 10 tienen una pérdida de masa igual a la media aritmética de las pérdidas de las dos fracciones inmediatamente superior e inferior. Si se trata de una fracción extrema, considere que tiene una pérdida igual a la de la fracción más próxima.
- c) Calcule el contenido de partículas desmenuzables del árido grueso como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra, de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a 0,1 %:

$$P(\%) = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4)$$

Nota 3: Para asfalto, considerar además P_5 .

Donde:

P : Pérdida de masa del pétreo grueso (%).

P_n : Porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción de muestra del árido grueso (%).

6.2.5.15.7. INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- Nombre del contrato y contratista.
- Procedencia de la muestra.
- Resultado del ensayo.
- Fecha de ensayo.
- Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al árido (por ejemplo, serie de tamices empleada).
- Referencia a este método.

SECCION 6.2.5.16.

MÉTODO DE LOS SULFATOS PARA DETERMINAR LA DESINTEGRACIÓN (ASTM C88 AASHTO T104-99)

6.2.5.16.1. OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar la desintegración de los áridos mediante soluciones de sulfato de sodio o sulfato de magnesio. El uso de una u otra sal es alternativo, pero sus resultados no son comparables.

Este método se aplica a los áridos de densidad neta entre 2.000 y 3.000 Kg/m³ que se utilizan en la elaboración de morteros, hormigones y mezclas asfálticas.

6.2.5.16.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A. BALANZAS

Balanza para áridos finos de capacidad superior a 500 g y una precisión de 0,1 g.

Balanza para áridos gruesos de capacidad superior a 5.000 g y una precisión de 0,1 g.

B. HORNO

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

C. TAMICES

Emplee la misma serie de tamices especificados en el **Sección 6.2.5.6.**

D. RECIPIENTES

Canastillos rígidos y químicamente inertes con las soluciones de ensayo. Las perforaciones deben permitir el libre acceso y drenaje de la solución sin pérdidas de material de la muestra.

Nota 1: Se recomienda emplear canastillos fabricados con tela metálica de aberturas adecuadas a las fracciones del pétreo en ensayo.

Recipientes para solución, rígidos, estancos y químicamente inertes con las soluciones de ensayo. Serán de forma y tamaño tales que permitan contener los canastillos completamente sumergidos en la solución. Deben tener un dispositivo para regular la temperatura de la solución durante la inmersión.

E. REACTIVOS

Para cada operación se debe disponer de un volumen de solución igual o mayor a 5 veces el volumen aparente de la muestra.

Solución de sulfato de sodio. Disuelva 350 g de sulfato de sodio anhidro (Na₂SO₄) o 750 g de sulfato de sodio deshidratado (Na₂SO₄•10H₂O) por litro de agua a una temperatura mayor a 25°C y menor a 30°C. Revuelva completamente durante la adición de la sal y a intervalos regulares hasta su uso. Enfríe y mantenga a una temperatura de 20 ± 3°C durante un período igual o mayor a 48 h previas al uso. Al momento del empleo, la solución debe tener una densidad (g/ml) comprendida entre 1,151 y 1,174 a 20 ± 3°C.

Nota 2: Es recomendable usar el producto comercial anhidro por tener mayor solubilidad que el producto hidratado.

Nota 3: El ajuste de la densidad se logra diluyendo o disolviendo más sal, según corresponda.

Solución de sulfato de magnesio. Disuelva 350 g de sulfato de magnesio anhidro ($MgSO_4$) o 1.400 g de sulfato de magnesio heptahidratado ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) por litro de agua a una temperatura mayor que $25^\circ C$ y menor que $30^\circ C$. Revuelva completamente durante la adición de la sal y a intervalos regulares hasta su uso. Enfríe y mantenga a una temperatura de $20 \pm 3^\circ C$ durante un período igual o mayor a 48 h previas al uso. Al momento de empleo la solución debe tener una densidad (g/ml) comprendida entre 1,295 y 1,308 a $20 \pm 3^\circ C$.

6.2.5.16.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con las **Secciones 6.2.5.4 y 6.2.5.5**. Deben haberse ensayado previamente según **Sección 6.2.5.6** a fin de determinar la granulometría.

B. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

B.1. Árido Fino

- a) Pase previamente por el tamiz de 9,5 mm para hormigón y 4,75 mm para asfalto. Cuando el material retenido exceda el 5% de la muestra, ensaye de acuerdo con 7.
- b) Prepare la muestra con el material que pasa por el tamiz de 9,5 mm para hormigón y 4,75 mm para asfalto; debe tener un tamaño tal que permita obtener las fracciones de muestra especificadas en la **Tabla 6.2_55**.

B.2. Árido Grueso

- a) Pase previamente por el tamiz de 4,75 mm para hormigón y 2,36 mm para asfalto. Cuando el material que pasa exceda el 5 % de la muestra, ensaye de acuerdo con 6.
- b) Prepare la muestra con el material retenido en el tamiz de 4,75 mm para hormigón y 2,36 mm para asfalto; debe tener un tamaño tal que permita obtener las fracciones de muestra especificadas en la **Tabla 6.2_56**.

Tabla 6.2_55. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO ÁRIDO FINO

Fracción	Tamaño de partículas (mm)	Masa mínima de la fracción (g)
1	4,75 – 9,5	100
2	2,36 – 4,75	100
3	1,18 – 2,36	100
4	0,6 – 1,18	100
5	0,3 – 0,6	100

Nota: Fracción 1, 2, 3, 4 y 5 para hormigón, Fracción 2, 3, 4 y 5 para asfalto.

Tabla 6.2_56. PÉTREO GRUESO

Fraccion	Tamaño de partículas (mm)	Masas de la subfraccion (g)	Masas de la fraccion (g)
1	50 - 63	3.000 ± 300	5.000 ± 300
	37,5 - 50	2.000 ± 200	
2	25 - 37,5	1.000 ± 50	1.500 ± 50
	19 - 25	500 ± 30	
3	12,5 - 19	670 ± 10	1.000 ± 10
	9,5 - 12,5	330 ± 5	
4	4,75 - 9,5	300 ± 5	300 ± 5
5	2,36 - 4,75	100 ± 5	100 ± 5

Nota 4: Para tamaños mayores a 63 mm constituir fracciones de 7.000 ± 1.000 g por cada incremento del tamaño en 25 mm. La fracción 5 es sólo para asfalto.

- c) Tome los tamaños de muestra indicados en la **Tabla 6.2_55** considerando el porcentaje parcial retenido (ppr) de cada fracción, determinado mediante tamizado según **Sección 6.2.5.6**, en la forma siguiente:
- i. Ensaye las fracciones indicadas siempre que el ppr sea igual o mayor que 5%.
 - ii. No ensaye las fracciones que tengan un ppr menor que 5% (ver 19).
 - iii. Si una subfracción del pétreo grueso tiene un ppr menor que 3%, componga la fracción con la subfracción que exista, siempre que ella tenga un ppr igual o mayor a 3%.

C.ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

C.1.Árido fino

- a) Lave la muestra de ensayo sobre un tamiz de 0,3 mm o 0,15 mm, para hormigón o asfalto, respectivamente.
- b) Seque hasta masa constante en horno a una temperatura de 110 ± 5°C.
- c) Tamice de modo de obtener las fracciones de muestra especificadas en la **Tabla 6.2_55**.
- d) Pese los tamaños de muestra requeridos para cada fracción y registre la masa inicial (mi) de cada una de ellas, aproximando a 0,1 g.
- e) Coloque cada fracción en su canastillo.

C.2.Árido Grueso

- a) Lave la muestra de ensayo sobre un tamiz de 4,75 mm o 2,36 mm, según corresponda.

- b) Seque hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- c) Tamice de modo de obtener las subfracciones de muestra especificada en la **Tabla 6.2_56.-**
- d) Pese los tamaños de muestra requeridos para cada subfracción.
- e) Componga y pese las fracciones requeridas y registre la masa inicial (mi) de cada una de ellas, aproximando a 1 g.
- f) Cuente y registre el número inicial de partículas (ni) de tamaño mayor a 20 mm.
- g) Coloque cada fracción en su canastillo.

C.3.Ciclos de inmersión y secado

- a) Sumerja los canastillos con las fracciones de muestra en la solución de sulfato de sodio o sulfato de magnesio a una temperatura de $20 \pm 3^\circ\text{C}$ por un período de 17 ± 1 h, de modo que los pétreos queden cubiertos por una capa de solución superior a 1,5 cm. Cubra los recipientes para reducir la evaporación y evitar contaminaciones.
- b) Retire los canastillos con las fracciones de muestra de la solución; deje escurrir durante 15 ± 5 min. Y seque hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Deje enfriar a temperatura ambiente.
- c) Repita 5 veces el ciclo de inmersión y secado.

- Terminado el número de ciclos y una vez enfriada la muestra, lave hasta eliminar totalmente el sulfato.

Nota 5: Para determinar el término del lavado se recomienda comprobar el agua de lavado mediante solución de cloruro de bario al 10%. No debe formarse precipitado blanco.

- Seque hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$; deje enfriar a temperatura ambiente. Cubra los canastillos para evitar absorciones o contaminaciones.
- Determine la masa final de las fracciones de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- Árido fino

- a) Tamice cada fracción de árido fino en el tamiz en que fue retenida al iniciar el ensayo.
- b) Pese y registre la masa del material retenido como masa final de la fracción correspondiente (mf), aproximando a 0,1 g.

- Árido grueso

Tamice cada fracción de árido grueso por el tamiz correspondiente de acuerdo con la **Tabla 6.2_57.**

Tabla 6.2_57. SERIE DE TAMICES PARA EXAMEN CUANTITATIVO

Fracción	Tamaño de partículas de la fracción original (mm)	Tamices, tamaños nominales de abertura (mm)
1	37,5 - 63	25
2	19 - 37,5	12,5
3	9,5 - 19	6,25
4	4,75 - 9,5	2,5
5	2,36 - 4,75	2,0

Nota 6: La fracción 5 es sólo para asfalto. Pese y registre la masa del material retenido como masa final de la fracción correspondiente (mf), aproximando a 1g.

- Examine cualitativamente y cuantitativamente las partículas mayores que 20 mm como sigue:
 - a) Observe y registre el efecto de la acción del sulfato (desintegración, agrietamiento, hendidura, exfoliación, desmoronamiento, etc.).
 - b) Cuente y registre el número final de partículas (nf).

6.2.5.16.4. CÁLCULOS

Calcule el porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción de muestra de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 0,1 %.

$$P_n(\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot ppr$$

P_n : Porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción de muestra (%).

m_i : Masa inicial de la fracción (g).

m_f : Masa final de la fracción (g).

ppr : Porcentaje parcial retenido correspondiente a la fracción según el análisis granulométrico (%).

Para las fracciones no ensayadas de acuerdo con lo especificado en 7 c), considere que tienen una pérdida de masa igual a la media aritmética de las pérdidas de las dos fracciones inmediatamente superior e inferior. Si se trata de una fracción extrema considere que tiene una pérdida igual a la de la fracción más próxima.

Calcule la desintegración del árido fino o grueso, según corresponda, como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 0,1%.

$$P(\%) = (P_1 + P_2 + \dots + P_n)$$

Donde:

P: Porcentaje de pérdida de masa de la muestra (%).

P_n : Porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción de muestra (%).

Calcule el porcentaje de partículas mayores que 20 mm afectadas por la acción del sulfato, según la fórmula siguiente, aproximando al 1%.

$$A(\%) = \frac{n_i - n_f}{n_i} \cdot 100$$

Donde:

A: Porcentaje de partículas mayores que 20 mm afectadas por la acción del sulfato (%).

n_i: Número inicial de partículas mayores que 20 mm.

n_f: Número final de partículas mayores que 20 mm.

6.2.5.16.5. INFORME

El informe debe incluir los siguientes datos:

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Procedencia de la muestra.
- c) Sal con que se efectuó el ensayo.
- d) Resultado del ensayo.
- e) Fecha de ensayo.
- f) Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al árido.
- g) La referencia a este método.

SECCION 6.2.5.17.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE CLORUROS Y SULFATOS (ASTM D 1411)

6.2.5.17.1. OBJETO

Este método establece los procedimientos analíticos para determinar en los áridos el contenido de cloruros y sulfatos solubles en agua. Se aplica a los áridos de densidad neta entre 2.000 a 3.000 kg/m³.

Se considera que los métodos analíticos que se describen tienen suficiente exactitud para los fines de aceptación y rechazo.

6.2.5.17.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A. BALANZAS

- a) Balanza corriente, con capacidad suficiente para pesar la muestra más el recipiente de pesaje y con una precisión de 0,1 g.
- b) Balanza analítica, con capacidad de 100 a 200 g y con una precisión de 0,001 g.

B. HORNO

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

C. RECIPIENTES

- a) Para secado; adecuados para secar y pesar la muestra.
- b) Para extracción, de vidrio o metálicos. Los metálicos deben ser estancos e inatacables por las soluciones empleadas. Deben tener capacidad suficiente para la extracción.

D. BURETAS

- a) Bureta calibrada, con lecturas de 0,1 ml.
- b) Microbureta, con lecturas de 0,02 ml.

E. MATERIAL DE LABORATORIO

Matraces aforados, pipetas, vasos de precipitado y todo el equipo misceláneo requerido en un laboratorio químico.

F. REACTIVOS

a) Reactivos generales

Son los reactivos para análisis concentrados de la densidad que se indica y con los cuales se deben preparar las soluciones requeridas:

- Ácido clorhídrico ρ : 1,18 g/ml
- Ácido nítrico ρ : 1,42 g/ml

b) Reactivos especiales

Son los que se indican en cada determinación.

6.2.5.17.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con las **Secciones 6.2.5.5 y 6.2.5.4.**

B. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

El tamaño de la muestra de ensayo debe ser tal, que una vez acondicionada, pueda obtenerse la cantidad mínima que se indica en la **Tabla 6.2_58.**

Tabla 6.2_58. TAMAÑO MÍNIMO DE LA MUESTRA Y AFORO

Pétreo (mm)	Tamaño mínimo de la muestra (g)	Aforo (ml)
Fino	100	1.000
Grueso < 20	500	1.000
Grueso 20 a 40	750	2.000
Grueso > 40	1.000	2.000

Nota 1: Si el laboratorio no cuenta con microbureta la muestra mínima de fino debe aumentarse a 250 g.

C. ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

C.1. Tratamiento

- a) Seque la muestra a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ hasta masa constante y pese con aproximación a 0,1 g, registrando la pesada como M. No se debe ajustar la pesada a una cantidad predefinida para evitar la selección de partículas.
- b) Coloque la muestra en un recipiente de extracción.
- c) Agregue agua destilada hirviendo, en volumen suficiente para cubrir unos 3 cm sobre el nivel de la muestra.
- d) Agite aproximadamente 1 min. Repita la agitación a intervalos regulares hasta completar cuatro agitaciones en un período de 10 min.
- e) Decante durante 10 min. y traspase el líquido de extracción que sobrenada a otro recipiente o vaso.
- f) Repita toda la operación anterior hasta que el líquido de extracción no acuse presencia de cloruros y/o sulfatos, completando un volumen de 800 ml en los áridos menores que 20 mm y un volumen de 1.800 ml en áridos mayores que 20 mm. En caso necesario concentre por evaporación.
- g) Filtre el líquido de extracción en filtro de porosidad media al vacío. Lave con agua caliente, y refiltre si es necesario.

Nota 2: Para evitar la coloración en el filtrado se recomienda emplear carbón activo p.a. y para acelerar el filtrado y evitar la turbidez se recomienda emplear pulpa de celulosa o tierra de infusorios, grado analítico. También pueden emplearse otros materiales similares que no interfieran con los procedimientos analíticos.

- h) Enfríe el filtrado a 20°C y enrase en matraz aforado con un volumen de 1.000 ó 2.000 ml según corresponda (V).

C.2.Muestras para análisis

Emplee una alícuota del líquido del matraz, según se indica en cada determinación.

6.2.5.17.4. DETERMINACIONES

A.DETERMINACIÓN DE CLORUROS SOLUBLES EN AGUA

A.1.Reactivos especiales

- Indicador de cromato de potasio al 5%: Disuelva 5 g de K_2CrO_4 p.a. en un poco de agua destilada. Agregue una solución de nitrato de plata 0,1 N hasta producir un ligero precipitado rojo. Deje reposar por lo menos una noche, filtre y diluya a 100 ml con agua destilada.
- Reactivo A. Solución 0,1 N de cloruro de sodio. Pese 5,8443 g de cloruro de sodio seco, NaCl p.a. cristalizado, patrón primario y secado a $110^\circ \pm 5$ C hasta masa constante. Disuelva con agua destilada en matraz aforado de 1.000 ml. El equivalente de 1 ml de este reactivo es igual a $3,545 \times 10^{-6}$ Kg. de Cl.
- Reactivo B. Solución normalizada de nitrato de plata. Pese 17,0 g de nitrato de plata, $AgNO_3$ p.a. y disuelva con agua destilada en matraz aforado de 1.000 ml. Para conservar la solución sin alteración de la luz, traspásela a un frasco oscuro con tapón de vidrio.
- Normalice el reactivo B como sigue: mida 20 ml del reactivo A y colóquelo en una cápsula de porcelana blanca o en un vaso sobre fondo blanco. Diluya a 100 ml con agua destilada. Agregue 1 ml del indicador de cromato de potasio al 5%. Titule con el reactivo B mediante una bureta calibrada, agitando constantemente hasta que la solución cambie del amarillo a un color rojo ligero, pero persistente. Efectúe esta determinación en triplicado. Registre los b ml del reactivo B consumidos.

Calcule el factor de normalidad del reactivo B,

$$f_b = \left(\frac{\text{ml reactivo A}}{b} \right)$$

A.2.Determinación

- Tome una alícuota con un volumen de 100 ml (A) del líquido filtrado en 7.

Nota 3: Si el contenido de cloruros es muy alto, tome una alícuota con un volumen menor para facilitar el punto final. Para el cálculo tome en cuenta este menor volumen.

Colóquela en una cápsula de porcelana blanca o en un vaso sobre fondo blanco. Verifique que el valor del pH esté entre 6 y 8.

Nota 4: Por ejemplo, si el pH es menor que 6 se puede neutralizar mediante una solución de NaOH 0,1 N en presencia del indicador de fenolftaleína hasta una leve coloración rosada, la que se hará desaparecer con una gota de HNO_3 0,1 N. Si el pH es mayor que 8, emplee una solución

de HNO₃ 0,1 N en presencia del mismo indicador, hasta que la coloración rosada desaparezca. También puede emplearse otro método similar que no interfiera con el procedimiento de titulación.

- Agregue 1 ml del indicador de cromato de potasio al 5%.
 - Titule con el reactivo B mediante una bureta calibrada (o microbureta cuando sea necesario), agitando constantemente hasta que la solución cambie del amarillo a un color rojo ligero, pero persistente.
 - Registre los b_a ml del reactivo B consumidos.
 - Efectúe un ensayo en blanco con los mismos reactivos, registrando como b_b los ml consumidos.
- a) Expresión de resultados. Calcule el contenido de cloruros en el pétreo, expresados como kg de anión cloruro, Cl⁻, por kg de árido, con aproximación a 1×10^{-6} Kg. como sigue:

$$\text{cloruros (Kg Cl}^{-}\text{/kg de árido)} = \frac{(b_a - b_b) \cdot f_b \cdot 3,545 \times 10^{-6} \cdot V}{M \cdot A}$$

Donde:

b_a : Consumo del reactivo B en la muestra (ml).

b_b : Consumo del reactivo B en el blanco (ml).

f_b : Factor de normalidad del reactivo B.

V : Volumen aforado de la solución (ml).

M : Masa del pétreo seco de la muestra de ensayo (kg).

A : Volumen de la alícuota (ml).

A.3.Determinación de los sulfatos solubles en agua

- a) Reactivo especial. Reactivo C; solución al 10% de cloruro de bario. Pese 100 g de la sal BaCl₂•2 H₂O p.a. y disuelva en 1.000 ml de agua destilada.

- b) Determinación

- Mida una alícuota de 100 ml del matraz aforado.

Nota 5: En presencia de Fe o Al, éstos deben eliminarse mediante precipitación con hidróxido de amonio.

- Diluya con agua destilada hasta 200 a 250 ml. Agregue ácido clorhídrico hasta obtener una concentración del 1% en volumen en la solución final.
- Caliente hasta ebullición y agregue, gota a gota, 10 ml del reactivo C, continuando la ebullición por lo menos 5 min. hasta que el precipitado esté bien formado.
- Decante durante 3 h como mínimo, a temperatura cercana a la ebullición, evitando que la solución se concentre a menos de 200 ml.

Nota 6: Se recomienda continuar la decantación por un período de 12 h.

- Filtre a través de un papel de porosidad fina y bajo contenido de ceniza. Lave el precipitado con agua caliente hasta eliminación total del cloruro, verificada mediante nitrato de plata.
 - Tare un crisol de platino o porcelana, registrando su masa como m_1 . Coloque el papel filtro con el precipitado en el crisol. Incinere lentamente hasta que el papel se consuma sin arder.
 - Calcine a $900 \pm 25^\circ\text{C}$, enfríe en desecador a temperatura ambiente y pese. Repita la calcinación hasta tener una masa constante m_2 , correspondiente al crisol y precipitado calcinado. Registre la masa del precipitado ($m_2 - m_1$) como m_a .
 - Realice, paralelamente, una determinación en blanco siguiendo el mismo procedimiento con iguales cantidades de reactivos. Registre la masa del análisis en blanco como m_b .
- c) Expresión de resultados. Calcule el contenido de sulfatos solubles en el pétreo como Kg. de anión $\text{SO}^{-2/4}$, por Kg. de pétreo, con aproximación a 1×10^{-6} Kg. como sigue:

$$\text{sulfatos (Kg so}^{-2/4}\text{/Kg de árido)} = \frac{(m_a - m_b) \cdot 0,004116 \cdot V}{M}$$

Donde:

m_a : Masa del precipitado correspondiente a la muestra (g).

m_b : Masa del precipitado correspondiente a la muestra en blanco (g).

0,004116: Relación molecular de BaSO_4 a $\text{SO}^{-2/4}$ dividido por 100.

V: Volumen aforado de la solución de extracción (ml).

M: Masa del pétreo seco de la muestra de ensayo (g).

6.2.5.17.5. INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Procedencia de la muestra.
- c) Resultado del ensayo. Valores inferiores a 10×10^{-6} kgde Cl^- o $\text{SO}^{-2/4}$ pueden considerarse como indicios.
- d) Fecha de ensayo.
- e) Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al árido; y
- f) Referencia a este método.

SECCION 6.2.5.18.

MÉTODOS PARA DETERMINAR LA DENSIDAD APARENTE (ASTM C29 AASHTO T19M-00)

6.2.5.18.1. OBJETO

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad aparente de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

6.2.5.18.2. DEFINICIONES

A.HUECOS

Espacios vacíos entre las partículas de áridos.

B.POROS

Espacios vacíos interiores de una partícula de áridos.

- Poro accesible: poro permeable o abierto.
- Poro inaccesible: poro impermeable o cerrado.

C.DENSIDAD (ρ)

Es el cociente entre la masa (m) de una sustancia y su volumen (v) a una temperatura especificada. Se expresa en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3).

- Densidad aparente (Densidad a granel; Densidad bruta) (ρ_a).** Densidad que considera el volumen macizo de las partículas de un pétreo más el volumen de los poros y de los huecos. Corresponde a la capacidad de la medida que lo contiene.
- Densidad aparente compactada (ρ_{pac}).** Densidad aparente del pétreo compactado en la medida que lo contiene, según los procedimientos indicados en este método.
- Densidad aparente suelta (ρ_{pas}).** Densidad aparente del pétreo vaciado en la medida que lo contiene, según el procedimiento indicado en este método.

D.MEDIDA

Recipiente de capacidad volumétrica normal.

E.SECADO HASTA MASA CONSTANTE

Límite de secado en que dos pesadas sucesivas, separadas por una hora de secado en horno, difieren en un porcentaje igual o inferior al 0,1 % de la menor masa determinada.

6.2.5.18.3. EQUIPOS Y MATERIALES

A.BALANZA

De capacidad superior a la masa de la medida llena con unos áridos de densidad aparente de $2.000 \text{ Kg}/\text{m}^3$ y una precisión de 0,1 g.

B.HORNO

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

C.VARILLA PISÓN

Barra cilíndrica de acero liso de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud, con sus extremos terminados en semiesferas de 16 mm de diámetro.

D.MEDIDAS

Metálicas, impermeables y provistas de dos asas. Su forma interior debe ser un cilindro recto abierto por una de sus caras planas y rectificado para asegurar sus dimensiones.

- a) **Dimensiones.** Las dimensiones son las que se indican en la **Tabla 6.2_59** y podrán emplearse para áridos de tamaño máximo nominal igual o inferior a los señalados en la primera columna.

Tabla 6.2_59. DIMENSIONES DE LAS MEDIDAS

Tamaño Máximo Normal del árido *(mm)	Capacidad Volumétrica		Diámetro Interior (mm)	Altura Interior (mm)	Espesor mínimo del metal	
	m ³	l			Base (mm)	Pared (mm)
16	0,003	3	155 ± 2	160 ± 2	5	2,5
25	0,010	10	205 ± 2	205 ± 2	5	2,5
50	0,015	15	255 ± 2	295 ± 2	5	3,0
100	0,030	30	355 ± 2	305 ± 2	5	3,0

* Basado en tamices de abertura cuadrada de acuerdo con la **Sección 6.2.5.6.**

- Refuerzos. Además de cumplir con los espesores mínimos indicados en la **Tabla 6.2_59**, las medidas de 15 y 30 litros serán reforzadas en sus bordes por una pletina de 3 a 5 mm de espesor y 40 mm de ancho, a fin de conservar su forma y dimensiones interiores en el trabajo brusco que requiera este ensayo.
- Determinación de la capacidad volumétrica de la medida. Determine el volumen de la medida con una precisión de 0,1%, pesando la masa de agua que llena la medida y dividiendo esta masa por la densidad del agua a la temperatura en que se encuentra.

E.HERRAMIENTAS Y ACCESORIOS

Palas, poruña, brocha, caja para secado, etc., necesarias para los procedimientos establecidos en el presente método.

6.2.5.18.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A.EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con las **Secciones 6.2.5.5 y 6.2.5.4.**

B.TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Será un volumen de árido aproximadamente igual al doble de la capacidad volumétrica de la medida correspondiente.

C.PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO

- a) Pueden emplearse áridos provenientes del ensayo de tamizado, debidamente homogeneizados.

- b) Seque la muestra de ensayo hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ y homogeneícela cuidadosamente, asegurando la incorporación de todas las partículas más finas que la componen.

6.2.5.18.5. PROCEDIMIENTO

A.DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE COMPACTADA.

A.1.Procedimiento por apisonado

Se aplica a áridos de tamaño nominal igual o menor que 50 mm.

- a) Llene la medida en tres capas de espesores aproximadamente iguales, teniendo la última capa un exceso de árido por sobre el borde de la medida.
- b) Empareje cada capa y compacte mediante 25 golpes de pisón uniformemente repartidos.
- c) Apisone la capa inferior en todo su espesor evitando dañar el fondo de la medida.
- d) Apisone las capas superiores haciendo penetrar el pisón en la capa inmediatamente inferior.
- e) Elimine el exceso de árido empleando la varilla pisón como regla de enrase, sin presionar (Ver Nota 1)
- f) Determine y registre la masa (kg) del árido compactado que llena la medida, aproximando al 0,1%.

Nota 1: En los áridos gruesos se considera que las pequeñas salientes de algunas partículas se compensan con los huecos que quedan hacia el interior en relación al plano del borde de la medida, por lo tanto, evite rellenar dichos huecos agregando partículas menores.

A.2.Procedimiento por percusión

Se aplica a los áridos de tamaño máximo nominal o superior que 50 mm e igual o inferior que 100 mm.

- a) Llene la medida en tres capas de espesores aproximadamente iguales, teniendo la última capa un exceso de árido por sobre el borde de la medida.
- b) Empareje cada capa.
- c) Compacte cada capa levantando la medida alternativamente por sus asas opuestas, a una altura aproximada de 5 cm. y dejándola caer contra una base firme (por ejemplo un pavimento de hormigón).
- d) Repita hasta completar 50 percusiones dejando caer la medida 25 veces de cada asa.
- e) Elimine el exceso de árido empleando la varilla pisón como regla de enrase, sin presionar (Ver Nota 1 previa).
- f) Determine y registre la masa (kg) del árido compactado que llena la medida, aproximando al 0,1%.

B.DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE SUELTA

B.1.Procedimiento por simple vaciado

Se aplica a los pétreos de tamaño máximo nominal igual o inferior que 100 mm.

Nota 2: Este procedimiento es también aplicable a los pétreos finos en estado húmedo.

- Llene la medida con una pala, descargándola desde una altura de aproximadamente 5 cm sobre el borde superior de la medida.
- Desplace la pala o poruña alrededor del borde, distribuyendo uniformemente el vaciado.
- Elimine el exceso de árido empleando la varilla pisón como regla de enrase, sin presionar (ver Nota 1).
- Determine y registre la masa (kg) del árido suelto que llena la medida aproximando al 0,1%.

6.2.5.18.6. CÁLCULOS

A.DENSIDAD APARENTE COMPACTADA (PAC)

Calcule la densidad aparente compactada para cada ensayo según la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m³:

$$\rho_{ac} \left(\text{kg/m}^3 \right) = \frac{m_c}{V}$$

Donde:

m_c : Masa de árido compactado que llena la medida (kg).

V : Capacidad volumétrica de la medida (m³).

B.DENSIDAD APARENTE SUELTA (ρ_{AS})

$$\rho_{as} \left(\text{Kg/m}^3 \right) = \frac{m_s}{V}$$

Calcule la densidad aparente suelta (Nota 3) para cada ensayo según la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m³:

Donde:

m_s : Masa del pétreo suelto que llena la medida (kg).

V : Capacidad volumétrica de la medida (m³).

Calcule la densidad aparente como el promedio aritmético de dos ensayos sobre muestras gemelas, aproximando a 10 kg/m³.

6.2.5.18.7. ACEPTACIÓN DE RESULTADOS

Acepte la determinación de cada densidad aparente cuando la diferencia entre los dos resultados obtenidos por un mismo operador, en ensayos sobre muestras gemelas, sea igual o inferior que 30 kg/m³.

Ensayo dos nuevas muestras gemelas cuando no se cumpla con lo especificado en el párrafo Anterior.

Nota 3: Para el uso de los áridos finos en estado húmedo, calcule la densidad aparente suelta según la fórmula siguiente:

$$\rho_{az \text{ húmeda}} (\text{Kg/m}^3) = \frac{ms \text{ húmeda}}{V}$$

Para aceptar la determinación, la diferencia entre resultados de ensayo sobre muestras gemelas deberá ser igual o inferior que 50 kg/m³. Cuando se realice este ensayo, en el Informe deberá indicarse también el contenido de humedad del árido expresado como porcentaje de la masa del árido seco.

6.2.5.18.8. INFORME

El informe incluirá lo siguiente:

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Clase de árido.
- c) Procedencia de la muestra.
- d) Procedimiento del ensayo empleado.
- e) Resultado del ensayo.
- f) Fecha de ensayo.
- g) Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al árido.

SECCION 6.2.5.19.

MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL, LA DENSIDAD NETA Y LA ABSORCIÓN DE AGUA EN ÁRIDOS GRUESOS (ASTM C 127 AASHTO T85-91)

6.2.5.19.1. OBJETO

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos.

Es aplicable a los áridos gruesos de densidad neta entre 2.000 y 3.000 kg/m³, que se emplean en el análisis de suelos, elaboración de hormigones y obras asfálticas.

6.2.5.19.2. DEFINICIONES

A.ÁRIDO GRUESO

Material árido retenido en el tamiz de 4,75 mm (Nº 4) en el caso de suelos y hormigones, y en el tamiz de 2,36 mm (Nº 8) cuando se utiliza en asfaltos.

B.HUECOS

Espacios vacíos entre las partículas de un material árido.

C.POROS

Espacios vacíos interiores de una partícula de material árido.

a) **Poros accesibles:** poro permeable o abierto.

b) **Poros inaccesibles:** poro impermeable o cerrado.

D.DENSIDAD (P)

Es el cociente entre la masa (m) y el volumen (v) de un material pétreo a una temperatura especificada. Se expresa en kg/m³.

a) **Densidad real (ρ_R).** Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material árido, más el volumen de los poros accesibles e inaccesibles de esas partículas.

- Densidad real del árido seco (ρ_{RS}). Densidad real en que se considera solamente la masa del árido seco.

- Densidad real del árido saturado superficialmente seco (ρ_{RT}). Densidad real en que se considera la masa del árido seco más la masa del agua que llena los poros accesibles.

b) **Densidad neta (ρ_N).** Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material pétreo más el volumen de los poros inaccesibles.

E.ABSORCIÓN DE AGUA (A)

Masa de agua necesaria para llevar un material árido del estado seco al estado saturado superficialmente seco. Se expresa como porcentaje referido a la masa del pétreo seco.

F.ÁRIDO SECO

Material secado en horno hasta masa constante. Esta condición se obtiene cuando dos pesadas sucesivas, separadas por 1 h de secado a $110 \pm 5^\circ \text{C}$, difieren en un porcentaje igual o inferior al 0,1 % de la menor masa determinada.

6.2.5.19.3. EQUIPOS Y MATERIALES

A.BALANZA

De capacidad superior a la masa del canastillo portamuestra más la masa de la muestra de ensayo y una precisión mínima de 1 g.

B.HORNO

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

C.CANASTILLO PORTAMUESTRA

De alambre de acero inoxidable lo suficientemente resistente para soportar el peso de la muestra, con malla de abertura igual o inferior que 2 mm y de capacidad igual o superior a 4 l. Además, debe estar provisto de un dispositivo que permita suspenderlo del platillo de la balanza.

D.ESTANQUE

Impermeable, inoxidable, de forma y capacidad tal que permita contener totalmente y con holgura el canastillo portamuestra, de acuerdo con el procedimiento especificado en este método.

E.RECIPIENTES

Deben estar limpios, de material resistente, estancos y de capacidad suficiente para contener la muestra de ensayo.

6.2.5.19.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A.EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con las **Secciones 6.2.5.4 y 6.2.5.5**.

B.TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

La cantidad mínima de muestra para el ensayo se determina según la **Tabla 6.2_60**, en función del tamaño máximo nominal del árido.

Tabla 6.2_60. CANTIDAD MÍNIMA DE MUESTRA SEGÚN TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL ÁRIDO

Tamaño máximo nominal (mm)	Cantidad mínima de muestra (g)
12,5	2.000
19	3.000
25	4.000
37,5	5.000
50	8.000

C.PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO

- Puede emplear el material proveniente del ensayo de tamizado, debidamente homogeneizado.
- Elimine por tamizado las partículas inferiores a 4,75 mm, en el caso de hormigones y suelos y las partículas inferiores a 2,36 mm, en el caso de asfaltos.
- Lave la muestra hasta remover el polvo superficial o cualquier materia extraña adherida a las partículas.
- Seque la muestra hasta masa constante en un horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$.
- Enfríe la muestra al aire a temperatura ambiente por un período de $24 \pm 4 \text{ h}$.
- Sumerja la muestra en agua a temperatura ambiente por un período de $24 \pm 4 \text{ h}$.

Nota 1: Se debe tener presente que existen áridos cuya saturación no se completa en 24 h. En ese caso, es necesario continuar el control de absorción hasta que dos pesadas sucesivas, separadas por una hora de inmersión, difieran en un porcentaje igual o inferior que el 0,1 % de la menor masa determinada.

6.2.5.19.5. PROCEDIMIENTO

Efectúe las siguientes pesadas a la muestra de ensayo:

A.PESADA AL AIRE AMBIENTE DEL ÁRIDO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO

- Retire la muestra del agua y seque superficialmente las partículas, haciéndolas rodar sobre un paño absorbente húmedo hasta que desaparezca la película visible de agua adherida. Seque individualmente las partículas mayores manteniendo el árido, ya secado superficialmente, cubierto por un paño húmedo hasta el momento de pesar. Efectúe toda la operación en el menor tiempo posible.
- Determine inmediatamente la masa del pétreo saturado superficialmente seco, por pesada al aire ambiente, aproximando a 1 g. Registre su valor como MSSS.

B.PESADA SUMERGIDA

- Coloque la muestra inmediatamente en el canastillo porta muestra.
- Sumerja el canastillo en agua a $20 \pm 3^\circ \text{C}$, por un período de al menos 3 min.
- Determine la masa sumergida, aproximando a 1 g. Registre su valor como MSUM.

Nota 2: Mantenga el canastillo y su contenido totalmente sumergidos durante la operación. Debe procurarse que el elemento de suspensión del canastillo tenga la menor dimensión posible, a fin de minimizar su efecto sobre los resultados.

C.PESADA AL AIRE AMBIENTE DEL ÁRIDO SECO

- Retire la muestra del canastillo y vacíela completamente del recipiente, cuidando de no dejar partículas atrapadas.
- Seque la muestra hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$.
- Enfríe la muestra hasta temperatura ambiente, en lo posible dentro de un recipiente protegido, para evitar la absorción de humedad del aire.
- Determine la masa de la muestra seca, por pesada al aire ambiente, aproximando a 1 g. Registre su valor como M_s .

6.2.5.19.6. CÁLCULOS

A.DENSIDAD REAL (ρ_R).

- Densidad real del pétreo saturado superficialmente seco (ρ_{RT}). Calcule la densidad real del pétreo saturado superficialmente seco según la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m^3 .

$$\rho_{RSSS} (\text{Kg/m}^3) = \frac{M_{SSS}}{M_{SSS} - M_{sum}} \cdot 1.000 (\text{kg/m}^3)$$

- Densidad real del árido seco (ρ_{RS}). Calcule la densidad real del árido seco según la fórmula siguiente, aproximando a 1 Kg/m^3 :

$$\rho_{RS} (\text{Kg/m}^3) = \frac{M_{SSS}}{M_{SSS} - M_{sum}} \cdot 1.000 (\text{kg/m}^3)$$

B.DENSIDAD NETA (ρ_N)

Calcule la densidad neta según la fórmula siguiente, aproximado a 1 kg/m^3 .

$$\rho_N (\text{Kg/m}^3) = \frac{M_s}{M_s - M_{sum}} \cdot 1.000 (\text{kg/m}^3)$$

C.ABSORCIÓN DE AGUA (A)

Calcule la absorción de agua según la fórmula siguiente, aproximando a la centésima en porcentaje.

$$\alpha (\%) = \frac{M_{SSS} - M_s}{M_s} \cdot 100$$

Donde:

ρ_N : Densidad (Kg/m^3)

α : Absorción (%)

M_{SUM} : Masa del árido sumergida (g).

M_{SSS} : Masa del árido saturado superficialmente seco (g).

M_s : Masa del árido seco (g).

Nota 3: Para efectos prácticos se considerará la densidad del agua como 1.000 kg/m³. En lugar del valor real a 20 °C que es 998,20 kg/m³.

D.EXPRESIÓN DE RESULTADOS

- a) Determine la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de un árido como el promedio aritmético de dos ensayos sobre muestras gemelas.
- b) Expresé las densidades en kg/m³, aproximando a 1 kg/m³. Expresé la absorción en porcentaje, aproximando a la centésima.

6.2.5.19.7. PRECISIÓN

Acepte la determinación de densidad real, densidad neta y absorción de agua de los áridos gruesos, cuando la diferencia entre los valores obtenidos de los dos ensayos realizados por uno o más laboratoristas, sea:

- a) Igual o inferior que 20 kg/m³ en la determinación de densidades.
- b) Igual o inferior que 3 décimas porcentuales en la determinación de la absorción de agua.

6.2.5.19.8. INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Identificación y procedencia de la muestra.
- c) Fecha de muestreo.
- d) Resultado del ensayo.
- e) Fecha de ensayo.
- f) Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al árido analizado.
- g) Referencia a este método.

SECCION 6.2.5.20.

MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL, LA DENSIDAD NETA Y LA ABSORCIÓN DE AGUA EN ÁRIDOS FINOS (ASTM C 128 AASHTO T84-00)

6.2.5.20.1. OBJETO

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los áridos finos.

Es aplicable a los áridos finos de densidad neta entre 2.000 y 3.000 kg/m³, que se emplean en la elaboración de hormigones y obras asfálticas.

6.2.5.20.2. DEFINICIONES

A.ÁRIDO FINO

Material pétreo que pasa el tamiz de 4,75 mm (N ° 4) en el caso de hormigones, y que pasa el tamiz de 2,36 mm (N ° 8) cuando se utiliza en asfaltos.

B.HUECOS

Espacios vacíos entre las partículas de un material árido.

C.POROS

Espacios vacíos interiores de una partícula de material árido.

a) Poro Accesible: poro permeable o abierto.

b) Poro Inaccesible: poro impermeable o cerrado.

D.DENSIDAD

Es el cociente entre la masa (m) y el volumen (v) de un material árido a una temperatura especificada. Se expresa en kg/m³.

- Densidad real (ρ_R). Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material árido, más el volumen de los poros accesibles e inaccesibles de esas partículas.
- Densidad real del árido seco (ρ_{RS}). Densidad real en que se considera solamente la masa del árido seco.
- Densidad real del árido saturado superficialmente seco (ρ_{RSSS}). Densidad real en que se considera la masa del pétreo seco más la masa del agua que llena los poros accesibles.
- Densidad neta (ρ_N). Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material árido más el volumen de los poros inaccesibles.

E.ABSORCIÓN DE AGUA

Masa de agua necesaria para llevar un material árido del estado seco al estado saturado superficialmente seco. Se expresa como porcentaje referido a la masa del árido seco.

F.ÁRIDO SECO

Material secado en horno hasta masa constante. Esta condición se obtiene cuando dos pesadas sucesivas, separadas por 1 hora de secado a 110 ± 5 °C, difieren en un porcentaje igual o inferior al 0,1 % de la menor masa determinada.

6.2.5.20.3. EQUIPOS Y MATERIALES

A.BALANZA

De capacidad superior a 1 kg y una precisión mínima de 0,1 g.

B.HORNO

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

C.RECIPIENTES

Limpios, de material resistente, estancos y de capacidad suficiente para contener la muestra del ensayo.

D.MATRAZ

Es un matraz aforado en el que se pueda introducir fácilmente la muestra de ensayo. Debe llevar una marca de calibración que indique el volumen contenido con una precisión de $\pm 0,1$ ml. Dicho volumen excederá a lo menos en un 50 % al volumen aparente de la muestra de pétreo fino. Se recomienda emplear un matraz de 500 cm³ de capacidad. También puede emplearse un picnómetro.

E.MOLDE

Con forma tronco - cónica, de 40 ± 3 mm de diámetro en la parte superior, 90 ± 3 mm de diámetro en la parte inferior y 75 ± 3 mm de altura. Confeccionado con una plancha metálica de un espesor igual o superior que 0,8 mm.

F.PISÓN

Es una varilla metálica, con uno de sus extremos de sección plana y circular, de 25 ± 3 mm de diámetro. Debe tener una masa de 340 ± 15 g.

6.2.5.20.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A.EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con las **Secciones 6.2.5.4 y 6.2.5.5**.

B.TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Para cada ensayo se usará una cantidad de árido fino superior a 50 g e inferior a 500 g.

C.PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO

- a) Corte el material retenido en tamiz de referencia (4,75 mm para hormigón o 2,36 mm para asfalto).

- b) Si la muestra de laboratorio contiene un porcentaje superior al 15 % de material retenido sobre el tamiz de referencia, considérela como un integral y determine los porcentajes de la fracción retenida y de la fracción que pasa respecto del total de dicha muestra. Ensaye la fracción retenida de acuerdo con la **Sección 6.2.5.19** y la fracción que pasa de acuerdo con este Método de ensayo.
- c) Reduzca por cuarteo, de acuerdo con la **Sección 6.2.5.5**, la muestra de terreno o la fracción que pasa indicada en “Preparación de la muestra de ensayo” punto b), a una cantidad de árido de aproximadamente el doble del tamaño de muestra de laboratorio requerido.

Nota 1: La muestra debe humedecerse antes de efectuar la reducción para evitar la segregación y pérdidas de polvo.

- d) Seque el árido en horno a una temperatura de 110 ± 5 ° C.
- e) Cubra el árido en su totalidad con el mínimo de agua a temperatura ambiente, necesaria para asegurar su saturación en un período de 24 ± 4 h.

6.2.5.20.5. PROCEDIMIENTO

- a) Elimine paulatinamente el exceso de agua, evitando la pérdida de finos. Revuelva la muestra frecuentemente para asegurar un secado uniforme, hasta llevarla a su condición suelta.

Nota 2: La eliminación del exceso de agua de la muestra no se debe realizar a fuego directo, ni tampoco utilizar para ello fuertes corrientes de aire.

- b) Coloque el molde cónico sujeto firmemente contra una superficie lisa, plana y no absorbente, con su diámetro mayor hacia abajo, llénelo con el árido en condición suelta en una capa y enrasede.
- c) Compacte suavemente con 25 golpes de pisón uniformemente distribuidos sobre la superficie.

En cada golpe deje caer el pisón libremente desde una altura de 5 mm sobre la superficie del árido. Dicha altura debe conservarse, ajustándola a la nueva elevación de la muestra después de cada golpe.

- d) Remueva cuidadosamente todo material sobrante en la superficie. Levante el molde verticalmente. Si hay humedad libre la muestra conservará la forma del cono. En este caso elimine el exceso de humedad, repitiendo el procedimiento, a intervalos frecuentes, desde a).

Cuando, al retirar el molde, el árido caiga suavemente según su talud natural, será indicación que éste ha alcanzado la condición saturada superficialmente seca.

Nota 3: La primera verificación de humedad mediante el moldeo del cono debe hacerse cuando aún permanece un mínimo de agua libre, por lo tanto, si el cono se asienta en esta primera verificación, mezcle unos pocos cm^3 de agua con el árido y déjelo en un recipiente cubierto durante 30 min. y proceda desde a).

- e) Inmediatamente que el árido alcance la condición de saturado superficialmente seco, obtenga el tamaño de muestra de ensayo requerido, pese y registre su masa.

- f) Coloque la muestra en el matraz y cúbrala con agua a una temperatura de $20 \pm 3^\circ \text{C}$, hasta alcanzar aproximadamente $2/3$ del volumen del matraz.
- g) Agite el matraz a fin de eliminar burbujas de aire golpeándolo ligeramente contra la palma de la mano. En caso de pétreos muy finos, se debe utilizar una bomba de vacío.
- h) Deje reposar durante 1 h manteniendo una temperatura de $20 \pm 3^\circ \text{C}$.
- i) Llene con agua a $20 \pm 3^\circ \text{C}$ hasta la marca de calibración, agite y deje reposar un instante.
- j) Mida y registre la masa total del matraz con la muestra de ensayo y el agua (Mm).
- k) Saque la muestra del matraz, evitando pérdidas de material, y séquela hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$. Déjela enfriar a temperatura ambiente. Determine y registre la masa de la muestra de ensayo en condición seca (ms).
- l) Llene el matraz solamente con agua a una temperatura de $20 \pm 3^\circ \text{C}$ hasta la marca de calibración. Mida y registre la masa del matraz con agua (Ma).

6.2.5.20.6. CÁLCULOS

A.DENSIDAD REAL

- a) Densidad Real del árido saturado superficialmente seco (ρ_{RT}). Calcule la densidad real del árido saturado superficialmente seco, según la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m^3 .

$$\rho_{RSS} (\text{Kg/m}^3) = \frac{M_{SSS}}{Ma + M_{SSS} + Mm} \cdot 1.000 (\text{kg/m}^3).$$

- b) Densidad Real del árido Seco (ρ_{RS}). Calcule la densidad real del pétreo seco, según la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m^3 :

$$\rho_{RS} (\text{Kg/m}^3) = \frac{M_{SSS}}{Ma + M_{SSS} + Mm} \cdot 1.000 (\text{kg/m}^3).$$

B.DENSIDAD NETA (P_N)

Calcule la densidad neta, según la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m^3 :

$$\rho_N (\text{Kg/m}^3) = \frac{M_S}{Ma + M_S - Mm} \cdot 1000 (\text{Kg/m}^3)$$

C.ABSORCIÓN DE AGUA

Calcule la absorción de agua, según la fórmula siguiente, aproximando a la centésima, en porcentaje:

$$\alpha (\%) = \frac{M_{SSS} - M_S}{M_S} \cdot 100$$

Donde:

ρ : Densidad (Kg/m³).

α : Absorción (%).

M_S : Masa de la muestra seca (g).

M_{SSS} : Masa de la muestra saturada superficialmente seca (g).

M_a : Masa del matraz con agua hasta la marca de calibración (g).

M_m : Masa del matraz con la muestra mas agua hasta la marca de calibración (g).

D.EXPRESIÓN DE RESULTADOS

- La densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de un árido fino se determinan como el promedio aritmético de dos ensayos sobre muestras gemelas.
- En el caso de un integral, la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los áridos se calculan como el promedio ponderado de la densidad real, densidad neta y la absorción de agua, respectivamente, obtenidas mediante el ensayo por separado de sus dos fracciones, de acuerdo con las siguientes fórmulas:

$$\rho (\text{Kg/m}^3) = \frac{1}{100} \cdot (\rho_r \cdot P_r + \rho_p \cdot P_p)$$

$$\alpha (\%) = \frac{1}{100} \cdot (\alpha_r \cdot P_r + \alpha_p \cdot P_p)$$

Donde:

ρ : Densidad (real o neta) del integral (kg/m³).

ρ_r : Densidad (real o neta) de la fracción retenida (kg/m³).

ρ_p : Densidad (real o neta) de la fracción que pasa (kg/m³).

P_r : Porcentaje en masa de la fracción retenida (%).

P_p : Porcentaje en masa de la fracción que pasa (%).

α : Absorción de agua del integral (%).

α_r : Absorción de agua de la fracción retenida (%).

α_p : Absorción de agua de la fracción que pasa (%).

- Expresar las densidades en kg/m³, aproximando a 1 kg/m³, y la absorción en porcentaje, aproximando a la centésima.

6.2.5.20.7. PRECISIÓN

Acepte la determinación de densidad real, densidad neta y absorción de agua de los áridos finos, cuando la diferencia entre los valores obtenidos de los dos ensayos realizados por uno o más laboratoristas sea:

- a) Igual o inferior que 20 kg/m³ en la determinación de densidades.
- b) Igual o inferior que 4 décimas porcentuales en la determinación de la absorción de agua.

6.2.5.20.8. INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Identificación y procedencia de la muestra.
- c) Fecha de muestreo.
- d) Resultado del ensayo.
- e) Fecha de ensayo.
- f) Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al árido analizado.
- g) Referencia a este método.

SECCION 6.2.5.21. | MÉTODO PARA DETERMINAR EL ÍNDICE DE TRITURACIÓN

6.2.5.21.1. OBJETO

Se define un procedimiento para determinar el valor del “Índice de Trituración” por compresión de un árido grueso, confinado en un molde y sometido a la acción de una carga gradual de compresión. Se utiliza tanto como complemento del ensayo de Desgaste de Los Ángeles (**Sección 6.2.5.11**) o para sustituirlo cuando no se disponga de éste.

6.2.5.21.2. INTRODUCCIÓN

El método es una adaptación parcial de los aspectos pertinentes de la norma británica BS-812-75; pretende medir la resistencia a la desintegración física de los áridos gruesos (37,5-9,5 mm) y finos (9,5 – 0,6 mm) de acuerdo a los cortes granulométricos y métodos que se indican en **Tabla 6.2_61**.

Tabla 6.2_61. CORTES DE LAS GRANULOMETRÍAS

Métodos de Ensaye	Material		Tamices en mm para	
	Tipo	Grado	Corte	Finos producidos
Compresión	Grueso	37,5	37,5 - 19	4,75
		19	19 - 9,5	2,36
Impacto	Fino	9,5	9,5 - 4,75	1,18
		4,75	4,75 - 2,36	0,6
		2,36	2,36 - 1,18	0,3
		1,18	1,18 - 0,6	0,15

6.2.5.21.3. EQUIPOS Y MATERIALES

Para el ensayo se requiere el siguiente equipo:

- Un cilindro de acero de pared gruesa, abierto en sus dos extremos, de 150 mm de diámetro interno y 100 mm de alto, con un plato de acero liso para base y un émbolo de la forma y dimensiones que se señalan en la **Figura 6.2_59, Fig1**.
- Una varilla de acero de 16 mm de diámetro por 600 mm de largo, con un extremo redondeado. Una balanza de 5 kg., con precisión de 1 g.
- Tamices de 37,5 mm (1 ½”), 19 mm (3/4”), 9,5 (3/8”), 4,75 mm (Nº 4) y 2,36 mm (Nº 8).
- Una máquina de compresión, de 400 kN o más de capacidad y velocidad regulable.

A.PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

El material por ensayar, aproximadamente 20 kg, deberá estar seco. Si no lo estuviera, séquelo al horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ hasta masa constante. Una vez seco déjelo enfriar hasta temperatura ambiente. Tamice y corte el material en los tamices indicados en la **Tabla 6.2_61**.

B.PROCEDIMIENTO

- a) Por cada corte de material se efectúan dos ensayos, según el procedimiento que se describe. Los resultados obtenidos se promedian.
- b) Llene el molde por terceras partes, compactando cada una con 25 golpes de la varilla compactadora dados desde 50 mm de altura, en caída libre. Luego enrase y pese, determinando el peso de la muestra (A).
- c) Enseguida, coloque el molde con su base en la máquina de ensayo. Sobre la carga confinada coloque el pistón en posición horizontal.
- d) Aplique la carga de compresión en forma lenta y gradual, de modo de alcanzar el total de la carga de 400 kN en 10 min.
- e) Finalizado el ensayo, levante la carga y tamice el material ensayado para separar el fino, por los tamices indicados en la **Tabla 6.2_61**.
- f) Pese cuidadosamente el material retenido (C) y el material fino que pasó (B).

6.2.5.21.4. ÍNDICE DE TRITURACIÓN DE LOS ÁRIDOS FINOS

A.OBJETO

Se define un procedimiento para determinar el valor del “Índice de Trituración” de un árido fino sometido a la acción de impactos repetidos, en situación de confinamiento, ensayo que equivaldría al de Desgaste Los Ángeles (**Sección 6.2.5.11**), para las graduaciones menores que el grado 7.

6.2.5.21.5. EQUIPOS Y MATERIALES

Para este ensayo se requiere del siguiente equipo:

- a. Una máquina para impacto, con un martinete de $14 \pm 0,2$ kg, como se indica en la **Figura 6.2_59, Fig2**.
- b. Un molde de acero, con base soldada, de 102 mm de diámetro interno, 51 mm de alto y 6,5 mm de espesor de pared.
- c. Una varilla de acero de 10 mm de diámetro por 230 mm de largo, redondeada en un extremo.
- d. Tamices de 9,5 mm (3/8”), 4,75 mm (Nº 4), 2,36 mm (Nº 8), 1,18 mm (Nº 16), 0,6 mm (Nº 30), 0,3 mm (Nº 50) y 0,15 mm (Nº 100).
- e. **Preparación de la muestra**
 - Para el ensayo, el material debe encontrarse seco; si no lo estuviera, séquelo a $110 \pm 5^\circ$ C hasta masa constante.
 - El material por ensayar, aproximadamente 12 kg, debe tamizarse y cortarse en los tamices indicados en la **Tabla 6.2_61** para los grados 2,36 y 1,18 mm, que son obligatorios. El ensayo para los grados 9,5 y 4,75 mm es optativo, y debe hacerse cuando los valores del Índice de Trituración obtenidos en los grados obligatorios difieran mucho entre sí.

f. **Procedimiento**

- Por cada corte de material se efectúan dos ensayos, según el procedimiento que se describe. Los resultados obtenidos se promedian.
- Llene el molde por terceras partes, compactando cada una con 25 golpes de la varilla compactadora dados desde 50 mm de altura, en caída libre. Luego, enrase y pese.
- Enseguida, asegure el molde en la base de la máquina y dé 15 golpes con el martinete, en caída libre desde 380 mm de altura, espaciados en un tiempo total de 15 seg.
- Pese de nuevo la muestra determinando el peso de la muestra (A) y luego separe los finos por el tamiz que corresponda al grado, de acuerdo a la Tabla 6.2_61.
- Pese cuidadosamente el material retenido (C) y el material que pasó por el tamiz correspondiente (B).

Nota 1: Se considera el peso de muestra inicial después de aplicar los golpes con el martinete, debido a las pérdidas de material que se producen producto de los golpes.

6.2.5.21.6. CÁLCULOS

A. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE TRITURACIÓN PARCIAL (IT_p)

Con los datos:

A: Peso de la muestra por ensayar (g).

B: Peso del material que pasó por el tamiz de finos producidos (g)

Calcule el IT_p de acuerdo a la expresión:

$$IT_p(\%) = \frac{B}{A} \cdot 100$$

B. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE TRITURACIÓN TOTAL (IT_t).

Conocidos los valores de IT_p de cada grado, calcule los IT_t del árido grueso y del árido fino, ponderando los IT_{pi} según los porcentajes que cada fracción retenida (ni) representa de la muestra ensayada.

$$IT_t(\%) = \sum \left(IT_{pi} \cdot \frac{ni}{100} \right)$$

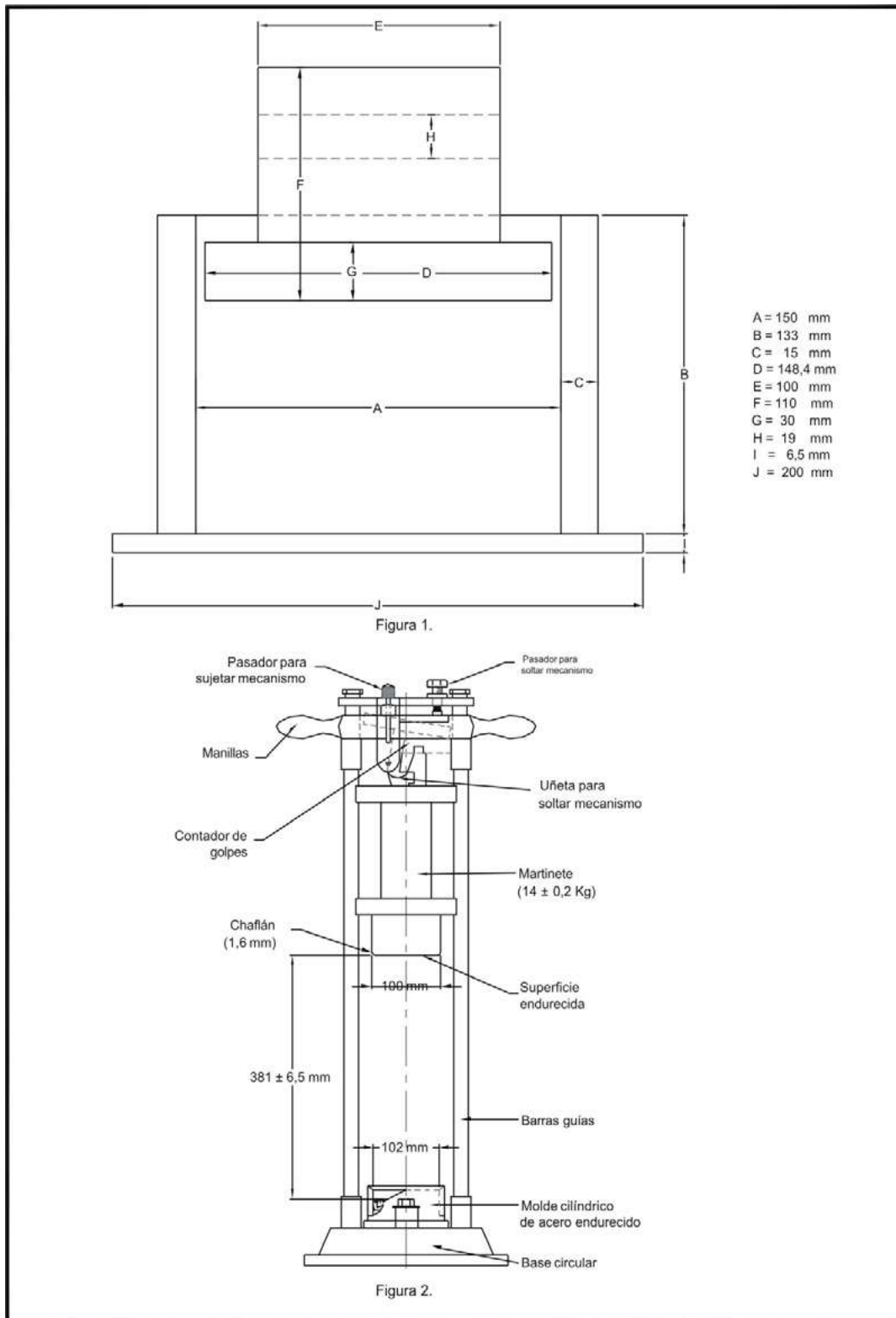


Figura 6.2_59. FIGURA 1. -CILINDRO DE ACERO PARA ÁRIDOS GRUESOS.

FIGURA 2. -MÁQUINA PARA IMPACTO PARA ÁRIDOS FINOS.

SECCION 6.2.5.22.

MÉTODO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN POR ABRASIÓN DE ÁRIDOS GRUESOS Y FINOS UTILIZANDO EL APARATO MICRO-DEVAL (ASTM D6928-10 AASHTO TP58-02)

6.2.5.22.1. OBJETO

Este método cubre procedimientos para ensayar áridos gruesos y finos por resistencia a la abrasión usando el aparato Micro-Deval.

A.SIGNIFICADO Y USO

El Ensayo Micro-Deval es un ensayo desarrollado inicialmente para áridos gruesos, pero su uso se extendió también para áridos finos a fin de determinar la pérdida por abrasión en presencia de agua y de una carga abrasiva. Muchos agregados son más débiles en estado húmedo que secos, y el uso del agua en este ensayo mide esta reducción de resistencia en contraste con otros ensayos que se realizan con áridos secos. Proporciona información útil para juzgar la resistencia dureza/abrasión y durabilidad/solidez de áridos sujetos a abrasión y acción de desintegración con el medio ambiente cuando no existe información adecuada de este tipo de comportamiento.

El ensayo Micro-Deval, es un ensayo útil como control de calidad que detecta cambios en las propiedades de un árido producido de una fuente como parte de un control de calidad o para asegurar la calidad de un proceso.

6.2.5.22.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A.MÁQUINA DE ABRASIÓN MICRO-DEVAL

Un molino capaz de hacer rotar un recipiente a 100 ± 5 rpm (*Figura 6.2_ 60*).

B.RECIPIENTES

Tiestos para abrasión Micro-Deval de acero inoxidable de una capacidad de 5 litros y con un anillo de goma en la tapa rotatoria de cierre. Diámetro interno de $194 \pm 2,0$ mm, altura interna de $170 \pm 2,0$ mm. Las superficies internas y externas del recipiente deben ser suaves y no mostrar bordes o hendiduras observables (*Figura 6.2_ 60*).

C.CARGA ABRASIVA

Se requieren bolas de acero inoxidable magnéticas; ellas deben tener un diámetro de $9,5 \pm 0,5$ mm. Cada recipiente requiere una carga de bolas de 5.000 ± 5 g, para el árido grueso y de 1250 ± 5 g para el árido fino.

D.MALLAS

Mallas de aberturas cuadradas y de las siguientes medidas de acuerdo a especificaciones **AASHTO M92**: Para los áridos gruesos: 19 mm (3/4"), 16,0 mm (5/8"), 12,5 mm

(1/2''), 9,5 mm (3/8''), 6,3 mm (1/4''), 4,75 mm (N° 4), 1,18 mm (N° 16), 75 µm (N° 200), y para los áridos finos: 4,75 mm (N° 4); 2;36 mm (N° 8), 1,18 mm (N° 16); 600 µm (N° 30); 300 µm (N° 50); 150 µm (N° 100) y 75 µm (N° 200).

E.HORNO

Capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

F.BALANZA

Una balanza con precisión de 1,0 g.

G.ÁRIDO PARA CONTROL DE LABORATORIO

Una provisión de un árido normal determinado que tenga un registro de datos de ensayos Micro-Deval estadísticamente confiable.

6.2.5.22.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- La muestra de ensayo debe ser lavada y secada en horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ hasta masa constante. Separada en fracciones de tamaños individuales de acuerdo con **Tabla 6.2_62** y re combinada para cumplir la graduación que se muestra en el punto 9.
- La muestra para el ensayo consistirá de 1.500 ± 5 g de agregado secado al aire. Se preparará de acuerdo a **Tabla 6.2_62**.

Tabla 6.2_62.

Abertura Malla (mm)		Graduaciones de las Muestras de Agregado Grueso		
Pasa	Retenido	Grado 1 (g)	Grado 2 (g)	Grado 3 (g)
19	9,5	1.500		
12,5	4,75		1.500	
9,5	4,75			1.500

Para árido cuyo tamaño máximo nominal sea 19 mm, será ensayada de acuerdo a Grado 1.

Para árido cuyo tamaño máximo nominal sea 12,5 mm, será ensayada de acuerdo a Grado 2.

Para árido cuyo tamaño máximo nominal sea 9,5 mm, será ensayada de acuerdo a Grado 3.

6.2.5.22.4. PROCEDIMIENTO

A.ÁRIDO GRUESO

Prepare una muestra representativa de 1.500 ± 5 g. Registre la masa como A, con aproximación a 0,1 g.

Sature la muestra en $2,0 \pm 0,05$ litros de agua de la llave (temperatura de $20 \pm 5^\circ\text{C}$) por un mínimo de 1 hora ya sea en el recipiente del Micro-Deval o algún otro recipiente apropiado.

Coloque la muestra en el recipiente de abrasión del Micro-Deval con $5.000 \text{ g} \pm 5 \text{ g}$ de bolas de acero y el agua usada en saturar la muestra. Coloque el recipiente del Micro-Deval en la máquina.

Rote la máquina, a una velocidad de $100 \pm 5 \text{ rpm}$, el tiempo que se indica en la **Tabla 6.2_63**, de acuerdo a su graduación.

Tabla 6.2_63. TIEMPO INDICADO PARA CADA GRADUACIÓN

Graduación (mm)	Tiempo de Rotación (min.)
Grado 1	120 ± 1
Grado 2	105 ± 1
Grado 3	95 ± 1

Vierta la muestra cuidadosamente sobre dos mallas superpuestas de 4,75 mm y 1,18 mm.

Cuide de vaciar toda la muestra del recipiente de acero inoxidable. Lave y manipule con agua el material retenido usando una manguera con control manual hasta que el agua de lavado esté clara y todo el material menor a 1,18 mm haya pasado la malla.

Remueva las bolas de acero inoxidable usando un imán u otro medio apropiado. Des-eché todo material menor de 1,18 mm.

Combine el material retenido en mallas de 4,75 y 1,18 mm, cuidando de no tener pérdidas de material.

Seque la muestra en horno hasta masa constante a $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

Pese la muestra aproximando a 1,0 g. Registre la masa como B.

B.ÁRIDO FINO (ARENA)

La muestra de árido consistirá de material que pasa malla de 4,75 mm (árido fino). Separe una muestra representativa de $725 \pm 25 \text{ g}$ para el ensayo Micro-Deval y lávela en malla de $75 \mu\text{m}$ y séquela en horno a peso constante.

La muestra se separa en mallas y se combina para producir un Módulo de Fineza de 2,8, usando la graduación que se indica en **Tabla 6.2_64**.

Tabla 6.2_64. GRADUACIÓN DE ÁRIDO FINO COMBINADO

Pasa Malla (AASHTO M92)	Retenido Malla	Masa (g)
4,75 mm	2,36 mm	170
2,36 mm	1,18 mm	115
1,18 mm	600 μm	75
600 μm	300 μm	55
300 μm	150 μm	50
150 μm	75 μm	35
	TOTAL	500 g

Nota 1: Cuando ensayos previos han mostrado que la pérdida de material de una fuente ha sido menos de 17 %, puede ensayarse una muestra representativa de $500 \pm 5 \text{ g}$ de la original de 725 g sin separarla en mallas individuales. El ensayo de materiales de baja pérdida en Micro-Deval sin separar en mallas individuales tiene poco efecto en la medida de pérdidas y puede reducir considerablemente la complejidad del ensayo. Si el ensayo muestra pérdidas $>17\%$, entonces se debe ensayar otra muestra de acuerdo a la preparación indicada precedentemente. La pérdida a informar debe ser la de este último ensayo.

Registre la masa —“A” al más cercano 0,1 g.

Sumerja la muestra en agua de la llave a temperatura ambiente por 24 horas.

Vacíe el exceso de agua y coloque la muestra en el recipiente de acero (5 l) con 1.250 ± 5 g de bolas de acero y 750 ml de agua.

Haga rotar el molino a 100 ± 5 rpm por 15 minutos ± 10 segundos.

Remueva las bolas de la muestra pasando la muestra y agua a través de una malla de 6,7 mm sobre una paila. Lave la muestra cuidadosamente sobre una malla de 75 μm . cuidando de no perder ningún material sobre la malla de 75 μm .

Seque en horno la muestra a masa constante a $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

Pese la muestra aproximando a 0,1 g. Registre la masa como B.

6.2.5.22.5. CÁLCULOS

Calcule la pérdida de abrasión Micro-Deval, aproximando a 0,1%, como sigue:

$$\text{Porcentaje de pérdida} = \frac{A - B}{A} \times 100$$

6.2.5.22.6. USO DE UN AGREGADO DE CONTROL DE LABORATORIO

Cada 10 muestras, o al menos cada semana en que se ensaya una muestra, se debe ensayar también una muestra normal de referencia. El material debe tomarse del depósito de reserva para control y preparado de acuerdo a “Extracción y Preparación de la Muestra”.

Uso de la Carta de Tendencia

El porcentaje de pérdida de las últimas 20 muestras del material de control debe dibujarse en una Carta de Tendencia para controlar las variaciones de los resultados (Figura 6.2_ 61).

La pérdida promedio del árido de control debe estimarse a través de un control de estos ensayos.

6.2.5.22.7. INFORME

El informe, deberán incluir los siguientes:

- a) El tamaño máximo absoluto o nominal del árido ensayado y la graduación usada.
- b) El porcentaje de pérdida de la muestra de ensayo con un decimal.
- c) El porcentaje de pérdida del árido de control, ensayado lo más cercano al tiempo en que se ensayó el árido, con una cifra decimal.
- d) El porcentaje de pérdida de las últimas 20 muestras del material de referencia en la Carta de Tendencia.

6.2.5.22.8. PRECISIÓN

La precisión multilaboratorio se ha encontrado que varía sobre el rango de este ensayo. Las cifras dadas en la segunda columna de la **Tabla 6.2_65** son los coeficientes de variación que se han encontrado apropiados para los materiales descritos en la primera columna. Las cifras dadas en la tercera columna son los límites que no se deben exceder por la diferencia entre los resultados de dos ensayos correctamente realizados, expresados como porcentaje de su promedio.

Tabla 6.2_65.PRECISIÓN MULTILABORATORIO

Pérdida por abrasión del árido (%)	Coefficiente de Variación (Porcentaje del promedio) ⁽¹⁾	Rango Aceptable de dos Resultados (Porcentaje del promedio) ⁽¹⁾
5	10	28
12	6,4	18
17	5,6	16
21	5,3	15

⁽¹⁾ Estas cifras representan, respectivamente, los límites del (1s%) y (d2s%) tal como se describen en ASTM C760.

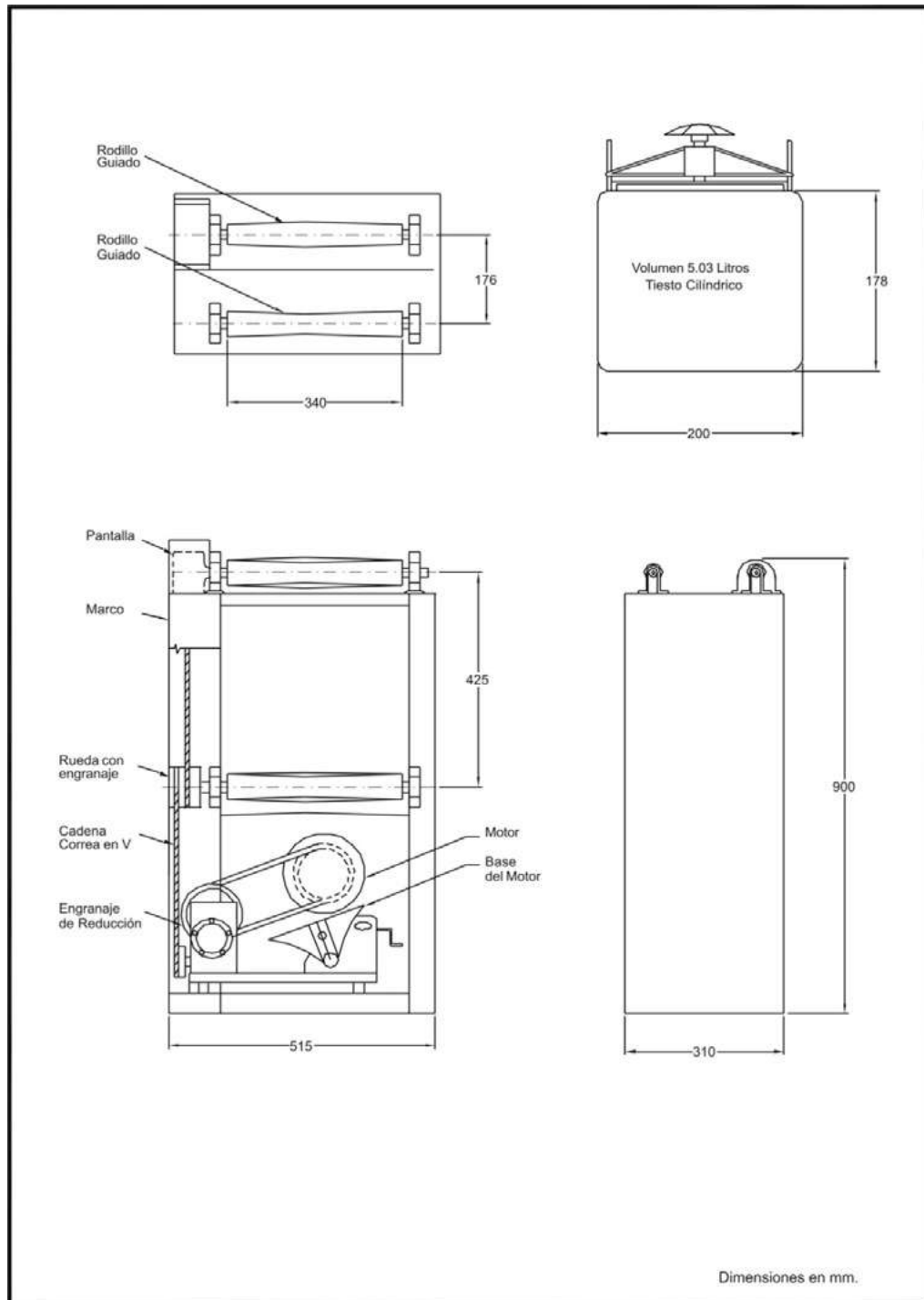


Figura 6.2_60. MÁQUINA DE ABRASIÓN MICRO - DEVAL Y TIESTO

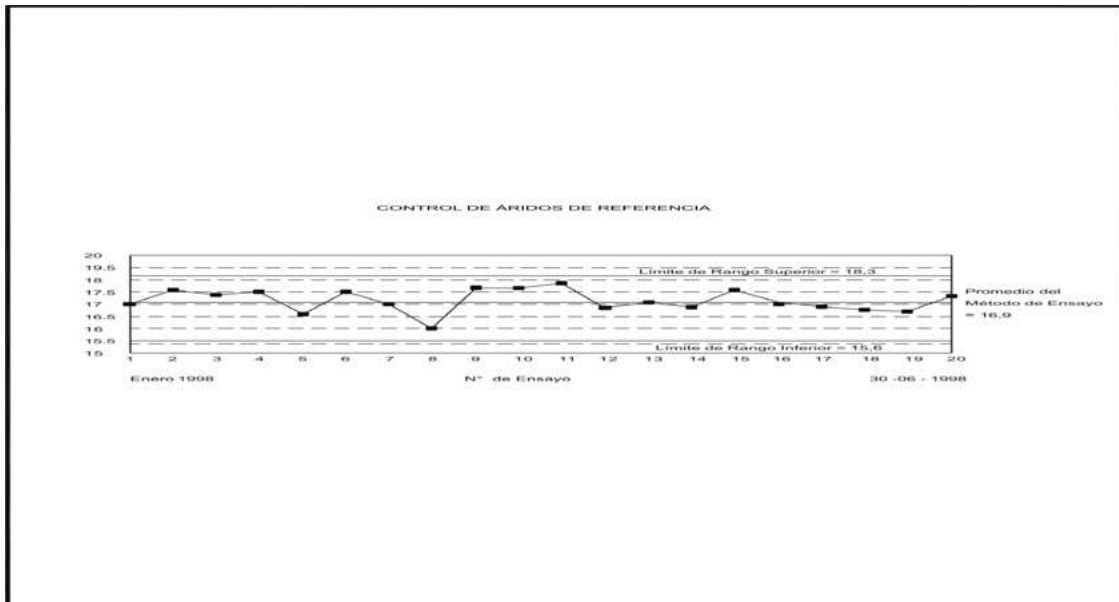


Figura 6.2_61. CARTA DE TENDENCIA PARA CONTROL DE AGREGADO DE REFERENCIA

CAPITULO 6.2.6.

ENSAYOS DE CEMENTO ASFALTICO PARA APLICACIONES EN MEZCLAS EN CALIENTE

SECCION 6.2.6.1.

MÉTODO DE MUESTREO DE MEZCLAS (ASTM D 979 AASHTO T168-99)

6.2.6.1.1. OBJETO

Este método describe el procedimiento para muestrear mezclas de materiales asfálticos con árido mineral usadas en pavimentos. Las muestras pueden usarse para cualquiera de los dos siguientes propósitos:

- Representar un promedio de la mezcla bituminosa.
- Determinar la variación periódica en las características de la mezcla con el propósito de controlar uniformidad.

6.2.6.1.2. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. SELECCIÓN DE LA MUESTRA

El muestreo es tan importante como el ensayo mismo. En consecuencia, el Laboratorista deberá tomar las precauciones necesarias para obtener muestras verdaderamente representativas de la mezcla bituminosa.

Al muestrear se debe evitar la segregación del árido grueso y el mortero bituminoso. También se debe tener cuidado para prevenir la contaminación con polvo u otra materia extraña.

B. TAMAÑO DE LA MUESTRA

El tamaño de la muestra está determinado por el tamaño máximo de las partículas de árido en la mezcla. El tamaño mínimo de la muestra deberá estar de acuerdo con los requisitos de la **Tabla 6.2_66**.

Tabla 6.2_66. TAMAÑO DE LA MUESTRA BITUMINOSA

Tamaño máximo Nominal del agregado (mm)	Mezcla a granel (Kg)	Area mezcla extendida (cm x cm)
2,5	2	15 x 15
5	2	15 x 15
10	4	15 x 15
12,5	6	20 x 20
20	8	25 x 25
25	10	30 x 30
40	12	30 x 30

C. MUESTREO EN PLANTAS EN EL LUGAR DE FABRICACIÓN

Descargue una porción de la mezcla fresca formando un pequeño acopio, que se corta de un extremo a otro y reduce al tamaño deseado, remezclando y cuarteando. Si requiere una muestra que represente más de una porción, debe tomar muestras a intervalos regulares de acuerdo con el procedimiento antes descrito. Cuando haya muestreado la producción suficiente, todo lo extraído debe reducirse al tamaño deseado, mezclando y cuarteando en una superficie limpia y lisa. La muestra no podrá representar más de un día de trabajo. Si es necesario, la mezcla puede calentarse para facilitar el remezclado, pero sólo hasta una temperatura en que la mezcla resul-

te manipulable. Si las distintas muestras se toman con el objeto de determinar la uniformidad de la producción de la planta, no deben mezclarse y se ensayan separadamente.

Obtenga muestras de los acopios sacando iguales cantidades de mezcla, excavando en la parte superior, media e inferior del acopio; luego readecue la muestra al tamaño requerido como se describió en 3.

D.MUESTREO DESDE LA CAPA

Puede tomar muestras desde la capa, aún sin compactar, cuando se desea complementar los controles de la Planta. Si desea conocer otras características de la mezcla, que dependan de la compactación de ésta, proceda a extraer testigos del pavimento terminado. Estos testigos deben cortarse de modo que no ocasionen distorsión en la mezcla y abarquen todo el espesor de la capa colocada.

E.MUESTREO DE MEZCLAS CONFECCIONADAS EN SITIO

Las muestras de mezclas confeccionadas en sitio se toman con el propósito de determinar tanto las propiedades físicas de la mezcla, el contenido de ligante asfáltico, como la uniformidad del contenido de ligante asfáltico.

Si el muestreo es en cordones, corte el cordón de un lado a otro en todo su espesor, evitando la contaminación y luego reduzca al tamaño deseado, mezclando y cuarteando. Tome una muestra cada 70 m y ensaye en forma separada.

Las muestras de pavimento terminado deben tomarse de la misma manera como se indica en “Muestreo desde la capa”.

F.MUESTREO DESDE CAMIONES TRANSPORTADORES

Seleccione las unidades por muestrear por algún método al azar y enseguida tome por lo menos 3 porciones de cada una de las unidades seleccionadas, que sean aproximadamente iguales; mézclelas para obtener una muestra representativa cuya cantidad iguale o exceda el mínimo fijado en **Tabla 6.2_66**. Las porciones pueden obtenerse colocando recipientes en el camión en el momento en que se está cargando o cogiéndolas del camión con una pala carbonera.

G.IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

De cada muestra adjunte la siguiente información:

- Camino, sector y cualquier otro dato que identifique fielmente la obra.
- Fuente de obtención de la mezcla o identificación del cordón y fecha de confección.
- Tipo de ligante asfáltico y árido usados.
- Punto kilométrico y faja o lugar del muestreo.
- Cantidad representada.
- Fecha del muestreo.
- Propósito para el cual fue tomada la muestra.

SECCION 6.2.6.2.

MÉTODO PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE ÁRIDOS PROVENIENTES DE EXTRACCIÓN (AASHTO T 30)

6.2.6.2.1. OBJETO

Este método describe el procedimiento para determinar la distribución de tamaños de las partículas de áridos gruesos y finos extraídos de muestras bituminosas. Sirve para verificar el cumplimiento de la granulometría con la banda de trabajo y además entrega antecedentes para el control de calidad de las mezclas asfálticas.

6.2.6.2.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A. BALANZAS

Con capacidades de 5.000 y 2.000 g y precisión de 0,1 y 0,01 g, respectivamente.

B. TAMICES

Que cumplan la *Sección 6.2.5.6.*

C. HORNO

Capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

D. RECIPIENTES

E. OTROS

Espátula y escobilla de bronce.

6.2.6.2.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

El tamaño mínimo de la muestra de ensayo deberá cumplir con lo indicado en *Tabla 6.2_67* del *Sección 6.2.6.4.*

6.2.6.2.4. PROCEDIMIENTO

- a. Seque la muestra en horno hasta masa constante, a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$. La masa total de la muestra corresponde a la suma del árido lavado y seco, el material fino en el solvente recuperado y el material fino retenido en el filtro, de acuerdo con la *Sección 6.2.6.4.*
- b. Pese la muestra y colóquela en un recipiente; cúbrala con agua y adicionele, en cantidad suficiente, un agente humectante, para asegurar la separación total del material que pasa tamiz 0,075 mm (Nº 200) de las partículas más gruesas.

Agite vigorosamente el contenido del recipiente e inmediatamente vierta el agua de lavado sobre los tamices 2,36 mm (Nº 8) y 0,075 mm (Nº 200). Agite y revuelva el material manualmente o con una espátula.

Nota 1: La agitación debe ser lo suficientemente vigorosa para que se produzca la completa separación de todas las partículas más finas que 0,080 mm.

- c. Remueva los finos en suspensión mediante decantación y lavado. Repita la operación hasta que el agua esté limpia.

Nota 2: Se debe evitar la pérdida de árido en esta operación.

- d. Devuelva al recipiente todo el material retenido en los tamices; seque en horno el árido lavado hasta masa constante, a una temperatura de $110 \pm 5^\circ$ C. Pese, aproximando a un decimal.
- e. Tamice el árido usando la serie indicada en las especificaciones, incluyendo el tamiz 0,075 mm. Registre la masa del material retenido en cada tamiz y la que pasa por el de 0,075 mm.
- f. Compare la suma de las masas obtenidas en 10 con la masa del material seco después de lavado. La diferencia deberá ser menor que el 0,2 % de esta última.
- g. La masa total del material que pasa tamiz 0,075 mm se obtiene sumando la determinada por tamizado en seco, la retenida en el solvente de la extracción y la removida por lavado.
- h. La masa de las fracciones retenidas en los distintos tamices y el total que pasa 0,075 mm se expresan en porcentaje, dividiendo cada una de ellas por la masa total de la muestra definida en 6.

6.2.6.2.5. CÁLCULOS

Expresé la granulometría de acuerdo a los porcentajes que pasan por cada tamiz de la serie especificada, aproximando los porcentajes a números enteros, excepto para el material que pasa 0,075 mm, cuyo porcentaje se aproximará a un decimal. (Ver **Figura 6.2_ A0604_2** de la **Sección 6.2.6.4**).

6.2.6.2.6. INFORME

El informe deberá incluir al menos los siguientes antecedentes:

- a) Identificación del contrato y empresa contratista.
- b) Procedencia de la muestra y fecha de muestreo.
- c) Entidad responsable del muestreo.
- d) Fecha del ensayo.
- e) Entidad responsable del ensayo.
- f) Contenido (%) de asfalto (determinado según **Sección 6.2.6.4**).
- g) Granulometría de los áridos provenientes de la extracción (determinada por este Método).
- h) Cualquier otra información específica u observación relativa al ensayo.
- i) La referencia a este Método.

SECCION 6.2.6.3.

MÉTODO ABSON PARA LA RECUPERACIÓN DE ASFALTO (ASTM D 1856 REV A AASHTO T170-00)

6.2.6.3.1. OBJETO

Este método describe el procedimiento para recuperar, por el Método de Abson, el material bituminoso en el líquido extraído de las mezclas asfálticas, utilizando tricloroetileno.

El material bituminoso se recupera con propiedades que son sustancialmente las mismas que posee en la mezcla asfáltica y en cantidad suficiente para ensayos posteriores.

El material bituminoso puede extraerse de la mezcla asfáltica de acuerdo con la Sección 6.2.6.4 “Método para determinar el contenido de asfalto de mezclas por centrifugación - ensayo de extracción”.

6.2.6.3.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A.CENTRÍFUGA

Con capacidad para 2 frascos de boca ancha de 240 ml y que pueda producir una fuerza de 770 unidades de gravedad. También puede utilizarse el equipo especificado en el **Método ASTM D 96**.

B.TUBOS CENTRÍFUGOS

Una provisión de frascos de boca ancha de 240 ml o tubos centrífugos como se muestra en las figuras 1 y 2 de la **Norma ASTM D 96**.

C.APARATO DE DESTILACIÓN

Como se muestra en la **Figura 6.2_ 62** consta de las siguientes partes:

- a) Frascos de extracción; dos matraces de boca ancha de 250 ml resistentes al calor, uno para la destilación y otro como recipiente.
- b) Tubería de vidrio; resistente al calor, con un diámetro interno de 10 mm y doblado en la forma como se muestra en la Figura 6.2_ 62, para conectar el matraz con el condensador.
- c) Tubo de aireación; que tenga 180 mm de longitud, con diámetro externo de 6 mm y con un bulbo de 10 mm de diámetro que contenga 6 orificios, de aproximadamente 1,5 mm de diámetro, dispuestos escalonadamente.
- d) Manto calefactor (como se muestra en la Figura 6.2_ 62), que se amolde a un matraz de 250 ml con transformador variable o baño de aceite, para el matraz de destilación.
- e) Condensador con camisa de agua, de 475 a 500 mm de longitud.

- f) Termómetro de tipo ASTM 7C para baja destilación, con un rango de - 2 a 300° C y que cumpla con los requerimientos de la **Norma ASTM E 1**.
- g) Medidor del flujo de gas, como se muestra en la **Figura 6.2_ 62** o cualquier otro medidor capaz de indicar flujo de gas de 1.000 ml/ min.
- h) Tapones de corcho, tamaño N° 20 y perforados como lo muestra la Figura 6.2_62
- i) Un tubo de goma de 25 mm de longitud, con diámetro interno de 5 mm, que se coloca en el tubo de aireación antes de la entrada de CO₂ con un extremo de la goma tapado con una vara de vidrio de 13 mm de longitud.
- j) Embudo de separación, con capacidad de 125 ml.
- k) Proveedor de CO₂: tanque presurizado, con válvula reductora de presión u otra.

6.2.6.3.3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La muestra debe consistir en una solución asfalto-solvente, obtenida de una extracción previa por la **Sección 6.2.6.4**, de una muestra de mezcla asfáltica de masa suficiente para que resulten aproximadamente 75 a100 gramos de asfalto recuperado. Pueden recuperarse más o menos cantidades de asfalto; sin embargo, las propiedades del asfalto recuperado pueden no estar en concordancia con aquellas que se recuperan de una cantidad de 75 a100 gramos. En casos de discrepancia, deben recuperarse 75 a100 gramos.

Durante el proceso de extracción, es importante que todo el asfalto de la mezcla sea extraído, ya que puede haber alguna solvencia selectiva del asfalto, y los componentes duros más viscosos del asfalto pueden quedar en la mezcla si la extracción no se desarrolla completamente.

Dado que, destilados pesados de petróleos, tales como minerales o kerosenes, afectarán las propiedades del asfalto recuperado, es importante evitar el uso de tales solventes limpiando los aparatos de extracción y recuperación y usando sólo tricloroetileno para limpiar. Residuos de solventes de petróleos pesados en el equipo pueden contaminar el asfalto recuperado y afectar sus propiedades de ensayo. También es necesario usar anillos de filtro nuevos, capas de fieltro limpias u otros medios de filtrar, no contaminados, en los procesos de extracción para evitar contaminación de extracciones previas.

Generalmente el asfalto en las mezclas se endurece progresivamente cuando se expone al aire, particularmente si las mezclas están en condición suelta. Es importante proteger las mezclas de asfalto de exposición al aire y preferentemente almacenarlas en recipientes herméticos a temperaturas bajo 0°C (22°F) hasta que ellos puedan ser ensayados. Cuando las muestras se calientan para preparar ensayos de extracción de acuerdo con la Sección 6.2.6.4, ellas deben colocarse en un horno y recipientes tapados y calentados a una temperatura máxima de 110°C (200°F) por el tiempo mínimo necesario para obtener trabajabilidad, pero no más de 30 minutos.

Si las muestras han sido almacenadas a baja temperatura, a ellas se les debe permitir que alcancen la temperatura ambiente antes de colocarlas en el horno.

6.2.6.3.4. PROCEDIMIENTO

- a. El procedimiento completo, desde el comienzo de la extracción hasta el final de la recuperación, deberá ser completado en menos de 8 h.

- b. Centrifugue la solución previamente extraída por un mínimo de 30 min. con una fuerza de 770 unidades de gravedad, en los frascos de boca ancha de 240 ml o en los tubos centrífugos, en el aparato ya descrito.
- c. Concentre la solución hasta obtener aproximadamente 200 ml, por medio de cualquier operación de destilación primaria, usando un matraz con capacidad suficiente para retener toda la solución de la extracción o comience la destilación en el aparato que se muestra en la **Figura 6.2_ 62**, colocando el embudo de separación, en lugar del termómetro, dentro del tapón de corcho en el matraz de destilación. Coloque el tubo de goma con su tapón de vidrio en el extremo del tubo de aireación para prevenir el efecto de sifón.
- d. Prosiga destilando continuamente, añadiendo el resto de la solución a través del embudo de separación. Cuando la solución proveniente de la destilación primaria o de la destilación continua sea transferida completamente al matraz de 250 a 500 ml, reemplace el embudo de separación por el termómetro y continúe la destilación hasta que la temperatura alcance 135° C, aproximadamente. En ese momento deje fluir una cantidad de CO₂ con una razón de admisión baja para evitar la formación de espuma. Cuando la temperatura alcance de 157 a160°C, aumente la razón de admisión del CO₂ a 900 ml/min. aprox. Manténgase el flujo de gas de CO₂ a una temperatura de 160 a166°C, por 15 min. exactamente. El ajuste del transformador variable para obtener esta temperatura se puede establecer por ensayo previo, generalmente se puede utilizar una graduación más elevada para la destilación principal, reduciendo la graduación cuando la mayor parte del solvente se haya vaporizado. En lugar del calentador eléctrico se puede utilizar un baño de aceite, en el cual la temperatura durante la introducción de CO₂ se mantenga entre 8 y 14°C más alta que la temperatura interna.
- e. Desmunte el equipo y guarde el asfalto recuperado para utilizarlo en cualquier otro ensayo

6.2.6.3.5. PRECISIÓN Y SESGO

A.PRECISIÓN

La graduación de las capas asfálticas incluidas en el análisis consiste en AC-5, AC-10, AC-15, AC-20, AC30, AC-40, AR-2000 y AR4000, las estimaciones de precisión provistas son aplicables a capas de asfalto no envejecido teniendo propiedades físicas de ensayo entre los siguientes rangos:

- Penetración 25°C 29 a 181
- Viscosidad cinemática 135°C, cSt, 200 a 720
- Viscosidad a 60°C,p 520 a 5320

B.PRECISIÓN DE UN SOLO OPERADOR

Los números dados en la columna 2 son los coeficientes de variación que se han encontrado apropiados para los ensayos y condiciones descritas en la columna 1. Cuando se desarrolla por el mismo operador, sobre la misma muestra, en el mismo laboratorio, usando los mismos aparatos, la diferencia en los resultados de dos ensayos realizados apropiadamente, expresados como un porcentaje de su media, no deberá exceder los valores dados en la columna 3.

Ensaye	Coefficiente de variación (Porcentaje de la media) (7)	Rango aceptable de dos Resultados (Porcentaje de la media) (7)
Precisión de un solo operador		
Penetración 25°C	11	30
Viscosidad Cinemática 135°C, cSt	9	26
Viscosidad a 60°C,p	18	51

C.PRECISIÓN MULTILABORATORIO

Los valores entregados en la columna 2 son los coeficientes de variación que se han encontrado apropiados para los ensayos y condiciones descritas en la columna 1. Cuando se desarrolla por diferentes operadores, en diferentes laboratorios, la diferencia en los resultados de dos ensayos desarrollados apropiadamente, expresado como un porcentaje de su media, no deberá exceder los valores dados en la columna 3.

Ensaye	Coefficiente de variación (Porcentaje de la media) (7)	Rango aceptable de dos Resultados (Porcentaje de la media) (7)
Precisión multilaboratorio		
Penetración 25°C	21	58
Viscosidad Cinemática 135°C, cSt	16	46
Viscosidad a 60°C,p	33	93

D.SESGO

Ya que a la fecha no hay información para preparar un informe de sesgo, éste no se ha realizado.

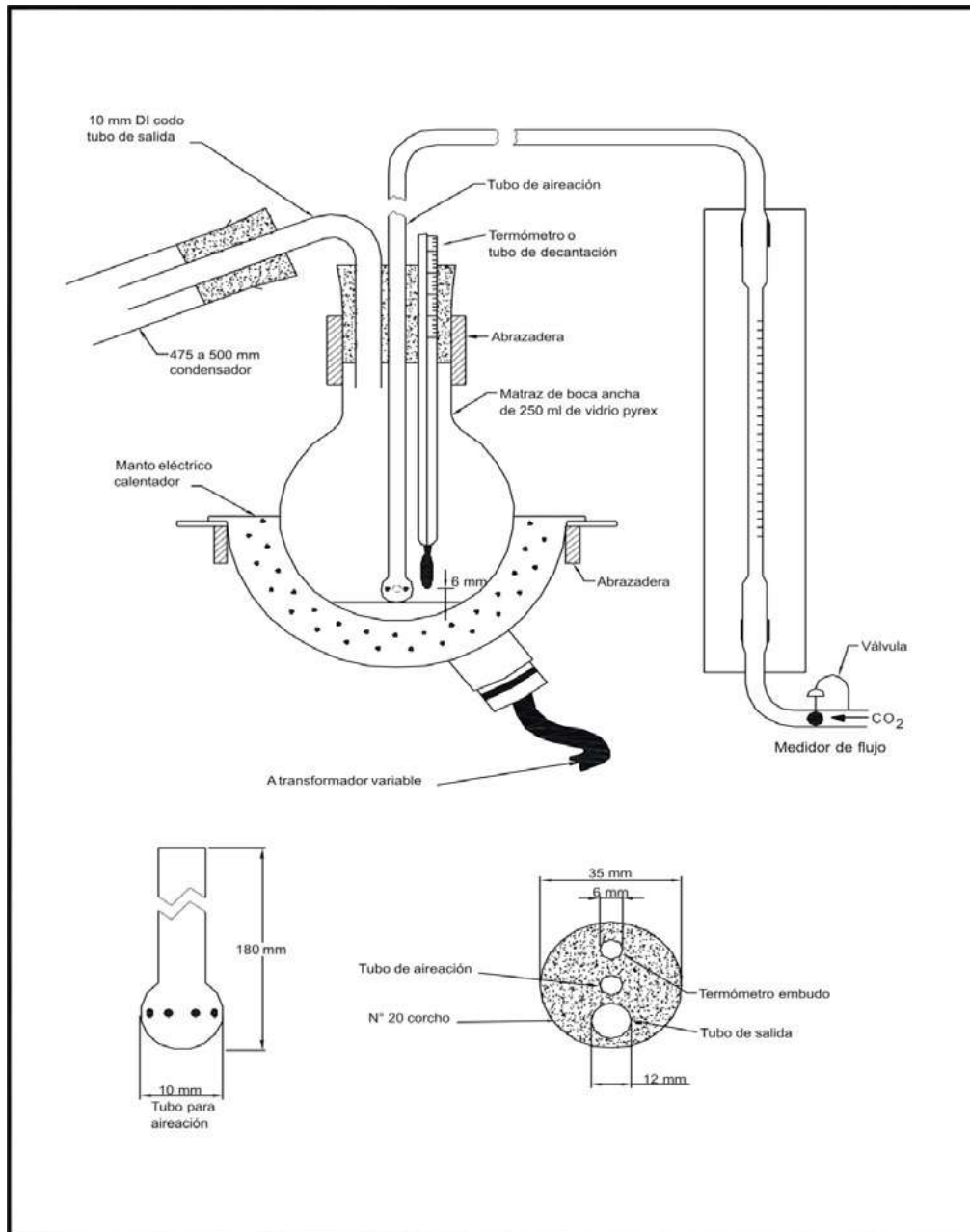


Figura 6.2_62. EQUIPO DE DESTILACIÓN PARA RECUPERAR ASFALTO

SECCION 6.2.6.4.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE LIGANTE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POR CENTRIFUGACIÓN - ENSAYO DE EXTRACCIÓN

6.2.6.4.1. OBJETO

El método describe los procedimientos para determinar cuantitativamente el contenido de ligante asfáltico en una mezcla, mediante el proceso de centrifugación. Como solventes en el proceso de centrifugación se puede emplear tricloroetileno, cloruro de metileno o tricloroetano. A los áridos recuperados se le puede efectuar análisis granulométrico, de acuerdo con la **Sección 6.2.6.2. ANEXO DETALLES ESPECIFICOS AO 604.**

6.2.6.4.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A. EXTRACTOR

Consistente en un bol similar o mayor al que se muestra en la **Figura 6.2_63** y un aparato dentro del cual pueda girar el bol a una velocidad variable y controlada hasta 3.600 rpm. El aparato debe estar provisto de un contenedor que recoja el solvente despedido por el bol y un drenaje para evacuar el solvente. De preferencia, el aparato debe tener características antiexplosivas y debe instalarse debajo de una campana para tener una adecuada ventilación.

B. PAPEL FILTRO ANULAR

De porosidad media y diámetro igual al del bol. El contenido de cenizas del papel no podrá exceder el 0,2 % de su masa.

C. HORNO

Capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}$ C.

D. BALANZAS

De 1 kg y 0,01 g de precisión.

E. PROBETAS GRADUADAS

De 1.000 y 2.000 ml de capacidad.

F. CRISOL

Consistente en una cápsula de metal o porcelana de 125 ml de capacidad.

G. MUFLA O MECHERO A GAS

Capaz de mantener temperaturas entre 500 y 600° C.

H. SOLUCIÓN SATURADA DE CARBONATO DE AMONIO

Grado reactivo.

I. TRICLOROETILENO, CLORURO DE METILENO O TRICLOROETANO

Todos grado técnico.

6.2.6.4.3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- Si la mezcla no está lo suficientemente blanda como para separarla con una espátula, colóquela en una bandeja plana y caliéntela a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ hasta que sea manipulable.
- La muestra de ensayo, normalmente, debe ser el resultado final del cuarteo de una muestra obtenida según **Sección 6.2.6.1** "Método de Muestreo de Mezclas". El tamaño de la muestra de ensayo debe definirse de acuerdo al tamaño máximo nominal (TMN) del árido, tal como se muestra en la **Tabla 6.2_67**.

Tabla 6.2_67. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO.

Tamaño máximo nominal (mm)	Masa mínima de muestra (g)
5	500
10	1.000
12,5	1.500
20	2.000
25	3.000
40	4.000

Nota 1: En el caso de testigos, las masas mínimas de muestra por considerar para TMN 12,5 mm y TMN 20 mm serán de 650 g y 1.300 g, respectivamente.

Nota 2: Si el tamaño mínimo de la muestra de ensayo es mayor que la capacidad del extractor, divídala en porciones iguales. Para los cálculos sume las masas análogas de las distintas porciones.

6.2.6.4.4. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

Previo al ensayo de extracción, seque la muestra hasta masa constante en un horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$.

Nota 3: En caso que se necesite analizar el ligante asfáltico recuperado en la solución, determine el contenido de humedad (w) de la muestra de acuerdo con la **Sección 6.2.6.7** y calcule luego la masa de agua en la muestra.

6.2.6.4.5. PROCEDIMIENTO

- Una vez seca la muestra de acuerdo a lo descrito en el punto "Determinación del contenido de humedad", pésela y registre su masa como M_1 ; deberá cumplir con lo indicado en la **Tabla 6.2_67**.
- Coloque la muestra en un bol y cúbrala con el solvente a utilizar. Espere el tiempo necesario para que el solvente disgregue la muestra (máximo 1 h). Ponga bajo el tubo de drenaje un recipiente (vaso) para recoger el extracto.
- Seque y pese el filtro; registre como M_f . Colóquelo luego alrededor del borde del bol y cierre la cubierta herméticamente.

- d. Haga funcionar la centrífuga, aumentando lentamente la velocidad hasta un máximo de 3.600 rpm; deténgala una vez que el solvente deje de fluir.
- e. Una vez detenida la máquina, agregue aproximadamente 500 ml de solvente, según capacidad del extractor y repita el procedimiento anterior las veces necesarias (no menos de tres), hasta que se haya extraído el asfalto totalmente y el solvente salga limpio.
- f. Vierta el solvente a medida que se recoge en el vaso, a un bidón o botella de mayor capacidad, con tapa evitando la pérdida de líquido. Terminado el lavado de la mezcla, mida el volumen de solvente recuperado y registre como V1. Inmediatamente, tome una muestra representativa de 100 ml (V2) en un crisol previamente tarado (Mci), cuidando que el solvente sea homogéneo, para lo cual es necesario agitarlo previamente.
- g. Evapore, en un baño de agua caliente o placa caliente, el contenido del crisol hasta que quede completamente seco. Calcine el residuo al calor del rojo oscuro (500 a 600° C) mediante una mufla o una placa caliente; enfríe y agregue 5 ml de una solución de carbonato de amonio saturado por gramo de ceniza. Deje a temperatura ambiente durante una hora y luego seque en horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta masa constante. Deje enfriar en un desecador y pese (Mcf)
- h. Remueva el filtro y séquelo al aire. Extraiga el fino adherido tanto como sea posible y agréguelo al bol del extractor. Seque el filtro hasta masa constante en un horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, péselo y registre su masa como Mff.
- i. Saque cuidadosamente el árido que queda en el bol de la centrífuga y séquelo, hasta masa constante, en un horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ o en una placa caliente. Registre como M_2 .

6.2.6.4.6. CÁLCULOS

Calcule el contenido de cenizas en el crisol, como:

$$C = M_{cf} - M_{ci}$$

Donde:

C: Contenido de cenizas en el crisol (g).

Mcf: Masa del crisol + contenido de cenizas (g).

Mci: Masa del crisol (g).

Calcule la masa total de material fino en el volumen de solvente recuperado, como:

$$M_3 = \frac{C \times V_1}{V_2}$$

Donde:

M_3 : Masa total de material fino en el volumen de solvente recuperado (g)

C: Contenido de cenizas en el crisol (g)

V_1 : Volumen total de solvente recuperado (ml)

V_2 : Volumen de la alícuota de solvente (ml)

Calcule la masa de material fino retenido en el filtro, como:

$$M_4 = M_{ff} - M_{fi}$$

Donde:

M_4 : Masa de material fino retenido en el filtro (g)

M_{ff} : Masa final del filtro (g)

M_{fi} : Masa inicial del filtro (g)

Calcule el porcentaje de ligante asfáltico, aproximando a un decimal, de acuerdo a la expresión:

$$B = \left[\frac{M_1 - (M_2 + M_3 + M_4)}{M_2 + M_3 + M_4} \right] \times 100$$

Donde:

B: % de ligante asfáltico respecto al árido seco.

M_1 : Masa seca de la muestra (g)

M_2 : Masa seca de la muestra lavada (g)

M_3 : Masa total de material fino en el volumen de solvente recuperado (g)

M_4 : Masa de material fino retenido en el filtro (g)

6.2.6.4.7. INFORME

El informe deberá incluir al menos los siguientes antecedentes:

- a) Identificación del contrato y empresa contratista.
- b) Identificación de la muestra, procedencia y fecha de muestreo.
- c) Entidad responsable del muestreo.
- d) Fecha de ensayo.
- e) Entidad responsable del ensayo.
- f) Solvente utilizado en el ensayo.
- g) Porcentaje de asfalto referido al árido seco.
- h) Cualquier otra información específica u observación relativa al ensayo.
- i) La referencia a este Método.

Se incluye un formato tipo de ficha de ensayo para registrar los cálculos y resultados obtenidos (**Figura 6.2_ 63**).

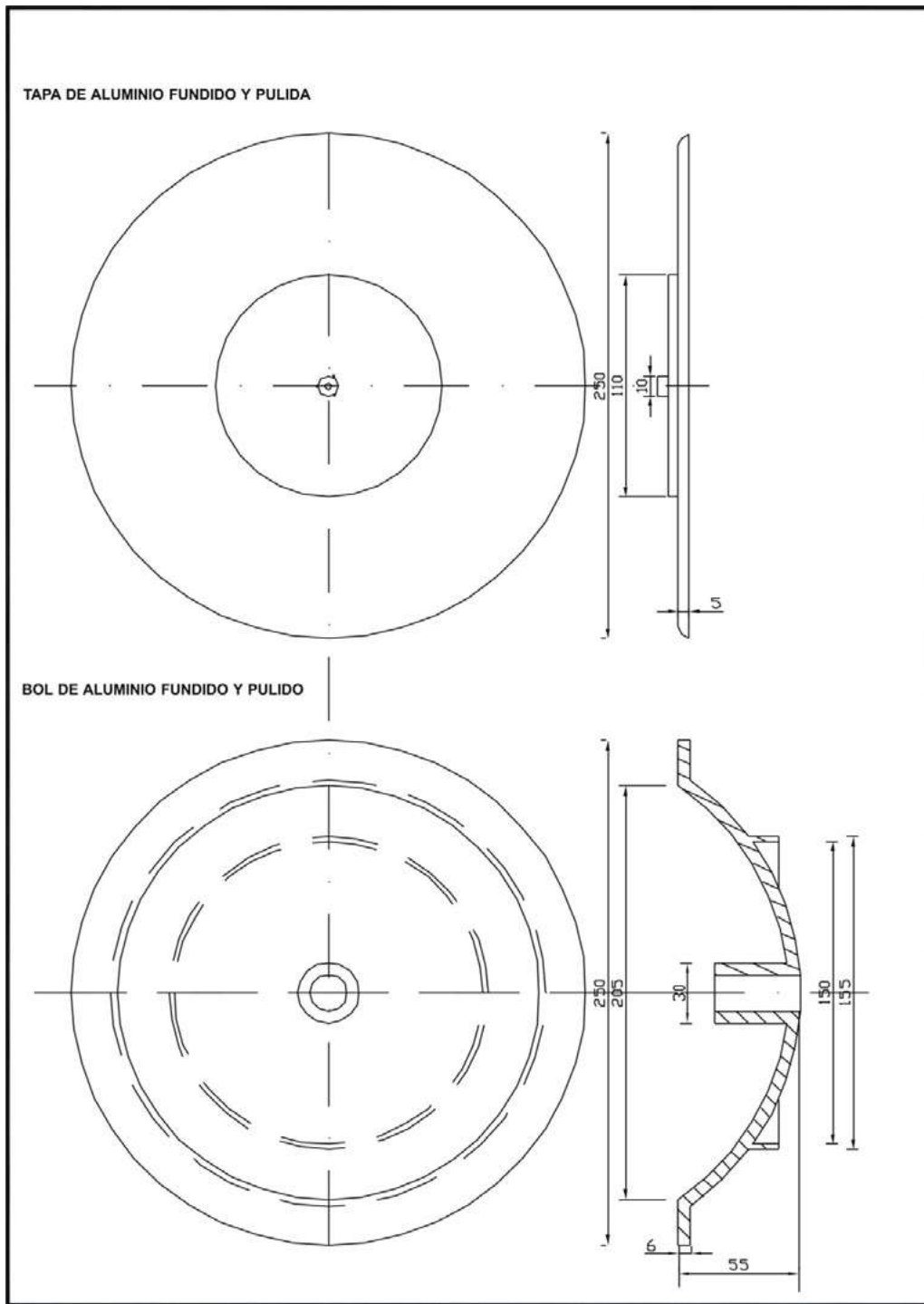


Figura 6.2_63. BOL TIPO PARA EXTRACCIÓN

CERTIFICADO DE ENSAYE N° _____										
Contrato: _____					Contratista: _____					
Tipo de Muestra: <input type="checkbox"/> Mezcla Bituminosa					<input type="checkbox"/> Testigo					
					Muestra _____	Muestra _____	Muestra _____			
Dm										
Pista										
Fecha de muestreo										
Tipo de Asfalto										
Peso inicial (Muestra con asfalto) (g)			M1							
Peso agregado sin asfalto (g)			M2							
Peso filtro inicial (g)			Mfi							
Peso filtro final (g)			Mff							
Material fino retenido en filtro (g)			M4							
Peso crisol con cenizas (g)			Mcf							
Peso crisol inicial (g)			Mci							
Contenido de cenizas en crisol (g)			C							
Solvente recuperado (cm ³)			V1							
Volumen alícuota (cm ³)			V2							
Material fino en solvente recuperado (g)			M3							
Contenido de asfalto (% c/r agregado seco)			B							
GRANULOMETRIA										
					Muestra _____		Muestra _____		Muestra _____	
					Peso Total (g) =		Peso Total (g) =		Peso Total (g) =	
TAMIZ (mm)	RETENIDO		PASA %	RETENIDO		PASA %	RETENIDO		PASA %	
	Peso (gr)	%		Peso (gr)	%		Peso (gr)	%		
26,5										
19										
12,5										
9,5										
4,75										
2,36										
1,18										
0,6										
0,3										
0,15										
0,075										
Observaciones: _____										
Ensayado por: _____					Fecha Ensaye: _____					
Vº Bº Jefe Laboratorio										
Nombre : _____										

Figura 6.2_64. EXTRACCIÓN DE ASFALTOS

SECCION 6.2.6.5.

MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD MÁXIMA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SIN COMPACTAR (ASTM D 2041)

6.2.6.5.1. OBJETO

Este método permite determinar la densidad máxima teórica de mezclas asfálticas sin compactar, a 25°C, así como el porcentaje de ligante absorbido por los áridos de la mezcla, de modo de cuantificar la cantidad total o efectiva de asfalto requerida por la misma. **ANEXO DETALLES ESPECIFICOS AO 605**

6.2.6.5.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A. RECIPIENTES PARA VACÍO

- a) Se describen cuatro tipos de recipiente para vacío, cada uno de los cuales deberá ser capaz de mantener el vacío requerido, para lo que deberá disponer de los accesorios necesarios para la aplicación del procedimiento.
- b) El tamaño del recipiente por usar dependerá de la cantidad mínima de muestra, de acuerdo a la **Tabla 6.2_68** incluida en "Tamaño de la muestra de ensayo".
- c) Descripción de los recipientes:
 - Tipo A: matraz aforado de vidrio con capacidad aproximada de 2.000 ml.
 - Tipo B: picnómetro de vidrio con capacidad aproximada de 4.000 ml.
 - Tipo C: picnómetro de metal con tapa transparente y capacidad aproximada de 4.500 ml.
 - Tipo D: picnómetro plástico con capacidad mínima de 10.000 ml.

B. BALANZAS

- a) Balanza de capacidad 5.000 g y resolución 0,1 g.
- b) Balanza de capacidad 30.000 g y resolución 1 g.

C. BOMBA DE VACÍO

Capaz de producir una presión residual igual o inferior a 30 mm Hg.

D. MANÓMETRO DE PRESIÓN RESIDUAL

Capaz de medir una presión residual igual o inferior a 30 mm Hg.

E. BAÑO DE AGUA

Capaz de controlar y mantener una temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$.

F.HORNO

Horno de convección forzada; capaz de controlar y mantener la temperatura requerida dentro de $\pm 3^{\circ}$ C.

G.OTROS

Bol, espátula, piseta, vaselina sólida, termómetro y agua destilada.

H.CALIBRACIÓN DE RECIPIENTES

H.1.Recipientes Tipos A y B

Consiste en determinar a 25° C la masa exacta de agua necesaria para llenarlo.

- a) Llene el picnómetro con agua destilada a 25° C.
- b) Mantenga el recipiente en un baño de agua a 25° C durante 1 h.
- c) Seque cuidadosamente el recipiente y péselo.
- d) Designe la masa del picnómetro lleno con agua como MPa.

H.2.Recipientes Tipos C y D

Consiste en determinar, a una temperatura entre 22 y 27° C, la masa exacta de agua necesaria para llenarlo.

- a) Asegure la cubierta y llene el picnómetro con agua destilada a 25° C hasta casi el tope (deje libre aproximadamente 50 mm).
- b) Aplique vacío por 10 min., levante el picnómetro, primero de un lado y luego del otro, y déjelo caer desde aproximadamente 10 mm sobre la superficie.
- c) Agregue agua destilada a 25° C hasta llenar completamente el picnómetro.
- d) Elimine las burbujas que queden adheridas en las paredes interiores del recipiente.
- e) Seque prolijamente el exterior del picnómetro.
- f) Pese el picnómetro lleno con agua y designe su masa como MPa.
- g) Registre la temperatura del agua. Si ésta difiere del rango $22 - 27^{\circ}$ C, repita el procedimiento de calibración.

Nota 1: La calibración de los recipientes debe chequearse periódicamente. El equipo debe mantenerse limpio y libre de cualquier contaminación. Se deben utilizar solventes adecuados, especialmente cuando se trate de recipientes plásticos. Los recipientes de vidrio no deben someterse a altos niveles de vacío si se encuentran dañados.

6.2.6.5.3. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

El tamaño de la muestra de ensayo deberá estar de acuerdo al tamaño máximo nominal (TMN) del árido, según lo indicado en la **Tabla 6.2_ 68**.

Tabla 6.2_68. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

TMN árido (mm)	Masa Mínima de Muestra (g)
37,5	4.000
25	2.500
19	2.000
12,5	1.500
9,5	1.000
4,75	500

6.2.6.5.4. PROCEDIMIENTO

- a. Separe manualmente las partículas de la muestra teniendo cuidado de no fracturar el árido, de modo que las partículas de la fracción de árido fino no sean mayores que 4,75 mm. Si la mezcla no está lo suficientemente blanda para ser separada, colóquela en un horno y caliéntela sólo hasta que sea manipulable.
- b. Enfríe la muestra hasta temperatura ambiente.
- c. Pese la muestra y registre esta masa como Mm.
- d. Coloque la muestra en el recipiente y agregue agua destilada hasta casi el tope de éste.
- e. Aplique vacío por 10 min. agitando su contenido periódicamente con un vibrador mecánico o en forma manual de acuerdo a 9 b).
- f. Inmediatamente después de remover el aire atrapado, continúe con uno de los siguientes procedimientos según el tipo de recipiente a utilizar:

F.1. Recipientes tipos A y B:

- Llene completamente el recipiente con agua destilada y colóquelo en un baño de agua a 25° C.
- Una vez alcanzada la temperatura de 25° C, deje el conjunto otros 10 min. dentro del baño.
- Saque el recipiente del baño y séquelo exteriormente.
- Pese el recipiente lleno con agua y mezcla y registre su masa como MPam.

F.2. Recipientes tipos C y D:

- Llene completamente el recipiente con agua destilada a 25° C.
- Seque el exterior del recipiente.
- Pese el recipiente lleno con agua y mezcla y registre su masa como MPam.
- Registre la temperatura del agua; si no está en el rango de 22 a 27° C, repita el ensayo.

Nota 2: El tiempo empleado para llenar y secar cualquiera de los recipientes (A, B, C o D) debe ser igual al ocupado en la calibración, con una tolerancia de ± 1 min.

6.2.6.5.5. CÁLCULOS

Determine la densidad máxima de la mezcla sin compactar mediante la siguiente expresión, aproximando al entero.

$$D_{mm} = \frac{M_m}{M_m + M_{Pa} - M_{Pam}} \cdot \rho_T$$

Donde:

- D_{mm} : Densidad máxima de la mezcla sin compactar (kg /m³)
- M_m : Masa de la muestra a temperatura ambiente (g)
- M_{Pa} : Masa del recipiente lleno con agua (g)
- M_{Pam} : Masa del recipiente lleno con agua y muestra (g)
- ρ_T : Densidad del agua a la temperatura de ensayo (kg/m³).

Ver **Tabla 6.2_69**.

Tabla 6.2_69. DENSIDAD DEL AGUA A DISTINTAS TEMPERATURAS

Temperatura (°C)	ρ_T (Kg/m ³)
22	997,8
23	997,6
24	997,3
25	997,1
26	996,8
27	996,5

6.2.6.5.6. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO PARA MEZCLAS QUE CONTIENEN AGREGADOS POROSOS NO CUBIERTOS COMPLETAMENTE

- Si los poros no están totalmente sellados por una película bituminosa, se pueden saturar con agua durante el proceso de vacío. Para determinar si esto ha ocurrido, proceda como se indica a continuación, una vez terminado el procedimiento indicado en 15 a) ó b), según corresponda.
- Drene el agua de la mezcla con extrema precaución evitando la pérdida de árido (Se puede utilizar un tamiz N ° 200 para estos efectos).
- Fracture algunas partículas de árido y examine visualmente si están húmedas.
 - Si el árido no ha absorbido agua, deseche la muestra.
 - Si el árido ha absorbido agua, remueva la humedad superficial utilizando un horno con convección forzada o ventilador, revolviendo la mezcla intermitentemente. Cuando la pérdida de masa sea menor que 0,05%, detenga el secado y registre la masa alcanzada por la muestra como M_{mss} .
 - Calcule la densidad máxima de la mezcla con árido porosos no cubiertos completamente, de acuerdo a la siguiente expresión, aproximando al entero.

$$D_{mm} = \frac{M_m}{M_{mss} + M_{Pa} - M_{Pam}} \cdot \rho_T$$

Donde:

Dmm : Densidad máxima de la mezcla sin compactar (kg/m^3)

Mm : Masa de la muestra a temperatura ambiente (g)

Mmss: Masa de la muestra con superficie seca (g)

MPs : Masa del recipiente lleno con agua (g)

MPam: Masa del recipiente lleno con agua y muestra (g)

ρ_T : Densidad del agua a la temperatura de ensayo (kg/m^3).

Ver **Tabla 6.2_69**.

6.2.6.5.7. EXPRESIÓN DE RESULTADOS

El resultado del ensayo será el valor promedio de tres determinaciones, aproximando al entero

6.2.6.5.8. PRECISIÓN

El criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados de los ensayos de densidad obtenidos mediante este método, es el siguiente:

	Rango de aceptabilidad para dos resultados* (Kg/m^3)
Precisión para un operador	11
Precisión para conjunto de laboratorios	19

- * Válido para resultados de ensayo obtenidos sin hacer uso de "Procedimiento de ensayo para mezclas que contienen áridos porosos no cubiertos completamente".
- * Base de estimación: 3 determinaciones, 5 materiales, 5 laboratorios.
- * Los valores anotados corresponden a las diferencias máximas permisibles para dos resultados de un mismo ensayo.

6.2.6.5.9. INFORME

El informe deberá incluir al menos los siguientes antecedentes:

- a) Densidad de la mezcla (kg/m^3).
- b) Tipo de mezcla.
- c) Tamaño de la muestra.
- d) Número de muestras.
- e) Tipo de recipiente.
- f) Procedimiento empleado.
- g) Contenido de asfalto (% referido al árido seco) para muestras preparadas en laboratorio.

SECCION 6.2.6.6.

MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS

6.2.6.6.1. OBJETO

Este método establece procedimientos para determinar la densidad real de mezclas asfálticas compactadas.

6.2.6.6.2. DEFINICIONES

A.DENSIDAD (P)

Es el cociente entre la masa (m) de una sustancia y su volumen (v) a una temperatura especificada. Se expresa en kilogramos por metro cúbico (Kg/m³).

B.DENSIDAD REAL (G)

Densidad en que se considera el volumen macizo de la probeta, más el volumen de los poros accesibles e inaccesibles.

C.SECADO HASTA MASA CONSTANTE

Límite de secado a $50 \pm 5^\circ \text{C}$, en que dos pesadas sucesivas difieren en un porcentaje igual o inferior al 0,1% de la menor masa determinada. La muestra debe dejarse en horno a $50 \pm 5^\circ \text{C}$ durante 12 h y luego pesarse cada 2 h.

6.2.6.6.3. EQUIPOS Y MATERIALES

A.BALANZA

De 2.000 g de capacidad mínima, sensibilidad 0,1 g y una precisión de 0,2 g. Debe estar equipada con un aparato de suspensión adecuado que permita pesar la probeta mientras está suspendida del centro de la balanza.

B.BAÑO DE AGUA

Que permita sumergir la muestra mientras está suspendida bajo la balanza, equipado con una válvula de desborde que mantenga constante el nivel de agua.

6.2.6.6.4. MUESTRAS DE ENSAYO

- a. Las muestras de ensayo pueden ser mezclas asfálticas moldeadas en el laboratorio o cortadas directamente del pavimento.
- b. Para el tamaño de la probeta se recomienda lo siguiente:
 - Que el diámetro de las probetas cilíndricas o la longitud de las probetas aserradas sea a lo menos cuatro veces el tamaño máximo del agregado.

- Que el espesor o largo de la probeta sea a lo menos una y media veces el tamaño máximo del agregado.
- c. Tome las muestras de pavimentos con brocas o sierras diamantadas o cualquier otro medio adecuado
- d. Separe las distintas capas mediante aserrado u otro medio adecuado

6.2.6.6.5. MÉTODO A: PROBETAS CUBIERTAS CON PARAFINA

A.PROCEDIMIENTO

A.1.Masa de la Probeta sin Parafina

Pese la probeta en aire después de secarla hasta masa constante. Designe esta masa como A.

A.2.Masa de la Probeta en Aire con Parafina

Cubra la probeta de ensayo, en toda su superficie, con parafina derretida con un espesor suficiente para sellar todos los huecos superficiales. Deje que el recubrimiento se enfríe al aire a temperatura ambiente durante 30 min. y luego pese la probeta. Designe esta masa como D.

Nota 1: La aplicación de la parafina se puede lograr mejor enfriando la probeta en un refrigerador hasta una temperatura de aproximadamente 4,5°C por 30 min. y luego sumergiéndola en parafina tibia (5,5° C sobre el punto de fusión). Puede ser necesario repasar la superficie con una brocha con parafina caliente para llenar los vacíos más pequeños. Si se desea usar la probeta en otros ensayos que requieran el desprendimiento del cubrimiento de parafina, puede cubrirse la muestra con talco en polvo antes de colocarle la parafina.

A.3.Masa de la Probeta con Parafina en Agua

Pese la probeta con parafina en un baño de agua a 25 ± 1°C. Designe esta masa como E.

A.4.Densidad de la Parafina

Determine la densidad de la parafina a 25° C y désignela como pp. Al adoptar un valor típico de 0,91 g/cm³, el error es prácticamente despreciable.

6.2.6.6.6.Cálculos

Calcule la densidad de la probeta con la fórmula:

$$G = \frac{A}{\frac{B - C}{\rho_w}} \times 1.000 (\text{Kg} / \text{m}^3)$$

Donde:

- A: Masa de la probeta seca en aire (g).
- D: Masa de la probeta seca más parafina en aire (g).
- E: Masa de la probeta seca más parafina en agua (g).

ρ_p : Densidad de la parafina (25°C) $\pm 1\text{g/cm}^3$.

ρ_w : Densidad del agua (1,0 g/cm³)

6.2.6.6.7. MÉTODO B: PROBETAS CON SUPERFICIE SATURADA SECA

A.PROCEDIMIENTO

- Seque la probeta hasta masa constante.
- Enfríela hasta temperatura ambiente (25 $\pm 1^\circ\text{C}$) y registre la masa seca como A.
- Sumerja en un baño de agua a 25 $\pm 1^\circ\text{C}$ por 3 a 5 min. y registre esta masa como C.
- Saque la probeta del agua y séquela con una toalla húmeda. Designe esta masa como B.
- Determine el porcentaje de agua absorbida con la siguiente expresión:

$$A_{ab} = \frac{B-A}{A} \times 100$$

Si A_{ab} es mayor que 2, emplee el Método A.

6.2.6.6.8.Cálculos

Calcule la densidad de acuerdo a la fórmula:

$$G = \frac{A}{\frac{B-C}{\rho_w}} \times 1.000 (\text{Kg} / \text{m}^3)$$

6.2.6.6.9. MÉTODO C: GEOMÉTRICO (SÓLO PARA MEZCLAS DE GRADUACIÓN ABIERTA; PORCENTAJE DE HUECOS SUPERIOR A 15)

A.1.Procedimiento

- Determine la densidad de una muestra de formas regulares en base a su masa (Kg.) y su volumen medio en forma geométrica (m³).
- Determine las dimensiones de la probeta basado en el promedio de cuatro medidas, como mínimo, por dimensión.

SECCION 6.2.6.7.

MÉTODO PARA DETERMINAR LA HUMEDAD O VOLÁTILES EN MEZCLAS ASFÁLTICAS (ASTM D 1461 AASHTO T110-94)

6.2.6.7.1. OBJETO

Este método describe un procedimiento para determinar, por medición directa, la humedad o fracciones volátiles del asfalto en mezclas de pavimentos bituminosos.

6.2.6.7.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A. DESTILADOR METÁLICO

Un destilador cilíndrico vertical, similar al usado en ensayos de emulsiones asfálticas, con una pestaña pulida en la parte superior en la cual adhiere la tapa bien cerrada con una abrazadera. Tapa de metal, de preferencia de cobre o bronce, provista de un tubo de diámetro interior de 25 mm (1").

B. CONDENSADOR

Tipo de reflujo, con tubo de vidrio enfriado por agua, con una camisa para condensar, de largo no menor que 400 mm, con un tubo interior de 10 a 12 mm de diámetro exterior. El extremo del condensador se conecta en la trampa y debe tener un ángulo hacia abajo de 30° desde el eje vertical del condensador. Para mezclas con solventes muy volátiles puede ser necesario ayudarse con un segundo condensador de aproximadamente la misma dimensión.

C. TRAMPA

De vidrio bien recocido, de uno de los siguientes tipos, dependiendo del propósito del ensayo.

- a) Para determinar el agua en mezclas de pavimentos bituminosos use una trampa de vidrio de 10 ó 25 ml de capacidad. Debe estar graduada en divisiones de 0,1 ml con $\pm 0,05$ ml máximo de error bajo 1 ml, y en divisiones de 0,2 ml con $\pm 0,1$ ml máximo de error sobre 1 ml.
- b) Para determinar las fracciones volátiles del ligante asfáltico, las dimensiones de la trampa son las que se indican en la **Figura 6.2_ 65**.

D. SOLVENTE

Para uso en general prefiera un solvente aromático, puesto que tiene alta solvencia y gran poder de dispersión para la mayoría de los materiales bituminosos. El Xileno o una mezcla de 20% de benzol y 80% de Xileno es recomendable. Para asfaltos y productos similares de petróleo puede usar un destilado de petróleo, 5% que ebulle entre 90 y 100° C y 90% que destile bajo 210°C. Para alquitrán, gas, agua de alquitrán y materiales similares, debe usar el solvente aromático.

E. ARTEFACTO CALENTADOR

Cualquier fuente de calor satisfactoria que sea capaz de mantener una razón de destilación de 85 a 95 gotas/ min.

6.2.6.7.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. MUESTRA

La muestra debe ser representativa del material y de tamaño tal, que prácticamente llene el envase en el cual se transporta al laboratorio. Para contar con un duplicado es satisfactorio un envase lleno con 2 litros.

B. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Mezcle bien la muestra y pese una cantidad, apreciando el porcentaje de humedad o diluyente dentro de la capacidad calibrada de la trampa. Guarde el sobrante de la muestra en el envase bien cubierto.

Es preferible que el peso de la muestra no sea menor de 500 g para mezclas normales.

Desmenúcela bien, hasta que no tenga terrones y colóquela en el destilador.

6.2.6.7.4. PROCEDIMIENTO

A. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA HUMEDAD

- a. Después que ha colocado la muestra en el destilador, agregue 200 ml del solvente y revuelva rápidamente, tape firmemente el destilador y arme la trampa y el condensador, según se describe en la **Sección 6.2.3.12**. Aplique calor, de manera que el reflujo comience dentro de los 5 a 10 min. después que el calor ha sido aplicado y que el solvente condensado gotee dentro de la trampa a razón de 85 a 95 gotas/min. Continúe la destilación hasta que, después de 3 lecturas sucesivas con intervalos de 15 min., no haya incremento en la cantidad de agua condensada, excepto en el caso que la destilación continúe por más de 1,5 h.
- b. Anote el volumen de agua en la trampa y calcule en porcentaje por masa de muestra tomada

B. PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO PARA DETERMINAR DESTILADOS VOLÁTILES

- c. Después que ha colocado la muestra en el destilador, agregue 350 ml de agua y aproximadamente 3 g de carbonato de sodio (Na_2CO_3) y revuelva rápidamente la muestra. Sujete firmemente la tapa del destilador y arme la trampa y condensador, según Sección 6.2.3.12, excepto que la trampa a usar debe ser la de dilución especificada en 3 b).
- d. Aplique calor de manera que el reflujo del agua y solvente comience entre 5 a 10 min. después de aplicar el calor y gotee del condensador a razón de 85 a 95 gotas/ min. En caso que la muestra contenga una gran cantidad de solvente muy volátil, puede ser necesario agregar un segundo condensador sobre el primero o bien reducir la razón de destilación para, poco más o menos, prevenir un escape del solvente.
- e. Continúe la destilación hasta tres sucesivas lecturas de los niveles superior e inferior del diluyente con 15 min. de intervalo, sin que se observe incremento en la cantidad acumulada. Entonces, retire la fuente de calor y no mueva el aparato durante 30 min. para permitir que el solvente se enfríe y separe.

- f. Anote el volumen del diluyente en la trampa y calcule e informe en porcentaje, por masa de muestra tomada, usando la densidad del diluyente a 25°C.

6.2.6.7.5. CÁLCULOS

Cálculo de la humedad contenida

$$\text{Agua, \%} = A / B \times 100$$

Donde:

A: Volumen de agua en trampa

B: Masa de muestra

Cálculo del contenido de volátil destilado:

$$\text{Dest, \%} = C \times D / E \times 100$$

Donde:

C: Volumen de destilado en trampa

D: Densidad de destilado, a 25°C

E: Masa de la muestra

6.2.6.7.6. INFORME

Informe los resultados de contenido de humedad como porcentaje en peso de acuerdo a 12

Informe los resultados de contenido de solvente destilado como porcentaje en peso de acuerdo a 13.

6.2.6.7.7. PRECISIÓN

A.PRECISIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

El siguiente criterio puede ser aplicado para juzgar la aceptabilidad de los resultados (95% de probabilidad) cuando se usan trampas de 10 ml o 25 ml.

A.1.Repetitividad.

La determinación en duplicado de humedad por un mismo operador pueden ser considerados dudosos, si estos difieren en más de los siguientes valores:

Agua recolectada

0,0 - 1,0 ml 0,1 ml

1,1 - 25 ml 0,1 ml o 2 % de la media

A.2.Reproducibilidad

Los resultados obtenidos por cada uno de dos laboratorios pueden considerarse dudosos, si estos difieren en más de las siguientes cantidades:

Agua recolectada

0,0 - 1,0 ml 0,2 ml

1,1 - 25 ml 0,2 ml o 10 % de la media

B.PRECISIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE DESTILADO DE VOLÁTIL

La precisión de este método es obtenida por exanimación estadística o resultados de ensayos interlaboratorios.

B.1.Repetitividad.

La determinación en duplicado de destilado por un mismo operador pueden ser considerados dudosos, si estos difieren en más de 0,6 puntos porcentuales volumétricos.

B.2.Reproducibilidad.

Los resultados obtenidos por cada uno de dos laboratorios pueden considerarse dudosos, si estos difieren en más de 1,4 puntos porcentuales volumétricos.

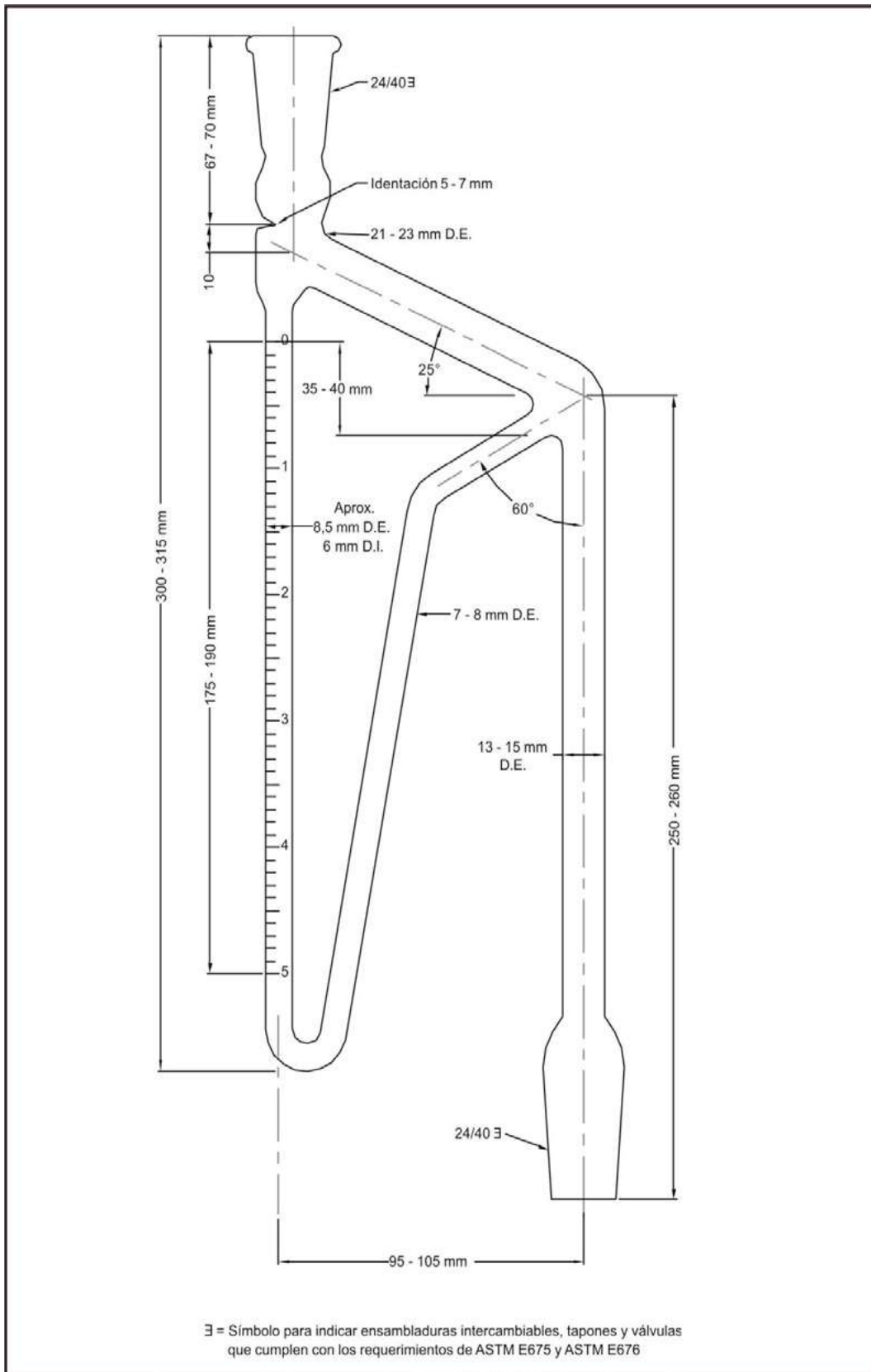


Figura 6.2_65. TRAMPAS PARA DETERMINAS LAS FRACCIONES VOLÁTILES DEL BITUMEN

SECCION 6.2.6.8.

MÉTODO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN PLÁSTICA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS UTILIZANDO EL APARATO MARSHALL (AASHTO T 245-97).

6.2.6.8.1. OBJETO

Este método describe la medición de la resistencia a la deformación plástica de probetas cilíndricas de mezclas asfálticas, cargadas sobre su manto lateral, usando el aparato Marshall. Este método es aplicable a mezclas asfálticas con árido de tamaño máximo 25 mm. **ANEXO DETALLES ESPECIFICOS**

6.2.6.8.2. EQUIPO Y MATERIALES

A.MOLDES DE COMPACTACIÓN

Constituidos por una placa base, molde y collar. El molde debe tener un diámetro interior de $101,6 \pm 0,1$ mm y una altura de 80 mm; la placa base y el collar se diseñan de modo de poder ajustarse a cualquier extremo del molde, conforme a los detalles de la **Figura 6.2_66**, Figura 1.

B.EXTRACTOR

Que sirva para sacar las probetas del molde; debe estar provisto de un disco desplazador de 100 mm de diámetro por 10 mm de espesor.

C.MARTILLO DE COMPACTACIÓN

Consiste en una cara circular de 100 mm de diámetro equipada con un peso de 4.515 ± 15 g y construido de modo de obtener una altura de caída 460 ± 2 mm, conforme a los detalles de la **Figura 6.2_67**, **Figura 2**. Las condiciones señaladas aseguran la obtención de una energía por caída de 20,75 J.

D.PEDESTAL DE COMPACTACIÓN

Consiste en un poste de madera de 205 x 205 x 455 mm cubierto con una placa de acero de 305 x 305 x 25 mm. El poste va empotrado en hormigón mediante cuatro perfiles ángulo; debe quedar a plomo y la placa de acero debe quedar firmemente afianzada y a nivel. El poste puede ser de roble, pino u otra madera que tenga una densidad seca media de 0,67 a 0,77 g/cm³.

E.SUJETADOR DE MOLDE

Consiste en un aro con resorte diseñado para mantener centrado y fijo el molde en el pedestal durante la compactación.

F.MORDAZA

Consiste en dos segmentos de cilindro, superior e inferior, con un radio interno de $51 \pm 0,2$ mm, diseñado según la **Figura 6.2_67**, para transmitir la carga a la probeta en el ensayo.

G.MÁQUINA MARSHALL

Aparato eléctrico, diseñado para aplicar carga a las probetas durante el ensayo, a una velocidad de deformación de 50 ± 1 mm/min. Está equipada con un anillo de prueba calibrado para determinar la carga aplicada, de una capacidad superior a 25 kN y una sensibilidad de 45N con un dial graduado de 0,0025 mm y un medidor de flujo con una precisión de 0,01 mm, para determinar la deformación que se produce en la carga máxima. Se puede emplear también esta máquina equipada con sensor y registrador de estabilidad v/s fluencia.

H.HORNOS

Horno de convección forzada y placas calientes, que deben incluir un termostato capaz de controlar y mantener la temperatura requerida dentro de ± 3 °C.

I.BAÑO DE AGUA

De a lo menos 150 mm de profundidad y controlado termostáticamente a 60 ± 1 ° C. El estanque debe tener un fondo falso perforado y un termómetro centrado y fijo.

J.EQUIPO MISCELÁNEO

- a) Pailas para calentar el árido.
- b) Recipiente, para calentar el asfalto.
- c) Bol, para mezclar el asfalto y árido.
- d) Espátulas, para el mezclado manual de la mezcla.
- e) Mezclador mecánico, opcional.
- f) Termómetros de rango 10 a 200° C para determinar las temperaturas del árido, asfalto y mezcla bituminosa.
- g) Balanzas con capacidad 5 kg y precisión 1 g.
- h) Poruñas.
- i) Guantes aislantes para resistir rango de de temperatura indicadas en f) y guantes de goma.
- j) Pintura, tinta u otro elemento de marcación indeleble, para identificar las probetas.

6.2.6.8.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A.PROBETAS DE ENSAYO

1. Número de probetas.

Prepare a lo menos 3 y de preferencia 5 probetas para cada contenido de asfalto.

2. Preparación del árido

Seque el agregado hasta masa constante a una temperatura de 110 ± 5 ° C y sepárelo por tamizado en seco en las siguientes fracciones: 25-19 mm; 19-12,5 mm; 12,5-9,5 mm; 9,5-4,75 mm; 4,75-2,36 mm y bajo 2,36 mm.

3. Temperatura de mezclado

Es la temperatura a la cual debe calentarse el cemento asfáltico y el asfalto cortado para producir una viscosidad de 170 ± 20 cSt.

4. Temperatura de compactación

- a) Para cementos asfálticos la temperatura de compactación debe ser aquella a la cual el cemento asfáltico alcanza una viscosidad de 280 ± 30 cSt.
- b) Para asfaltos cortados la temperatura de compactación debe ser aquella a la cual el asfalto cortado alcanza una viscosidad de 280 ± 30 cSt, después de perder un 50% del solvente original.

5. Preparación de muestras

- a) Pese en bandejas separadas para cada probeta de ensayo, la cantidad necesaria de cada fracción para producir una muestra que dé como resultado una probeta compacta de una altura aproximada de 65 mm; normalmente se requieren 1.100 g. Coloque las bandejas en el horno o en una placa caliente y llévelas a una temperatura de aproximadamente $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ sobre la temperatura de mezclado especificada en 13 para cementos asfálticos, y de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ sobre dicha temperatura para asfaltos cortados. Coloque el árido caliente en el bol de mezclado y revuelva completamente. Forme un cráter en el árido y pese la cantidad necesaria de cemento asfáltico o asfalto cortado e incorpórela al bol. En ese instante las temperaturas del árido y del asfalto deben estar dentro de los límites establecidos en el numeral 3. El asfalto no debe mantenerse a la temperatura de mezclado por más de 1 h antes de usarlo. Mezcle el árido y asfalto tan rápido como sea posible hasta que la mezcla quede totalmente cubierta y uniforme.
- b) Terminado el mezclado, coloque las mezclas con asfaltos cortados en un horno ventilado, mantenido a una temperatura de aproximadamente 10°C sobre la de compactación. Continúe el curado hasta que se haya evaporado el 50% del solvente. La mezcla debe revolverse para acelerar el proceso de pérdida de solvente, teniendo cuidado de no perder mezcla. Durante este proceso, pese la mezcla inicialmente en intervalos de 15 min. y, cuando se aproxima a la pérdida del 50%, en intervalos menores de 10 min.

6. Compactación de probetas

- a) Prepare el molde y el martillo, limpiando completamente el conjunto del molde y cara del martillo de compactación y caliéntelos durante 15 min. en un baño de agua o en una placa caliente a una temperatura próxima a la de compactación. Coloque un disco de papel filtro, cortado a medida, en la parte inferior del molde antes de colocar la mezcla. Suavice la parte interior del molde y la cara del martillo con un aceite grueso. Coloque el conjunto collar, molde y base en el pedestal del compactador.
- b) Llene el molde con una espátula, acomodando la mezcla 15 veces en el perímetro y 10 veces en el centro. La temperatura antes de compactar debe estar en los límites establecidos en 14 a) y b); si no es así, descártela; en ningún caso la mezcla debe recalentarse.
- c) Con el martillo de compactación aplique 75 golpes en un tiempo no superior a 90 seg. Saque la base y el collar, invierta y reensamble el molde. Aplique en la otra cara el mismo número de golpes en un tiempo no mayor al indicado. Después de compactar, saque la base y deje enfriar la probeta al aire. Si se desea un

enfriamiento más rápido puede usar ventiladores. Normalmente la probeta se deja enfriar toda una noche.

Nota 1: Podrá especificarse una cantidad diferente de golpes, de acuerdo al tránsito de diseño.

7. Determinación de densidad y espesor

Tan pronto como la probeta se enfríe a temperatura ambiente, desmolde y determine su espesor. Luego proceda a determinar su densidad de acuerdo a la **Sección 6.2.6.6.**

6.2.6.8.4. PROCEDIMIENTO

- p. Para probetas confeccionadas con cementos asfálticos, coloque éstas en un baño de agua a $60 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 30 a 40 min., antes de ensayar. Para probetas confeccionadas con asfaltos cortados, colóquelas en una corriente de aire por un lapso no inferior a 2 h; mantenga la temperatura del aire a $25 \pm 1^\circ\text{C}$.
- q. Limpie completamente la mordaza. La temperatura de ésta debe mantenerse entre 21 y 38°C , usando un baño de agua si es necesario. Lubrique las barras guías con una película delgada de aceite de modo que la parte superior de la mordaza deslice suavemente. Si se usa un anillo de prueba para medir la carga aplicada, asegúrese que el dial esté firmemente ajustado y en cero.
- r. Saque la probeta del agua y seque cuidadosamente la superficie. Coloque y centre la probeta en la parte inferior de la mordaza, luego coloque la parte superior y centre el conjunto en el aparato de carga.
- s. Aplique carga a la probeta a una velocidad constante de deformación de 50 ± 1 mm/min., hasta que se produzca la falla. El punto de falla queda definido por la carga máxima obtenida. Se define la estabilidad Marshall como el número total de newtons (N) necesarios para producir la falla de la probeta a 60°C , corregida de acuerdo a **Tabla 6.2_70.**
- t. A medida que avanza el ensayo de estabilidad, sujete firmemente el medidor de flujo sobre la barra guía. Cuando se produzca la carga máxima, tome la lectura y anótela. Esta lectura es el valor de la fluidez de la probeta expresada en unidades de 0,25 mm (1/100 pulg). El procedimiento completo, estabilidad y fluencia, comenzando desde el momento en que se retira la probeta del agua, no debe durar más de 30 seg.

6.2.6.8.5. INFORME

Además de la identificación de la obra (nombre del contrato y contratista), identificación y procedencia de los materiales (asfalto y árido) y fecha del ensayo, el informe deben incluir los siguientes:

Carga máxima promedio (newton) de a lo menos 3 probetas, corregidas cuando sea necesario

- a) Valor promedio de la fluidez (0,25 mm) de a lo menos 3 probetas.
- b) Temperatura de mezclado.
- c) Temperatura de compactación.

Tabla 6.2_70. FACTORES DE CORRECCIÓN POR ALTURA PARA ESTABILIDAD MARSHALL

ALTURA (mm)	FACTOR	ALTURA (mm)	FACTOR	ALTURA (mm)	FACTOR	ALTURA (mm)	FACTOR	ALTURA (mm)	FACTOR	ALTURA (mm)	FACTOR
31,5	3.902	36,5	3.030	41,5	2.246	46,5	1.758	51,5	1.435	56,5	1.216
31,6	3.884	36,6	3.014	41,6	2.234	46,6	1.750	51,6	1.430	56,6	1.213
31,7	3.867	36,7	2.999	41,7	2.223	46,7	1.742	51,7	1.425	56,7	1.209
31,8	3.850	36,8	2.983	41,8	2.211	46,8	1.734	51,8	1.420	56,8	1.205
31,9	3.833	36,9	2.968	41,9	2.199	46,9	1.726	51,9	1.415	56,9	1.201
32,0	3.815	37,0	2.952	42,0	2.187	47	1.718	52,0	1.410	57,0	1.198
32,1	3.798	37,1	2.936	42,1	2.175	47,1	1.710	52,1	1.405	57,1	1.194
32,2	3.780	37,2	2.921	42,2	2.163	47,2	1.702	52,2	1.400	57,2	1.190
32,3	3.763	37,3	2.905	42,3	2.151	47,3	1.694	52,3	1.395	57,3	1.187
32,4	3.745	37,4	2.889	42,4	2.139	47,4	1.686	52,4	1.390	57,4	1.184
32,5	3.728	37,5	2.874	42,5	2.128	47,5	1.678	52,5	1.386	57,5	1.181
32,6	3.710	37,6	2.858	42,6	2.116	47,6	1.670	52,6	1.381	57,6	1.178
32,7	3.693	37,7	2.843	42,7	2.104	47,7	1.663	52,7	1.377	57,7	1.174
32,8	3.675	37,8	2.827	42,8	2.092	47,8	1.656	52,8	1.373	57,8	1.171
32,9	3.658	37,9	2.811	42,9	2.080	47,9	1.649	52,9	1.368	57,9	1.168
33,0	3.640	38,0	2.796	43,0	2.070	48,0	1.643	53,0	1.364	58,0	1.165
33,1	3.623	38,1	2.780	43,1	2.060	48,1	1.636	53,1	1.359	58,1	1.162
33,2	3.605	38,2	2.763	43,2	2.050	48,2	1.629	53,2	1.355	58,2	1.159
33,3	3.588	38,3	2.745	43,3	2.040	48,3	1.622	53,3	1.351	58,3	1.156
33,4	3.570	38,4	2.728	43,4	2.030	48,4	1.615	53,4	1.346	58,4	1.153
33,5	3.554	38,5	2.710	43,5	2.020	48,5	1.608	53,5	1.342	58,5	1.149
33,6	3.538	38,6	2.693	43,6	2.010	48,6	1.601	53,6	1.338	58,6	1.146
33,7	3.522	38,7	2.675	43,7	2.000	48,7	1.594	53,7	1.333	58,7	1.143
33,8	3.506	38,8	2.658	43,8	1.990	48,8	1.588	53,8	1.329	58,8	1.140
33,9	3.490	38,9	2.640	43,9	1.980	48,9	1.581	53,9	1.324	58,9	1.137
34,0	3.474	39,0	2.623	44,0	1.970	49,0	1.574	54,0	1.320	59,0	1.134
34,1	3.458	39,1	2.605	44,1	1.960	49,1	1.567	54,1	1.316	59,1	1.131
34,2	3.442	39,2	2.588	44,2	1.950	49,2	1.560	54,2	1.311	59,2	1.128
34,3	3.426	39,3	2.570	44,3	1.940	49,3	1.554	54,3	1.307	59,3	1.124
34,4	3.410	39,4	2.553	44,4	1.930	49,4	1.549	54,4	1.303	59,4	1.121
34,5	3.394	39,5	2.535	44,5	1.920	49,5	1.543	54,5	1.298	59,5	1.118
34,6	3.378	39,6	2.517	44,6	1.912	49,6	1.538	54,6	1.294	59,6	1.115
34,7	3.362	39,7	2.500	44,7	1.904	49,7	1.532	54,7	1.289	59,7	1.112
34,8	3.346	39,8	2.486	44,8	1.896	49,8	1.526	54,8	1.285	59,8	1.109
34,9	3.330	39,9	2.471	44,9	1.888	49,9	1.521	54,9	1.281	59,9	1.106
35,0	3.311	40,0	2.457	45,0	1.879	50,0	1.515	55,0	1.276	60,0	1.103
35,1	3.293	40,1	2.443	45,1	1.871	50,1	1.509	55,1	1.272	60,1	1.099
35,2	3.274	40,2	2.428	45,2	1.863	50,2	1.504	55,2	1.268	60,2	1.096
35,3	3.255	40,3	2.414	45,3	1.855	50,3	1.498	55,3	1.263	60,3	1.093
35,4	3.236	40,4	2.399	45,4	1.847	50,4	1.493	55,4	1.259	60,4	1.090
35,5	3.218	40,5	2.385	45,5	1.839	50,5	1.487	55,5	1.254	60,5	1.087
35,6	3.199	40,6	2.371	45,6	1.831	50,6	1.481	55,6	1.250	60,6	1.084
35,7	3.180	40,7	2.356	45,7	1.823	50,7	1.476	55,7	1.246	60,7	1.081
35,8	3.161	40,8	2.342	45,8	1.814	50,8	1.470	55,8	1.243	60,8	1.078
35,9	3.143	40,9	2.328	45,9	1.806	50,9	1.465	55,9	1.239	60,9	1.074
36,0	3.124	41,0	2.313	46,0	1.798	51,0	1.460	56,0	1.235	61,0	1.071
36,1	3.105	41,1	2.299	46,1	1.790	51,1	1.455	56,1	1.231	61,1	1.068
36,2	3.086	41,2	2.284	46,2	1.782	51,2	1.450	56,2	1.228	61,2	1.065
36,3	3.068	41,3	2.270	46,3	1.774	51,3	1.445	56,3	1.224	61,3	1.062
36,4	3.049	41,4	2.258	46,4	1.766	51,4	1.440	56,4	1.220	61,4	1.059

ALTURA (mm)	FACTOR	ALTURA (mm)	FACTOR	ALTURA (mm)	FACTOR
61,5	1,056	66,4	0,936	71,3	0,834
61,6	1,053	66,5	0,934	71,4	0,832
61,7	1,049	66,6	0,932	71,5	0,830
61,8	1,046	66,7	0,930	71,6	0,829
61,9	1,043	66,8	0,928	71,78	0,828
62,0	1,040	66,9	0,925	71,8	0,826
62,1	1,037	67,0	0,923	71,9	0,825
62,2	1,035	67,1	0,920	72,0	0,824
62,3	1,032	67,2	0,918	72,1	0,823
62,4	1,029	67,3	0,915	72,2	0,821
62,5	1,027	67,4	0,913	72,3	0,820
62,6	1,024	67,5	0,910	72,4	0,819
62,7	1,021	67,6	0,908	72,5	0,818
62,8	1,019	67,7	0,905	72,6	0,816
62,9	1,016	67,8	0,903	72,7	0,815
63,0	1,013	67,9	0,900	72,8	0,814
63,1	1,011	68,0	0,898	72,9	0,813
63,2	1,008	68,1	0,895	73,0	0,811
63,3	1,005	68,2	0,893	73,1	0,810
63,4	1,003	68,3	0,890	73,2	0,808
63,5	1,000	68,4	0,888	73,3	0,806
63,6	0,998	68,5	0,886	73,4	0,804
63,7	0,995	68,6	0,884	73,5	0,802
63,8	0,993	68,7	0,883	73,6	0,800
63,9	0,990	68,8	0,881	73,7	0,798
64,0	0,988	68,9	0,879	73,8	0,796
64,1	0,985	69,0	0,877	73,9	0,794
64,2	0,983	69,1	0,875	74,0	0,792
64,3	0,980	69,2	0,873	74,1	0,790
64,4	0,978	69,3	0,871	74,2	0,788
64,5	0,975	69,4	0,869	74,3	0,786
64,6	0,973	69,5	0,868	74,4	0,784
64,7	0,970	69,6	0,866	74,5	0,782
64,8	0,968	69,7	0,864	74,6	0,780
64,9	0,965	69,8	0,862	74,7	0,779
65,0	0,963	69,9	0,860	74,8	0,778
65,1	0,960	70,0	0,858	74,9	0,776
65,2	0,958	70,1	0,856	75,0	0,775
65,3	0,956	70,2	0,854	75,1	0,774
65,4	0,954	70,3	0,853	75,2	0,773
65,5	0,953	70,4	0,851	75,3	0,771
65,6	0,951	70,5	0,849	75,4	0,770
65,7	0,949	70,6	0,847	75,5	0,769
65,8	0,947	70,7	0,845	75,6	0,768
65,9	0,945	70,8	0,843	75,7	0,766
66,0	0,943	70,9	0,841	75,8	0,765
66,1	0,941	71,0	0,839	75,9	0,764
66,2	0,939	71,138	0,838	76,0	0,763
66,3	0,938	71,2	0,836	76,1	0,761

Nota 2: La estabilidad de la probeta multiplicada por el factor correspondiente a su altura, es igual a la estabilidad corregida para una probeta de 63,5mm.

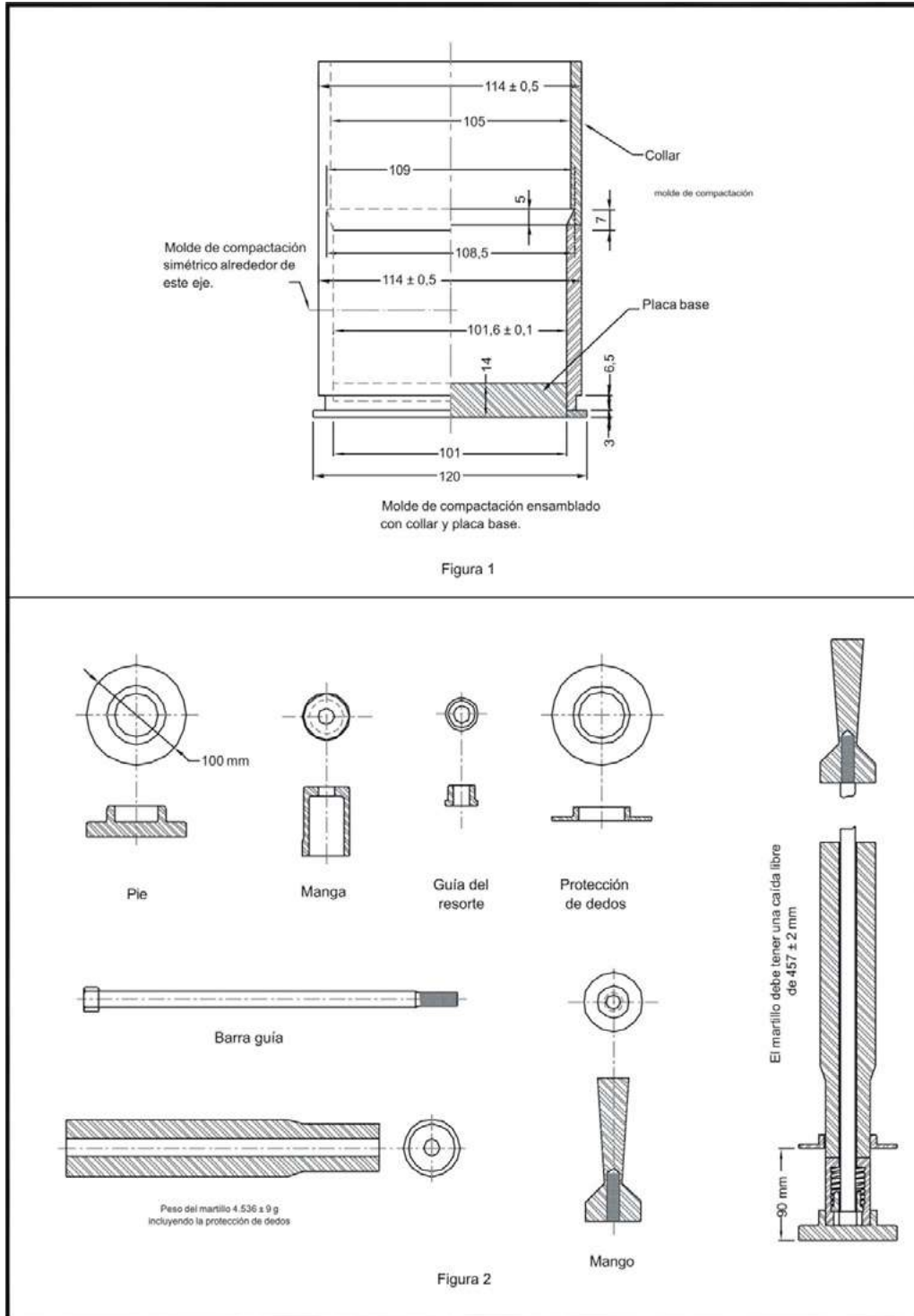


Figura 6.2_66. APARATO DE MARSHALL.

FIGURA 1 - MOLDE DE COMPACTACIÓN.

FIGURA 2 - MARTILLO DE COMPACTACIÓN

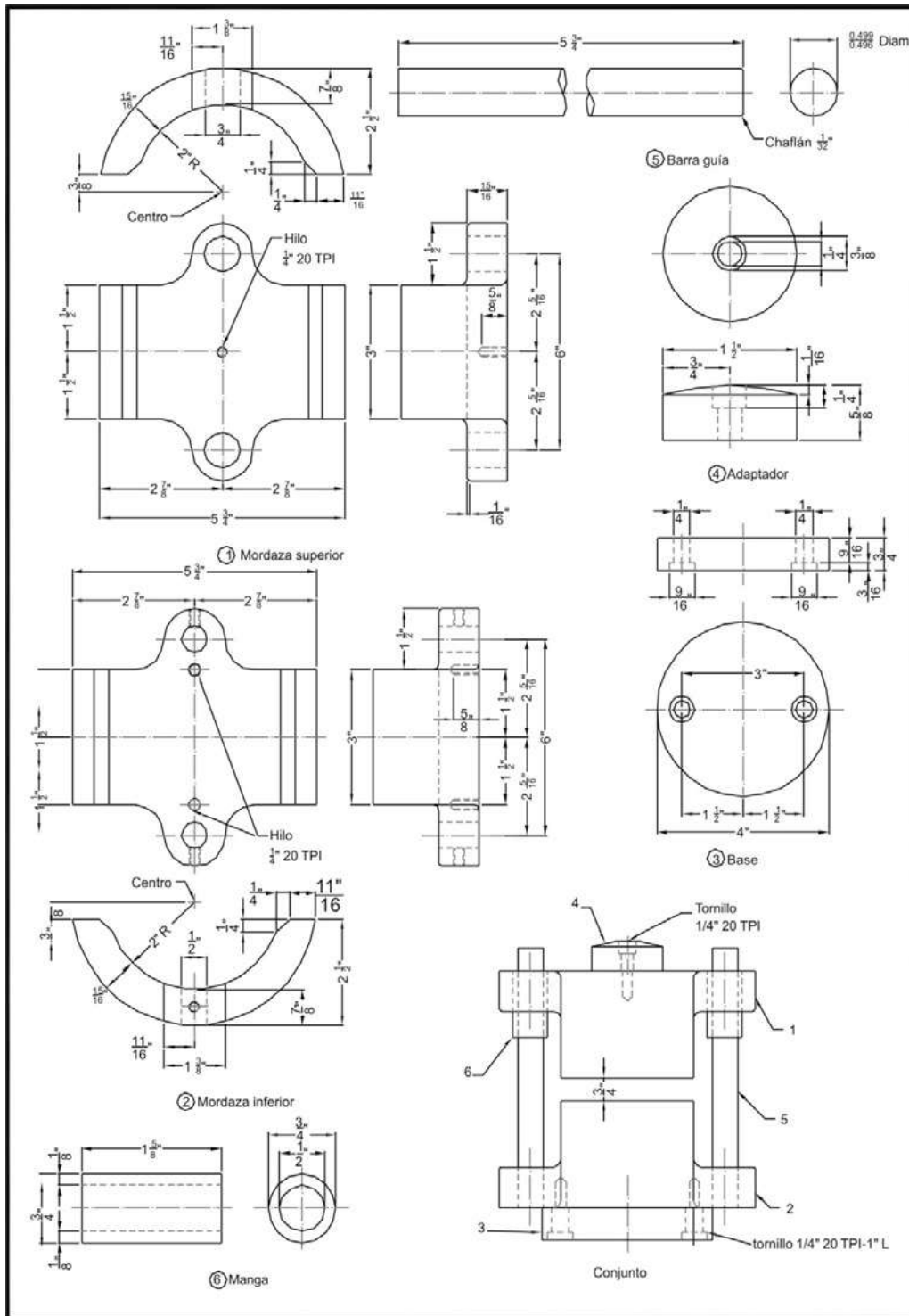


Figura 6.2_67. APARATO DE MARSHALL. MORDAZA

SECCION 6.2.6.9.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE MUESTRAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS (ASTM D 3549)

6.2.6.9.1. OBJETO

Este método permite determinar el espesor o altura de probetas y testigos confeccionados con mezclas asfálticas.

El espesor de un pavimento asfáltico se controla mediante testigos, para verificar que el volumen de mezcla estipulado ha sido efectivamente colocado en obra.

La altura de las probetas confeccionadas en laboratorio se utiliza para corregir los valores de estabilidad Marshall.

6.2.6.9.2. EQUIPO Y MATERIALES

A. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

Para medir utilice un pié de metro, con una precisión de 0,1 mm, digital o análogo.

Nota 1: Dependiendo de los requerimientos de las especificaciones, las mediciones deberán efectuarse con la precisión que se indica:

Cuando se especifique el espesor en cm. las lecturas deberán realizarse con aproximación a 0,1 cm.

Cuando se especifique el espesor en mm, las lecturas deberán realizarse con aproximación a 0,1 mm.

B. OTROS ELEMENTOS

Martillo, cincel, espátula y tiza o lápices de cera para marcar las muestras.

6.2.6.9.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- a. Las muestras de ensayo serán probetas compactadas en laboratorio o testigos de pavimento.
- b. Los testigos se extraerán mediante brocas diamantadas u otro sistema similar apropiado para este fin.
- c. La medición de espesor no debe efectuarse sobre muestras deformadas o quebradas, ya sea producto de la extracción en terreno (caso de testigos) o del desmolde en laboratorio (caso de probetas). Asimismo, no deberán ensayarse las muestras que sufran deterioro durante el almacenamiento previo a la medición.
- d. Las muestras de ensayo deben estar limpias y libres de toda materia extraña adherida.

6.2.6.9.4. PROCEDIMIENTO

- a. En el caso de testigos, cuando la muestra esté compuesta por dos o más capas, la medición del espesor debe efectuarse en el manto del cilindro y de acuerdo al procedimiento que se indica a continuación:
 - a) Coloque el pie de metro de forma que las mordazas de éste queden perpendiculares a los planos correspondientes a las caras inferior y superior de cada una de las capas
 - b) Tome 4 medidas, distanciadas entre ellas en un cuarto de circunferencia (90°). El espesor de la muestra corresponderá a la media aritmética de los 4 valores obtenidos.
 - c) Cuando el espesor promedio obtenido no cumpla con las especificaciones de la obra, tome otras 4 medidas en los puntos medios de las anteriores. El espesor de la muestra será en este caso el promedio de las 8 determinaciones.
- b. En el caso de muestras simples (una sola capa), se procederá de acuerdo a 7 b) y c), cuidando que las mordazas del pie de metro queden apoyadas en las caras inferior y superior de la muestra.

6.2.6.9.5. INFORME

La altura o espesor de las muestras se informará en mm, aproximando al entero más cercano.

El informe deberá incluir, además de la identificación del contrato, el número correlativo del testigo o probeta, fecha de extracción o de confección, según corresponda, su ubicación (kilometraje y pista) en el caso de testigos, fecha de ensayo y la altura o espesor de la muestra expresada en mm.

SECCION 6.2.6.10.

MÉTODO PARA DETERMINAR LA DEFORMACIÓN EN MEZCLAS ASFÁLTICAS UTILIZANDO LA MÁQUINA DE AHUELLAMIENTO(AASHTO TP63-07)

6.2.6.10.1. OBJETO

Este método describe el procedimiento que debe seguirse para determinar la resistencia a la deformación plástica de una mezcla bituminosa, tanto en el caso de mezclas preparadas en laboratorio como en el caso de testigos procedentes de pavimentos construidos.

El ensayo consiste en someter una probeta de mezcla bituminosa (Nota 1), al paso alternativo de una rueda en condiciones determinadas de presión y temperatura, midiéndose periódicamente la profundidad de la deformación producida.

El procedimiento es aplicable principalmente a las mezclas bituminosas fabricadas en caliente y destinadas a trabajar en condiciones severas de tráfico y clima, aunque variando las condiciones del ensayo puede también ser de utilidad en otros tipos de mezclas.

Nota 1: Los moldes y las probetas que se detallan en este método son de forma prismática, aunque el procedimiento general de ensayo puede tener aplicación a probetas de otras formas, siempre que se garanticen convenientemente algunos requisitos como tamaño mínimo, fijación, etc.

6.2.6.10.2. EQUIPO Y MATERIALES

A.CONJUNTO DE COMPACTACIÓN

Está formado por el molde, el collarín y los cuatro angulares construidos en acero, con la forma y dimensiones que se detallan en las Figuras 6.2_68 y 6.2_69.

B.BASE DE COMPACTACIÓN

Esta base está formada por una pieza prismática de hormigón de 60 x 60 x 20 cm como mínimo, y apoyada en una de sus caras mayores sobre un dispositivo de anclaje con amortiguación. Su forma y dimensiones están indicadas en la **Figura 6.2_70**.

C.ELEMENTO COMPACTADOR

La compactación de la mezcla dentro de los moldes se realiza mediante una placa de acero sobre la que van montados dos vibradores iguales, cuyas excéntricas, de 9,5 kg de masa y girando a la velocidad de 314 rad/seg (3.000 r.p.m.), proporcionan en cada uno una fuerza centrífuga de 3 kN (300 kgf), ambos dispuestos de tal forma que sus excéntricas giren hacia el centro de la placa. Su forma y dimensiones se indican en la Figura 6.2_71.

D.DISPOSITIVOS DE EXTENSIÓN Y ENRASE

Para lograr una uniforme y homogénea distribución de la mezcla en el molde, así como un correcto enrasado, se dispondrá de los útiles correspondientes con la forma y dimensiones que se detallan en la **Figura 6.2_72**.

E.MÁQUINA DE ENSAYO

La máquina para el ensayo en pista de laboratorio, cuya forma y dimensiones fundamentales se indican en las Figuras 6.2_73 y 6.2_74, consiste en esencia en un carro móvil de forma rectangular, soportado en cuatro puntos por un sistema horizontal - vertical de ruedas metálicas provistas de cojinetes de bolas, capaces de deslizarse sobre unos perfiles de apoyo en forma de L.

El carro va unido mediante una excéntrica a un motor reductor que produce, al estar en funcionamiento, un movimiento alternativo horizontal de vaivén. Por encima de este carro va situada la rueda de ensayo, montada en un brazo sustentador formado por una pareja de perfiles en L, brazo que en uno de sus extremos va unido, mediante un cojinete horizontal, a un soporte rígido de la máquina, y con su otro extremo libre y provisto de un dispositivo para colocar las pesas que producen las diferentes cargas sobre la rueda.

El carro móvil debe disponer de los elementos necesarios para la sujeción del mismo a la probeta de ensayo, llevando igualmente en uno de sus lados una superficie de medida que permita, mediante un micrómetro de esfera (Nota 2), solidario con la rueda de ensayo, realizar la lectura de las deformaciones verticales que se produzcan en la probeta durante el ensayo. La rueda de ensayo debe ser metálica y dotada de una banda de rodadura de goma maciza de 5 cm de ancho y 2 cm de espesor, con una dureza de 80 en la escala Dunlop. El mecanismo de arrastre del carro móvil debe estar diseñado para permitir una frecuencia del movimiento de vaivén de 42 ± 1 pasadas por minuto y un recorrido en cada sentido de $23 \pm 0,5$ cm.

Nota 2: Un micrómetro con un recorrido de 20 mm y graduado en 0,1 mm. Además deberá ir provisto del dispositivo de frenado del desplazamiento máximo del vástago.

F.CÁMARA TERMOSTATIZADA

Para lograr que la temperatura sea constante durante el ensayo, se dispondrá de una cámara que permita alojar la máquina y mantener esta temperatura durante todo el ensayo con una variación máxima de $\pm 1^{\circ}$ C. Un modelo apropiado puede ser el fabricado con perfiles metálicos y paneles aislantes, con la forma y dimensiones que se sugieren en la Figuras 6.2_75. En uno de sus frentes llevará una ventana abatible transparente para permitir durante el ensayo la lectura del micrómetro y de la temperatura. En uno de sus lados está situada la puerta de acceso de la máquina, para la colocación y extracción de la probeta. En el interior irá colocado el elemento calefactor, con termostato regulable desde el exterior, y dos ventiladores, uno situado detrás de dicho elemento y el otro en posición lateral, con su eje perpendicular al del primero, para una mejor homogeneización de la temperatura en el interior de la cámara.

G.HORNO

Para el calentamiento de los áridos, material bituminoso y moldes, se dispondrá de uno o más hornos adecuados, provistos de termostato y capaces de mantener las temperaturas especificadas con un error menor que 3° C.

H.MEZCLADORA

Es recomendable que la operación de mezclado de los materiales se realice en una mezcladora mecánica, pudiendo utilizarse de cualquier tipo, siempre y cuando sea de la capacidad adecuada y permita mantener la temperatura de la mezcla dentro de los límites exigidos. Deberá ser capaz además de producir una mezcla uniformemente cubierta y homogénea en el tiempo prescrito, sin producir alteraciones en la granulometría y

permitiendo un vertido correcto de la mezcla fabricada. Si el mezclado se realiza manualmente, se empleará un recipiente de tamaño adecuado, tomando las precauciones necesarias para evitar los sobrecalentamientos locales.

I. TERMÓMETROS

Para las medidas de las temperaturas de los áridos, ligante y mezcla bituminosa, se recomienda el empleo de termómetros con escala de 0 a 200° C y sensibilidad mínima de 3° C.

J. BALANZAS

Para pesar los áridos se utilizarán balanzas con la capacidad suficiente y una precisión mínima de 5 g. Para pesar el filler y el ligante bituminoso se dispondrá de balanzas de precisión igual o menor que 1 g.

K. MATERIAL GENERAL

Bandejas, espátulas, poruñas, guantes, etc.

6.2.6.10.3. PROCEDIMIENTO

A. FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS

- a) Número de probetas. Fabrique para cada ensayo un mínimo de tres probetas por cada variable (contenido de ligante, temperatura, presión de contacto, etc.) que se deseen estudiar.
- b) Masa de las probetas. Calcule la cantidad de mezcla necesaria para cada probeta a partir de los valores correspondientes al volumen del molde y a la densidad relativa Marshall de la mezcla, para cuya aplicación siga los siguientes criterios:
 - En mezclas densas y semidensas (tráficos pesados y medios), tome para la densidad de la muestra el 97% como mínimo de la densidad Marshall correspondiente, obtenida según Método AM0608.
 - En las restantes mezclas base el cálculo en el 95% de la densidad Marshall, obtenida según **Sección 6.2.6.8**.
- c) Preparación de los áridos. Las fracciones que compongan la mezcla de áridos deben ser secadas completamente en horno a una temperatura entre 105 y 110 ° C.
- d) Temperaturas de mezclado y compactación. Para el mezclado y compactación de las probetas las temperaturas elegidas estarán en función de la viscosidad del ligante. En el caso de emplear un betún asfáltico, estas viscosidades serán de 170 ± 20 cSt en el proceso de mezclado, y de 280 ± 30 cSt en el de compactación. Si se utiliza como aglomerante alquitrán, las viscosidades respectivas serán de 25 ± 3 grados Engler para la mezcla y 40 ± 5 grados Engler para la compactación.
- e) Fabricación de la mezcla. Pese sucesivamente en un recipiente tarado las cantidades de cada fracción de áridos necesarias para la fabricación de una probeta, según los criterios expuestos en 15 b). A continuación, caliente la masa total de áridos en el horno a una temperatura de unos 30° C superior a la determinada para el mezclado según 15 d), calentando simultáneamente el ligante a la temperatura necesaria según este mismo apartado. Cuando ambos materiales estén a sus respectivas temperaturas, vierta los áridos en el recipiente de mezclado y realice un primer mezclado en seco para efectos de homogeneización; cuando los áridos hayan alcanzado la

temperatura de mezclado según 15 d), añada rápidamente la cantidad necesaria de ligante (Nota 3), realizando seguidamente la mezcla hasta conseguir un mezclado completo y homogéneo, no debiéndose emplear en esta operación más de 2 min.

Nota 3: El ligante no deberá mantenerse a su temperatura de mezclado por más de 1 h.

- f) Compactación de la mezcla. Caliente el molde y el collarín en el horno a una temperatura de unos 15° C superior a la de compactación. Una vez calientes, coloque el molde sobre la base de compactación en su anclaje y monte el collarín. A continuación, vierta la mezcla ya preparada en el molde, a una temperatura superior a la de compactación, de 10 °C como mínimo, evitando la segregación del material, y distribuyéndola uniformemente y enrasándola con los útiles correspondientes.

Sobre la mezcla ya nivelada coloque el elemento compactador y realice una compactación inicial de 75 seg de duración. Terminada la compactación desmonte el collarín y sustitúyalo por los cuatro angulares colocados en los vértices del molde. A continuación, complete el proceso de compactación mediante otros tres períodos de 75 seg cada uno, realizados girando, en el mismo sentido y sucesivamente en 90° el elemento compactador con respecto de la posición inicial. La compactación puede aceptarse como correcta siempre y cuando la altura de la probeta esté dentro de ± 2 mm respecto a los bordes del molde. Una vez finalizada la compactación, deje enfriar la mezcla a temperatura ambiente durante un período mínimo entre 12 y 24 h antes de ensayarla.

- g) Determinación de la densidad. Si se desea comprobar la densidad alcanzada por la probeta, se puede proceder al desmolde de ésta una vez enfriada (Nota 4). Su masa se determina mediante la balanza y su volumen por medidas geométricas de sus dimensiones. Deberán tomarse las precauciones necesarias para no alterar la probeta durante esta manipulación, debido a su forma y masa, volviéndola a colocar dentro del molde y, en la misma posición relativa que tenía, lo más rápidamente posible.

Nota 4: Si se dispone de una balanza de suficiente capacidad para determinar la masa total de la probeta y el molde, puede realizarse esta determinación sin necesidad de desmoldar la probeta, conociendo previamente la masa del molde vacío y sus dimensiones interiores.

- h) Testigo del pavimento: Cuando se tengan que ensayar testigos procedentes de un pavimento ya construido, si éstos son de gran tamaño, ponga un especial cuidado en su almacenamiento y manejo, evitando deformaciones de la muestra que pudieran alterar su geometría inicial. Sus dimensiones para el ensayo deben ser algo inferiores a las del molde, fijándolo a éste con algún material adecuado y procurando un asentamiento firme y duradero sobre la base. Evite cualquier movimiento o rotura durante el ensayo y mantenga la superficie de ensayo en el mismo plano horizontal del molde.

B. REALIZACIÓN DEL ENSAYO

- a) Temperatura del ensayo. La temperatura normalizada para el ensayo debe ser de 60 $\pm 1^\circ$ C para todo tipo de mezclas y zonas climáticas. No obstante, pueden utilizarse otras temperaturas en estudios o ensayos especiales que así lo requieran.
- b) Presión de contacto de la rueda. La presión de contacto normalizada, ejercida por la rueda cargada sobre la superficie de la probeta durante todo el ensayo, es de 900 ± 25 kN/m² (9 $\pm 0,25$ kgf/cm²), para todo tipo de mezclas y zonas climáticas. Sin embargo, en casos especiales o cuando así se requiera, pueden utilizarse otras presiones de contacto.

- c) Ejecución del ensayo. Después del período de enfriamiento de la mezcla, detallado en 15 (f), introduzca las probetas en un horno regulado a $60 \pm 2^\circ \text{C}$ durante 4 h como mínimo, antes de ejecutar el ensayo. Conecte el sistema de calefacción de la cámara termostatzada, 2 h antes de comenzar, regulándolo a la temperatura del ensayo. Transcurrido este tiempo, saque la primera probeta del horno, levante la rueda (Nota 5) y fije el molde con la probeta en los anclajes que para este fin lleva el carro móvil, sin que la rueda toque en ningún momento la superficie de la probeta. En estas condiciones cargue el brazo soporte con las pesas necesarias para conseguir la presión especificada, cierre la cámara y espere unos 30 min. con objeto de homogeneizar la temperatura del ensayo. Seguidamente, apoye la rueda cargada sobre la superficie de la probeta y ponga en marcha el carro durante 3 pasadas completas, para conseguir un asentamiento de la rueda sobre la probeta.

A continuación, detenga el carro y sitúelo en el punto de medida del micrómetro, ponga éste en cero. Cierre entonces la ventana lateral, y transcurridos unos 5 min. comience el ensayo, poniendo en movimiento el carro durante un período de 120 min. sin interrupciones, tomando las correspondientes lecturas de la deformación según 17 a). Una vez finalizado el ensayo detenga la máquina, levante la rueda (Nota 5) y extraiga la probeta ensayada colocando seguidamente la siguiente y repitiendo el mismo procedimiento de ensayo anterior.

Nota 5: Para que no estorbe durante la operación de montaje y desmontaje de la probeta, es conveniente disponer de algún dispositivo que permita mantener la rueda levantada.

6.2.6.10.4. CÁLCULOS

A.OBTENCIÓN DE LOS RESULTADOS

- a) Determine y anote las deformaciones totales leídas en el micrómetro en los minutos 1, 3 y 5 contados a partir del comienzo del ensayo; a continuación, cada 5 min. hasta completar 45 min. y, a partir de ahí, cada 15 min. hasta finalizar los 120 min. de duración del ensayo.
- b) Ensayadas todas las probetas, calcule los valores medios de todas las deformaciones registradas según 17 a). Los valores medios se presentan en un gráfico Deformación - Tiempo y dibuje la curva de deformación de la mezcla.
- c) A partir de las deformaciones d_t determinada en el gráfico, correspondientes a los tiempos t de ensayo, calcule la velocidad de deformación media correspondiente al intervalo de tiempo t_2/t_1 , parámetro que se expresa en 10^{-3} mm/min, mediante la fórmula:

$$V_{t_2/t_1} = \frac{(d_{t_2} - d_{t_1})}{t_2 - t_1}$$

Donde:

V_{t_2/t_1} : Velocidad de deformación media correspondiente al intervalo de tiempo t_2/t_1 .

d_{t_1} y d_{t_2} : deformaciones, correspondiente a los tiempos de ensayo t_1 y t_2 .

6.2.6.10.5. 2 INFORME

Los resultados del ensayo deben incluir la siguiente información:

- a) Tipo y características de la mezcla.
- b) Origen de la mezcla (laboratorio, obra, testigo, etc.).
- c) Temperatura del ensayo.
- d) Presión de contacto.
- e) Deformación total al final del ensayo (mm).
- f) Representación gráfica de la curva deformación – tiempo.
- g) Velocidades de deformación en aquellos intervalos de tiempo en los que se manifieste claramente el comportamiento de la mezcla en el ensayo, como pueden ser:
 - Velocidad en el intervalo 30 a 45 min. (V30/45).
 - Velocidad en el intervalo 75 a 90 min. (V75/90).
 - Velocidad en el intervalo 105 a 120 min. (V105/120)

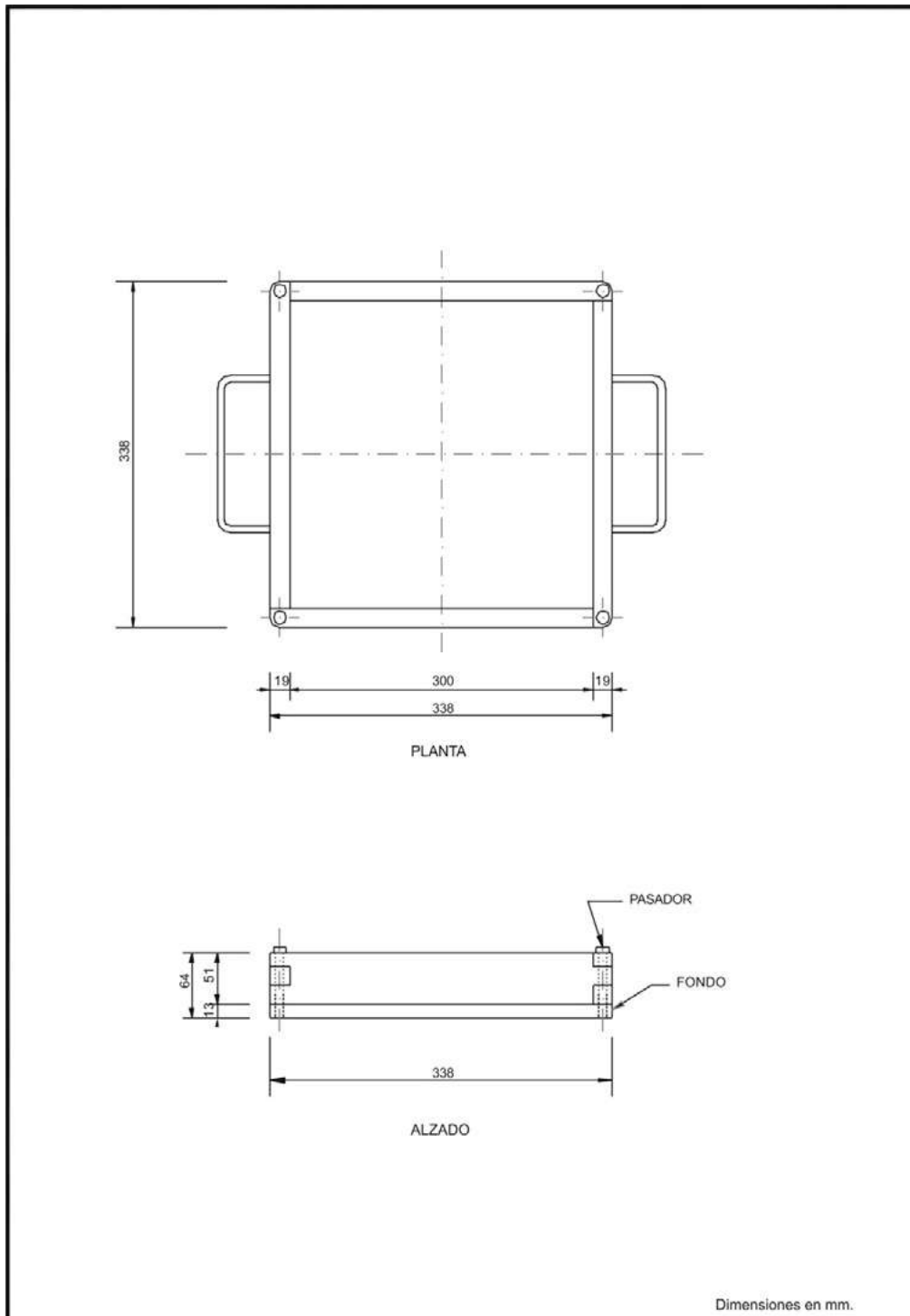


Figura 6.2_68. MOLDE

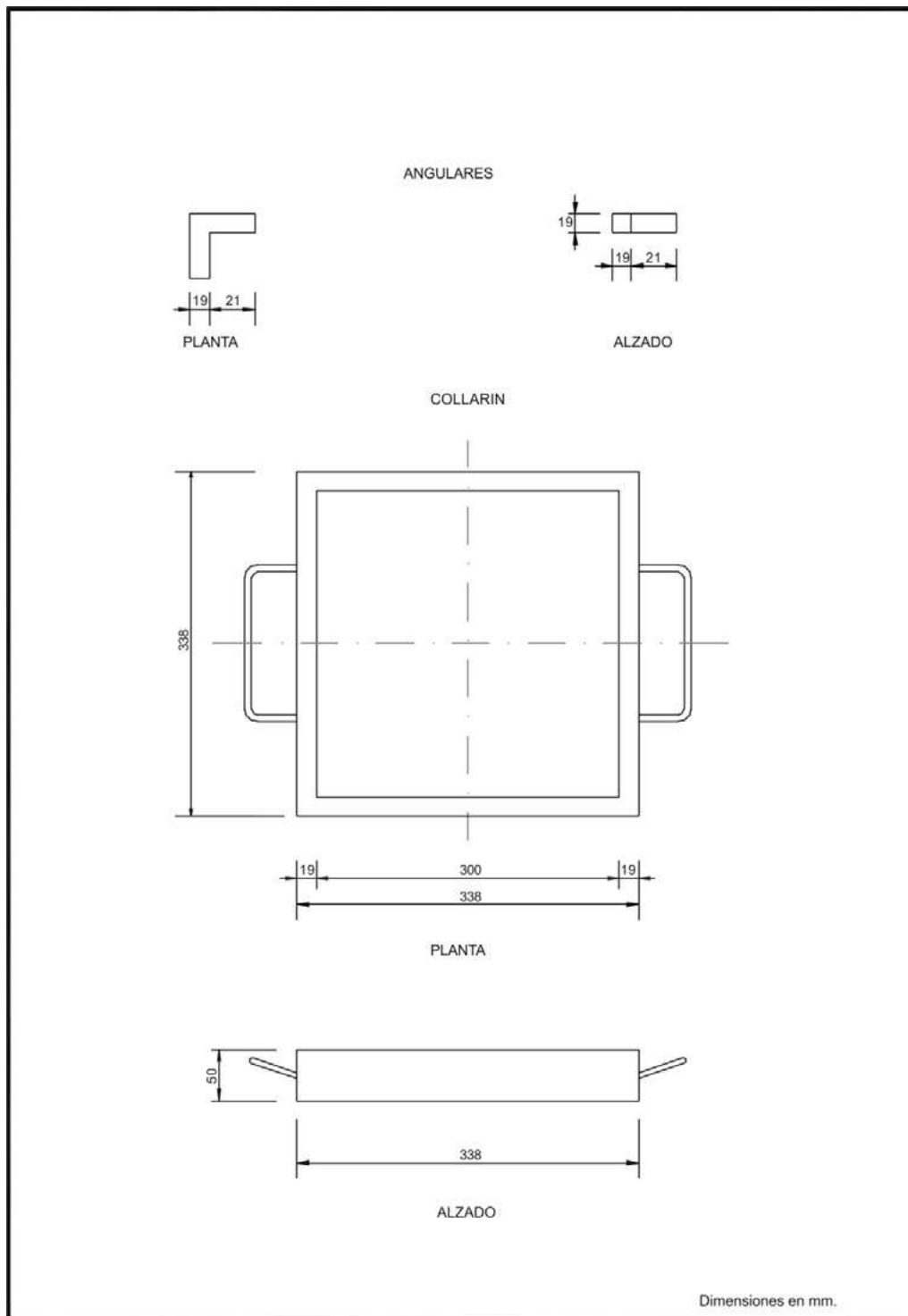


Figura 6.2_69. ANGULARES Y COLLARÍN

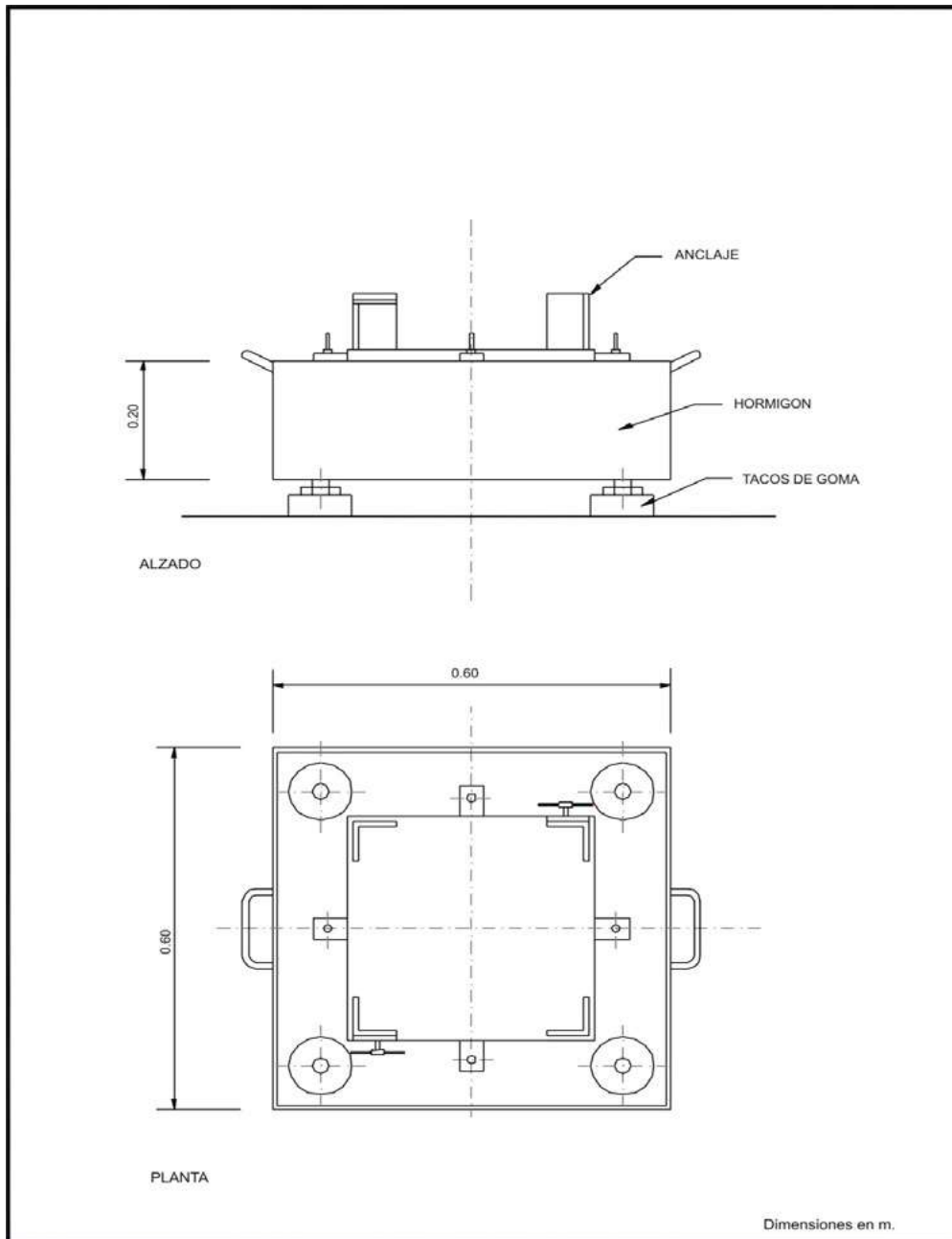


Figura 6.2_70. BASE DE COMPACTACIÓN

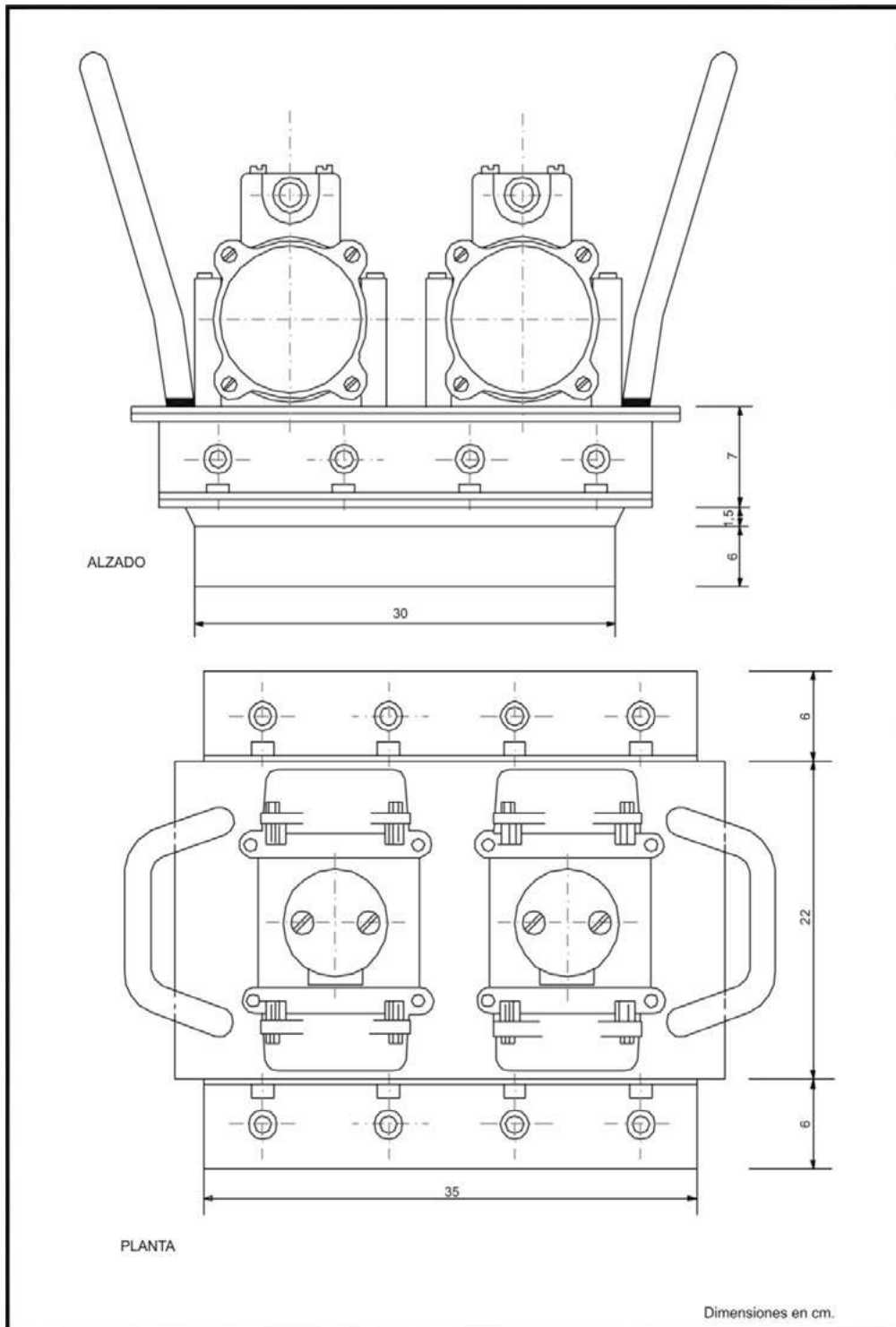


Figura 6.2_71. ELEMENTO COMPACTADOR

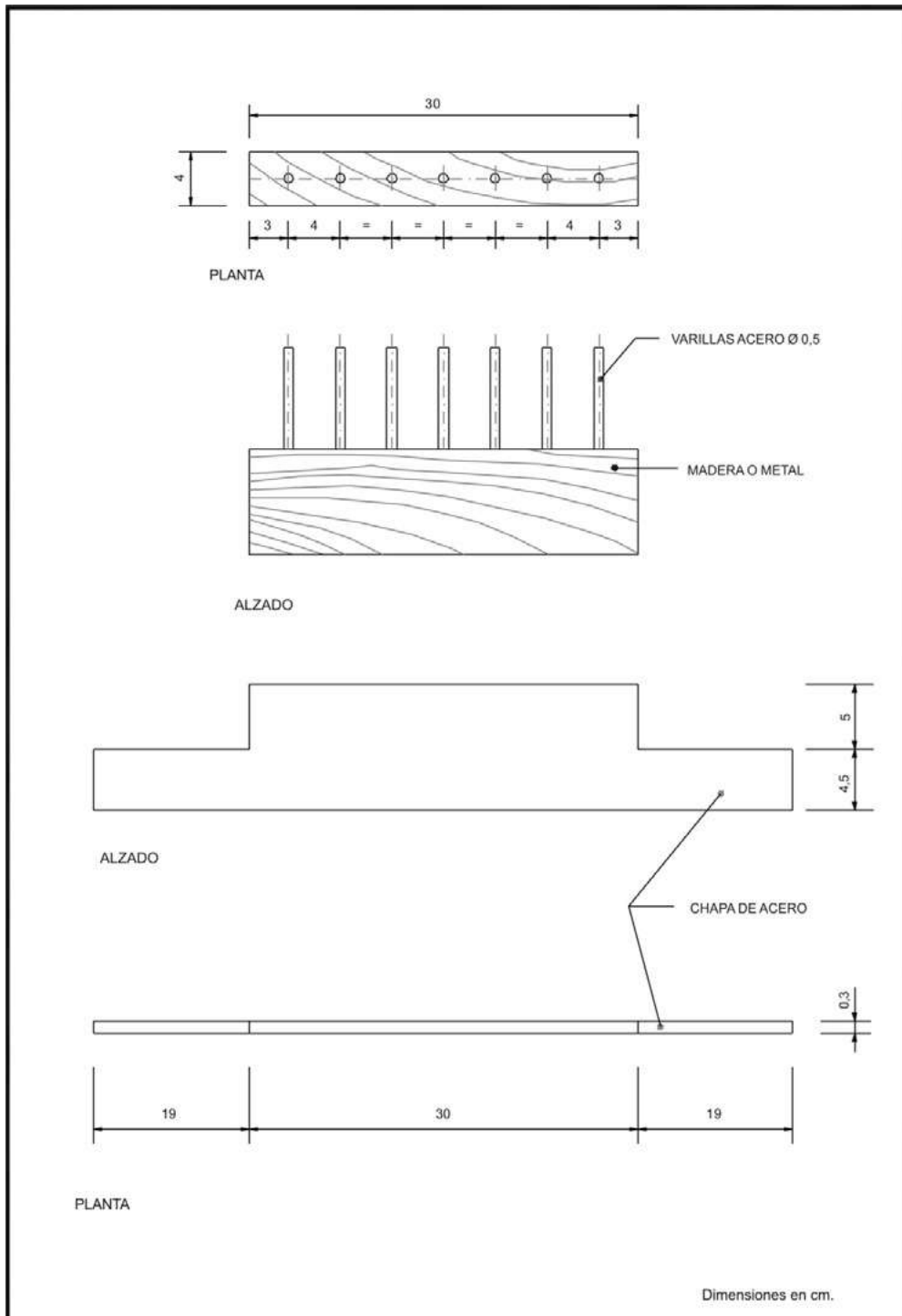


Figura 6.2_72. APARATOS DE EXTENSIÓN Y ENRASE

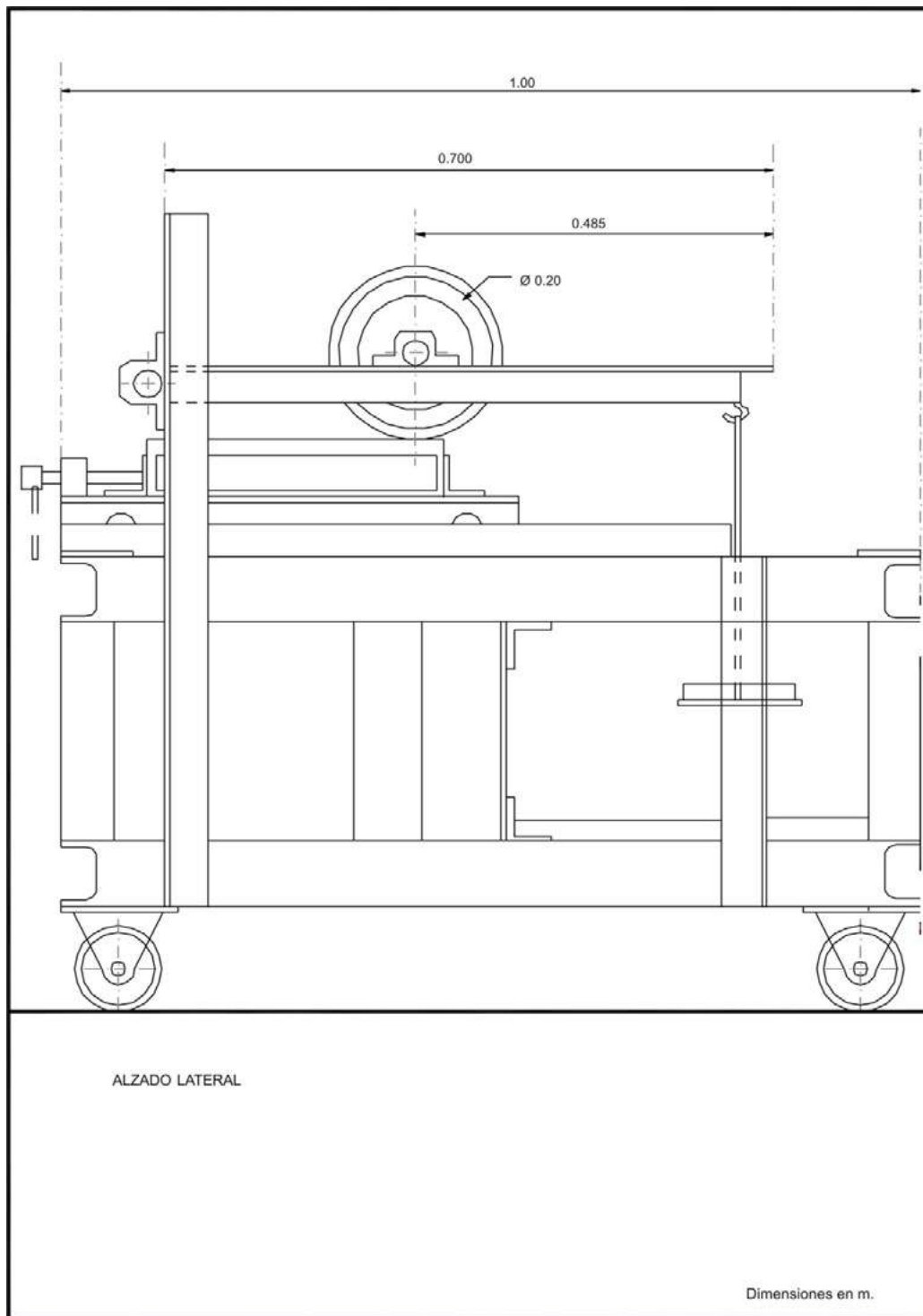


Figura 6.2_73. MÁQUINA DE ENSAYO

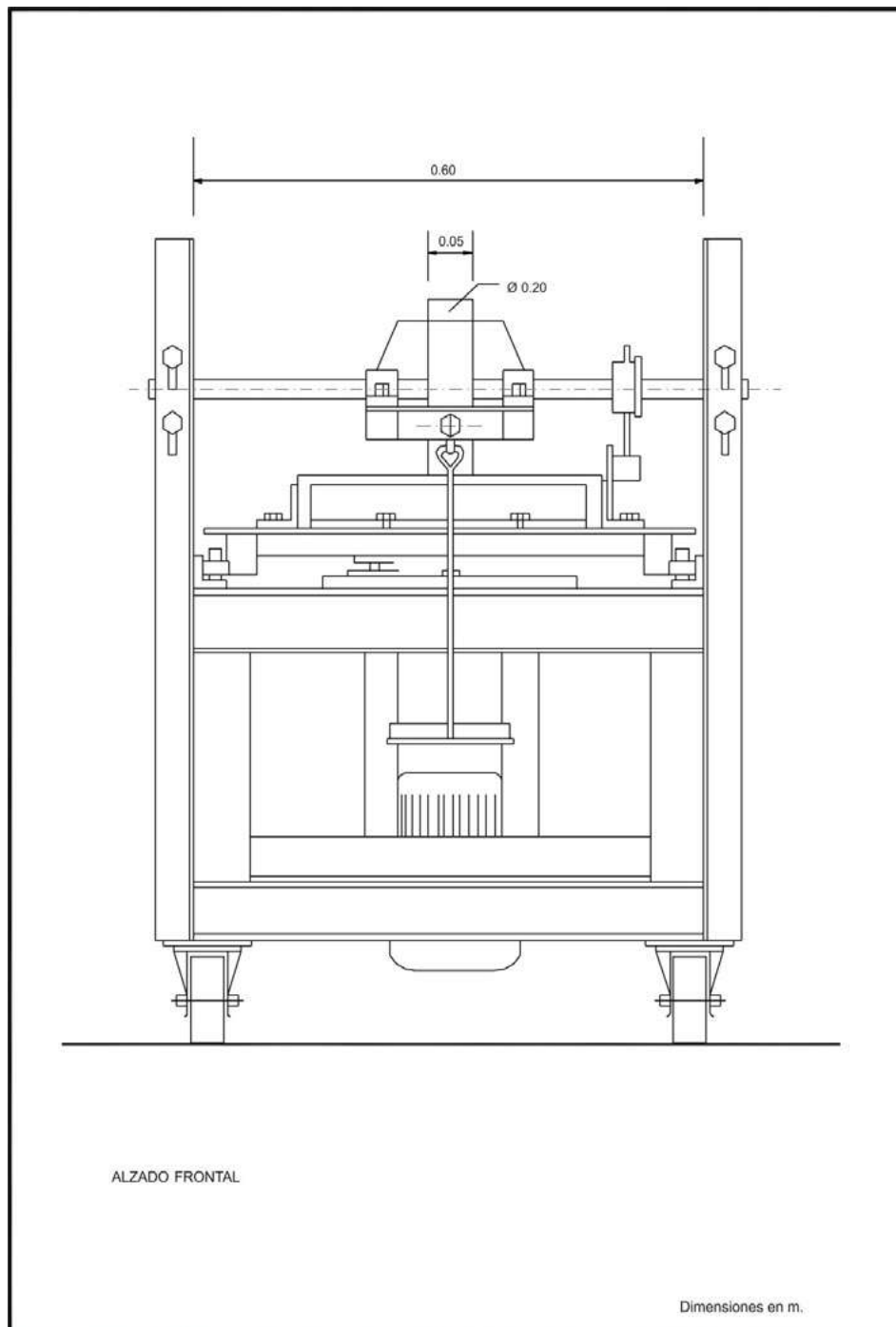


Figura 6.2_74. MÁQUINA DE ENSAYO

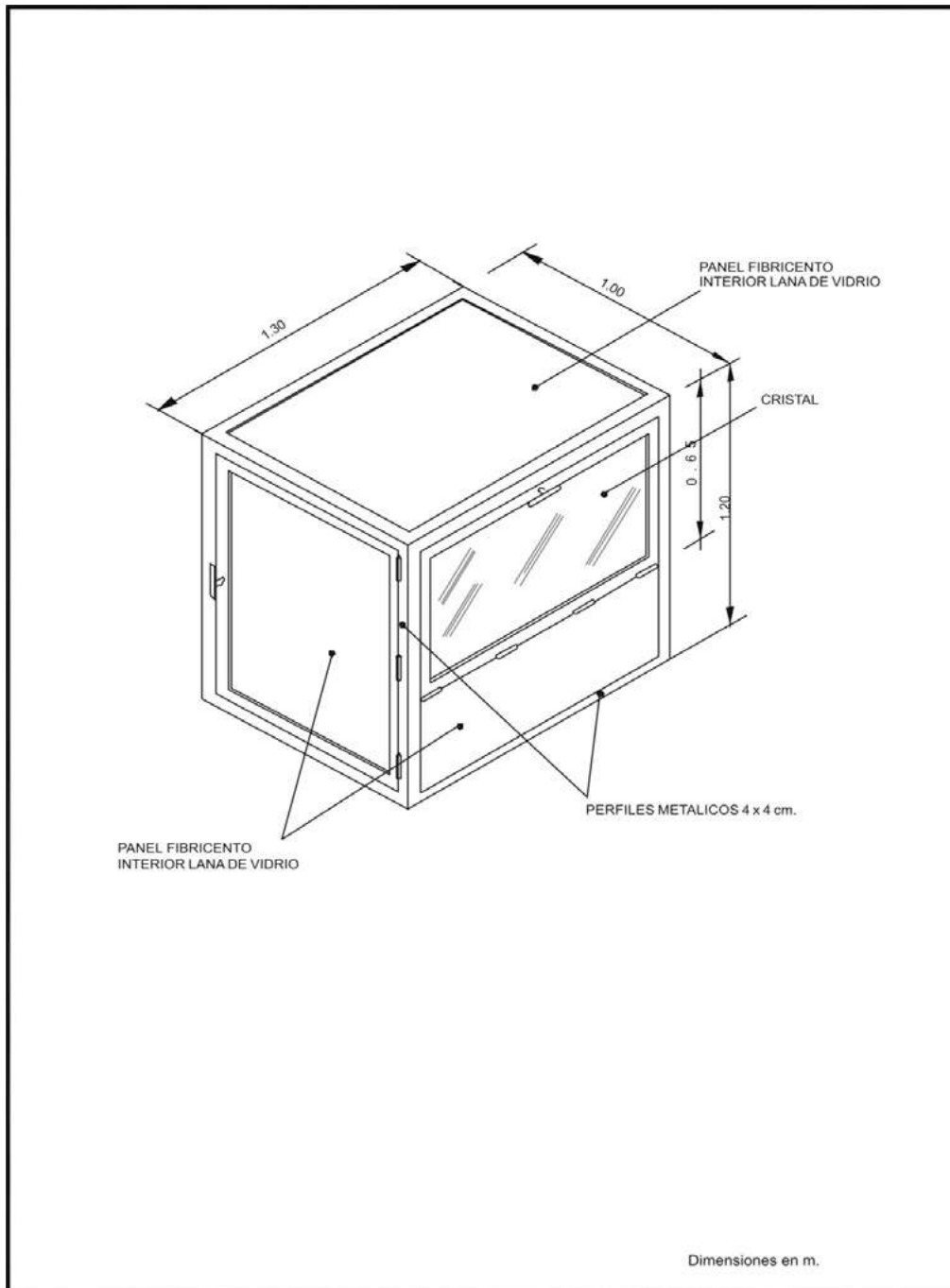


Figura 6.2_75. CÁMARA TERMOESTATIZADA

SECCION 6.2.6.11.

MÉTODO SCHULZE-BREUER Y RUCK PARA DETERMINAR LA COMPATIBILIDAD FILLER LIGANTE ASFÁLTICO

6.2.6.11.1. OBJETO

Este método establece la determinación de la compatibilidad relativa entre un filler de graduación específica y un asfalto, ya sea cemento asfáltico o el residuo de una emulsión asfáltica.

Provee un sistema de clasificación o graduación para pérdidas por abrasión, adhesión y características de cohesión a altas temperaturas de una combinación específica filler - ligante asfáltico, para ser comparadas con valores de combinaciones de referencia. Estos valores de ensayo pueden relacionarse con el desempeño en terreno de mezclas para pavimentos.

6.2.6.11.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A.EQUIPOS

- a. Espátula adecuada para el mezclado y un bol o paila para contener 200 g de mezcla.
- b. Balanza con una precisión tal que sea capaz de medir $0,01 \pm 0,005$ g.
- c. Horno de tiro forzado ajustado a 60° C, que cumpla con **ASTM E145**.
- d. Agua a temperatura ambiente, $25 \pm 3^{\circ}$ C.
- e. Moldes consistentes de una base, un cuerpo cilíndrico de diámetro interior 30 mm por 70 mm de altura y un pisón de 29 mm de diámetro.
- f. Prensa de fuerza constante capaz de ejercer una fuerza constante de 1000 kg (2204 lb).
- g. Cilindros de vaivén, consistentes en tubos acrílicos de 60 mm de diámetro interno por 400 mm de largo (interno), que contengan un volumen de 1100 ± 25 ml, cerrado en ambos extremos con tapa metálica hermética, uno de los cuales debe ser fácilmente removible.
- h. Máquina de abrasión, capaz de sostener al menos 2 pares de cilindros de vaivén y rotarlos alrededor del eje central a 20 rpm.
- i. Cestos galvanizados de 6 mm (1/4") de espesor, de 50 mm de diámetro por 50 mm de alto, con un adecuado sistema de sujeción para sumergirlos en agua hirviendo.

B.MATERIALES

- j. El agua debe ser potable y sin sólidos disueltos nocivos. Para propósitos de referencia se usa agua destilada.
- k. La emulsión asfáltica debe ser homogeneizada y tamizada en malla de 0,85 mm (Nº 20) para remover cualquier grumo o coágulo.
- l. Aditivos como cemento Portland, cal hidratada, sulfatos de amonio o aluminio, retardadores o aceleradores comerciales, se usarán como se desee. En ausencia de estos aditivos, se usará un 1% de cemento Portland tipo 1 como referencia estándar.

- m. Se puede utilizar cemento asfáltico solo o en combinación con aditivos, tales como agentes mejoradores de adhesión, en combinación con un 50% de solvente de bajo punto de ebullición, en una solución no inflamable, para facilitar el mezclado a 60°C.
- n. El árido debe ser tamizado en seco y remezclado según las proporciones de la Tabla 6.2_71
- o. Cuando el árido no sea remezclado y se elimine el material mayor a 2 mm (malla N° 10) tal como se recibe, los resultados deben indicar que el ensayo se realizó en tal condición.

Tabla 6.2_71. GRADUACIÓN DE ÁRIDO PARA ENSAYO SCHULZE-BREUER AND RUCK

Tamiz		% material
ASTM	Mm	
30 – 10	0,60 - 2,00	35
50 – 30	0,30 - 0,60	25
200 – 50	0,075 - 0,30	22
bajo 200	bajo 0,075	18

6.2.6.11.3. PREPARACIÓN DE LA MEZCLA

- a. Agregue al bol de mezclado 200 g de árido preparado, 2 g (1% en peso) de cemento Portland tipo 1 o la cantidad deseada de cemento y/u otro aditivo y suficiente agua para producir una lechada trabajable (aprox. 50 g). Premezcle completamente antes de agregar la emulsión.
- b. Agregue el equivalente a $8,125 \pm 0.1$ % de asfalto puro (12,5 % de emulsión de 65% de residuo asfáltico) y mezcle hasta que quiebre. Transfiera la lechada ya quebrada y desmenuzada a una bandeja seca y déjela curar a temperatura ambiente un mínimo de 1 h. Luego seque hasta peso constante en un horno de tiro forzado a 60°C (pueden requerirse alrededor de 18 h).
- c. Coloque 40 ± 1 g de mezcla seca, desmenuzada uniformemente en el molde precalentado a 60° C e inmediatamente, compacte la mezcla en la prensa de carga por 1 min. a una presión de 1.000 kg (2204 lb). Remueva la pastilla resultante del molde y enfríe a temperatura ambiente.

6.2.6.11.4.2 PROCEDIMIENTO

- a. Remueva cualquier material suelto de la pastilla y pese, aproximando a 0,01 g. Sumerja en un baño de agua a $25 \pm 3^\circ$ C durante 6 días.
- b. Retire la pastilla del baño de agua y seque la superficie con una toalla de papel secante de superficie dura hasta que no aparezcan manchas de humedad en la toalla. Inmediatamente pese, aproximando a 0,01 g, y determine el peso de agua absorbida, registrándolo como “Absorción”.
- c. Llene el cilindro de vaivén con 750 ± 25 ml de agua potable (2/3 de capacidad), coloque la pastilla en su interior, reponga el extremo removible para cerrar el cilindro y colóquelo fijamente en la máquina de abrasión.
- d. Active la máquina de abrasión por 3 h. \pm 3 min. a 20 rpm (3.600 ciclos). Cada media vuelta la pastilla caerá a través del agua y golpeará la parte inferior.

- e. Después de 3.600 ciclos de abrasión, retire la pastilla desde el cilindro de vaivén y seque su superficie tal como se indica en 20 e inmediatamente pese, aproximando a 0,01 g para determinar la pérdida de peso. Registre como “Pérdida por Abrasión”.
- f. Coloque la pastilla en el cesto y sumerja en un contenedor con agua hirviendo por 30 min.
- g. Coloque la pastilla o lo que quede de él sobre una toalla de papel absorbente. Cuando esté superficialmente seca, pese la masa de la partícula más grande y regístrela como un porcentaje de la píldora saturada original. Este porcentaje es el valor de la cohesión a la temperatura más alta o simplemente la “Integridad”.
- h. Seque la probeta a temperatura ambiente por 24 h. Estime visualmente el porcentaje de partículas de filler que están completamente cubiertas con asfalto. Este porcentaje de cobertura relativa se registra como “Adhesión”.

6.2.6.11.5. INFORME

Para cada ensayo se debe informar el promedio de resultados de 4 probetas, incluyendo:

- a) Fecha de inicio y término del ensayo.
- b) Tipo de materiales utilizados.
- c) Dosis de cada material utilizado.
- d) Absorción: gramos absorbidos.
- e) Pérdida de abrasión: gramos perdidos.
- f) Adhesión: porcentaje de ligados.
- g) Integridad: porcentaje de masa retenida.

Tabla 6.2_72. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN FILLER – ASFALTO.

Grado de clasificación, cada ensayo	Punto de clasificación, cada ensayo	Pérdida por abrasión, g	Adhesión % cubierto	Integridad % retenido
A	4	0 - 0,7	90 - 100	90 - 100
B	3	0,7 - 1,0	75 - 90	75 - 90
C	2	1,0 - 1,3	50 - 75	50 - 75
D	1	1,3 - 2,0	10 - 50	10 - 50
0	0	2,0 +	0	0

SECCION 6.2.6.12.

MÉTODO PARA DETERMINAR IN SITU LA PERMEABILIDAD DE PAVIMENTOS DRENANTES

6.2.6.12.1. OBJETO

Este método describe el procedimiento que debe seguirse para la realización de medidas de permeabilidad in situ en mezclas drenantes utilizadas en capas de rodadura y banquetas.

6.2.6.12.2. EQUIPOS Y MATERIALES

Permeámetro LCS o de carga variable, representada en la **Figura 6.2_76** y constituido básicamente por los siguientes elementos:

- Una base de apoyo formada por una placa rígida circular de acero, de 165 mm de diámetro y 10 mm de espesor, con un orificio circular en su centro de 40 mm de diámetro.
- Un tubo cilíndrico circular, de 40 mm de diámetro exterior, 30 mm de diámetro interior y 45 mm de altura, embutido, como se indica en la figura, en el orificio circular de la base de apoyo.
- Un tubo cilíndrico transparente de 94 mm de diámetro interior y unos 500 mm de altura, unido rígidamente y con cierre estanco a la base de apoyo. El tubo debe tener marcadas dos señales de medida, grabadas en todo su perímetro y situadas respectivamente a 100 y 350 mm desde el fondo de la base de apoyo.
- Un peso teórico de $20 \pm 0,5$ kg de masa, cuyo orificio y base permitan un apoyo estable sobre la base circular.
- Un anillo circular estanco de caucho celular de 16 mm de espesor, que se adapte perfectamente a las irregularidades superficiales del pavimento para impedir el escape superficial del agua durante el ensayo.

Una reserva de agua de al menos 20 l por ensayo

Un cronómetro que tenga una precisión de 0,5 seg.

6.2.6.12.3. PROCEDIMIENTO

- a. Sitúe el Permeámetro en el punto elegido para el ensayo y coloque el peso teórico sobre la base.
- b. A continuación, llene de agua el tubo transparente del Permeámetro hasta unos 15 cm. por encima de la marca superior de medida y luego deje que se vacíe para mojar y saturar el pavimento en la zona de ensayo.

- c. Seguidamente, vuelva a llenar de la misma forma el permeámetro y anote el tiempo de evacuación, en segundos, que tarda el nivel de agua en descender desde la marca superior de medida hasta la inferior.

6.2.6.12.4. CÁLCULOS

Los resultados del ensayo realizado sobre un punto del pavimento corresponden al tiempo en segundos obtenido según el punto 6.

6.2.6.12.5. INFORME

Registrar el tiempo obtenido en la sección de Cálculos.

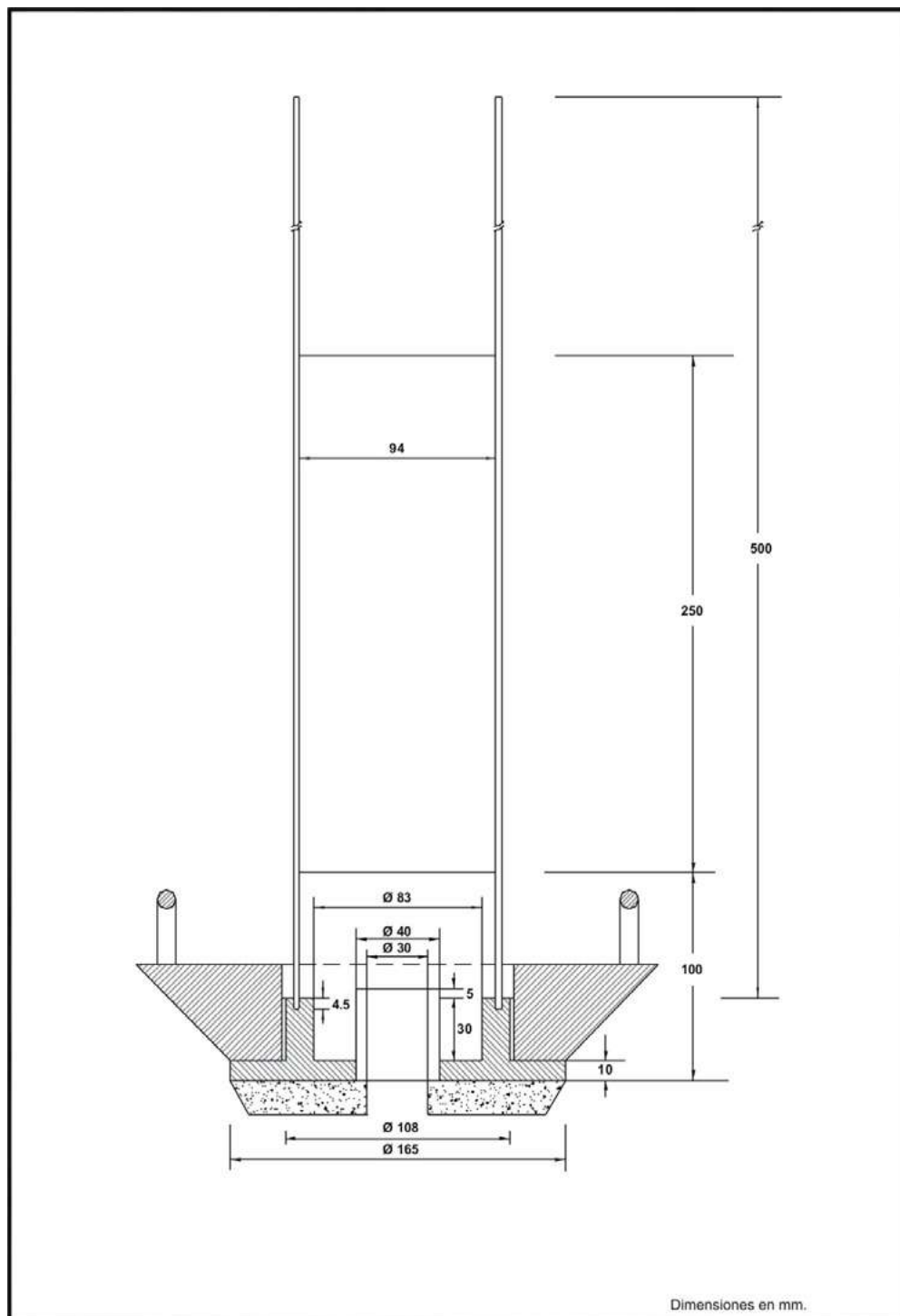


Figura 6.2_76. PERMEÁMETRO L.C.S

SECCION 6.2.6.13. | MÉTODO DE DISEÑO MARSHALL

6.2.6.13.1. OBJETO

Este procedimiento es aplicable a mezclas en caliente con cementos asfálticos que contengan áridos con tamaño máximo absoluto igual o inferior a 25 mm. Se puede usar tanto para el diseño en laboratorio como en el control de terreno, y describe una metodología para determinar el óptimo de asfalto en las mezclas.

6.2.6.13.2. DETERMINACIONES PREVIAS

- Determine la densidad real seca de cada árido que participa en la mezcla y la del filler, si lo hubiere, de acuerdo a los **Secciones 6.2.5.19, 6.2.5.20** según corresponda.
- Determine la densidad del cemento asfáltico a 25 ° C según **Sección 6.2.1.2**.
- Determine la densidad máxima de la mezcla suelta según **Sección 6.2.6.5**, para un contenido de asfalto próximo al óptimo previsto.
- Prepare las probetas según **Sección 6.2.6.8**.
- Determine las densidades de las probetas compactadas, según **Sección 6.2.6.6**.
- Mida la Estabilidad y la Fluencia de las mezclas usando el equipo Marshall, según **Sección 6.2.6.8**.

Nota 1: Dado que la densidad real seca del filler mineral es difícil de determinar en forma precisa, se recomienda utilizar el método de Le Chatelier .

6.2.6.13.3. CÁLCULOS

A. CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL SECA PONDERADA DE LA MEZCLA DE ÁRIDOS

Cuando la mezcla está compuesta por dos o más áridos, todos con diferentes densidades reales, calcule la densidad real seca de la mezcla de áridos de acuerdo a la expresión:

$$\rho_{RS} = P_1 \cdot \rho_{RS1} + P_2 \cdot \rho_{RS2} + \dots + P_n \cdot \rho_{RSn}$$

Donde:

ρ_{RS} : Densidad real seca de la mezcla de agregados

P_1, P_2, \dots, P_n : Porcentajes en peso de los áridos 1,2,...,n, expresados en forma decimal.

$\rho_{RS1}, \rho_{RS2}, \dots, \rho_{RSn}$: Densidades reales de los áridos 1,2,...,n.

B. CÁLCULO DE LA DENSIDAD EFECTIVA DEL ÁRIDO.

Calcule la densidad efectiva del árido mediante la expresión:

$$\rho_E = \frac{100}{\frac{100 + P_b}{D_{mm}} - \frac{P_b}{\rho_b}}$$

Donde:

- ρ_E : Densidad efectiva del árido (kg/m³).
- P_b : Porcentaje de asfalto al árido (%).
- D_{mm} : Densidad máxima de la muestra suelta (kg/m³).
- ρ_b : Densidad del asfalto (kg/m³)

C. CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE ASFALTO ABSORBIDO.

El asfalto absorbido se expresa como un porcentaje referido al árido y se calcula con la fórmula siguiente:

$$P_{ba} = \left(\frac{1}{\rho_{RS}} - \frac{1}{\rho_E} \right) \times \rho_b \times 100$$

Donde:

- ρ_{ba} : Porcentaje de asfalto, referido al árido (%).
- ρ_{RS} : Densidad real seca del árido (kg/m³).
- ρ_E : Densidad efectiva del árido (kg/m³).
- ρ_b : Densidad del asfalto (kg/m³).

D. CÁLCULO DE LA DENSIDAD MÁXIMA DE LA MEZCLA PARA DISTINTOS CONTENIDOS DE ASFALTO.

Al calcular el porcentaje de huecos de aire en la mezcla, es necesario conocer D_{mm} para cada porcentaje de asfalto considerado. Si bien esto se puede hacer a través de la **Sección 6.2.6.5** para cada contenido de asfalto, la precisión del ensayo es mejor cuando se aproxima al contenido de asfalto óptimo. Una vez obtenida la D_{mm} para un determinado contenido de asfalto y calculada la densidad efectiva del árido, calcule la D_{mm} de la mezcla para cualquier otro porcentaje de asfalto, de acuerdo a la fórmula:

$$D_{mm} = \frac{100 + P_b}{\frac{100}{\rho_E} + \frac{P_b}{\rho_b}}$$

Donde:

- D_{mm} : Densidad máxima de la mezcla (kg/m³).
- P_b : Porcentaje de asfalto referido al árido (%).

ρ_E : Densidad efectiva del árido (kg/m^3), de acuerdo a 8.

ρ_b : Densidad del asfalto (kg/m^3).

E. CONTENIDO DE ASFALTO ÚTIL

El contenido de asfalto útil (P_{bu}) de una mezcla, corresponde al contenido de asfalto total menos el contenido de asfalto absorbido por el árido. Se calcula de acuerdo a la fórmula:

$$P_{bu} = P_b - P_{ba}$$

Donde:

P_{bu} : Porcentaje de asfalto útil referido al árido (%).

P_b : Porcentaje de asfalto referido al árido (%).

P_{ba} : Porcentaje de asfalto absorbido referido al árido (%).

F. CÁLCULO DE LOS VACÍOS EN EL ÁRIDO MINERAL

El porcentaje de vacíos en el árido mineral (VAM), se calcula de acuerdo a la fórmula:

$$VAM = 100 \times \left(1 - \frac{G}{\rho_{RS}} \times \frac{100}{100 + P_b} \right)$$

Donde:

VAM: Porcentaje de vacíos en el árido mineral (%).

G: Densidad de la mezcla compactada (Kg/m^3).

ρ_{RS} : Densidad real del árido (kg/m^3).

P_b : Porcentaje de asfalto referido al árido (%).

G. CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE HUECOS DE AIRE EN LA MEZCLA.

El porcentaje de huecos de aire en la mezcla (V_a), se calcula de acuerdo a la fórmula:

$$V_a = 100 \times \frac{D_{mm} - G}{D_{mm}}$$

Donde:

V_a : Porcentaje de huecos

D_{mm} : Densidad máxima de la mezcla (kg/m^3), de acuerdo a 10.

G: Densidad de la mezcla compactada (Kg/m^3).

H. CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE HUECOS LLENOS CON ASFALTO.

El porcentaje de huecos llenos con asfalto (VLL), se calcula de acuerdo a la fórmula:

$$V_{LL} = 100 \times \left(1 - \frac{V_a}{VAM} \right)$$

Donde:

V_{LL} : Porcentaje de huecos llenos con asfalto (%).

V_a : Porcentaje de huecos de aire en la mezcla (%).

VAM: Porcentaje de vacios en el arido mineral (%).

I.ACONDICIONAMIENTO DE LOS DATOS

- Los valores de estabilidad obtenidos para probetas de espesores distintos a 63,5 mm deben corregirse, convirtiendo éstos a un valor equivalente a 63,5 mm, utilizando para el o los factores de corrección indicados en **Tabla 6.2_ 70** del **Sección 6.2.6.8**.
- Calcule el valor promedio de la densidad, fluencia y estabilidad corregida, para todas las probetas con un mismo contenido de asfalto.
- Confeccione los siguientes gráficos, uniendo mediante una curva suave todos los puntos obtenidos:
 - Estabilidad v/s porcentaje de asfalto.
 - Fluencia v/s porcentaje de asfalto.
 - Densidad v/s porcentaje de asfalto.
 - Huecos en la mezcla v/s porcentaje de asfalto.
 - VAM v/s porcentaje de asfalto.

J.DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO OPTIMO DE ASFALTO

J.1.Capa de Rodadura

- Determine el contenido óptimo de asfalto de la mezcla considerando las curvas de densidad, estabilidad y huecos en la mezcla. De dichas curvas se determinan los porcentajes de asfalto (P_b) que entreguen:
 - Máxima estabilidad (P_{b1}).
 - Máxima densidad (P_{b2}).
 - Contenido de asfalto para un 5% de huecos (P_{b3}).

El contenido óptimo de asfalto se calcula como la media aritmética de los tres valores obtenidos, es decir:

$$Pb_{optimo} = \frac{Pb_1 + Pb_2 + Pb_3}{3}$$

- Verifique que el contenido óptimo de asfalto, con una tolerancia de $\pm 0,3$ puntos porcentuales, cumpla con todos los requisitos de calidad exigidos a la mezcla. En caso contrario, confeccione una nueva serie de muestras.

J.2.Capa de Base y Capa Intermedia (Binder)

Seleccione como contenido óptimo de asfalto el porcentaje de ligante que, con una tolerancia de $\pm 0,5$ puntos porcentuales, cumpla con todos los requisitos de calidad exigidos a la mezcla.

6.2.6.13.4. INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

1. Identificación de los materiales

Indique procedencia, lugar y fecha de muestreo, tanto del asfalto como del árido.

2. Áridos

Indique los siguientes análisis para cada árido:

- a) Granulometría.
- b) Densidad aparente suelta.
- c) Densidad real seca.
- d) Densidad neta.
- e) Desgaste de Los Ángeles.
- f) Índice de Plasticidad.
- g) Equivalente de arena.
- h) Cubicidad de partículas.
- i) Dosificación de áridos.
- j) Granulometría de la mezcla de áridos.

Nota 2: En la confección del informe se debe incluir las correspondientes especificaciones de obra.

3. Asfalto

- a) Certificados de Control de Calidad.
- b) Densidad

4. Mezcla Árido – Asfalto

- a) Densidad máxima de la mezcla.
- b) Adherencia.
- c) Porcentaje de asfalto absorbido referido al árido.
- d) Temperatura de mezclado.
- e) Temperatura de compactación de las probetas.

5. Análisis Marshall

- a) Para cada contenido de asfalto considerado se deben incluir:
- a) Densidad.
 - b) Huecos en la mezcla.
 - c) Vacíos en el agregado mineral (vam).
 - d) Estabilidad.
 - e) Fluencia.
 - f) Gráficos de Densidad, Huecos, VAM, Estabilidad y Fluencia con respecto a cada uno de los porcentajes de asfalto considerados.
 - g) Fórmula de Trabajo.

Esta comprende:

- Banda de Trabajo, con las siguientes tolerancias:	
Tamiz 4,75 mm (Nº 4) y superiores.	: ± 5 puntos porcentuales.
Tamices 2,36 mm (Nº 8) y 1,18 mm (Nº 16).	: ± 4 puntos porcentuales.
Tamices 0,6 mm (Nº 30) y 0,3 mm (Nº 50).	: ± 3 puntos porcentuales.
Tamiz 0,15 mm (Nº 100).	: ± 2 puntos porcentuales.
Tamiz 0,075 mm (Nº 200).	: ± 1,5 puntos porcentuales.
Contenido óptimo de asfalto para capas de rodadura.	: ± 0,3 puntos porcentuales.
Contenido óptimo de asfalto para capas de base o intermedia	: ± 0,5 puntos porcentuales.
Densidad de diseño.	
Temperatura de mezclado.	

Temperatura de Inicio de Compactación

Nota 3: La banda de trabajo podrá salirse de la especificada siempre que la curva granulométrica de diseño quede totalmente comprendida en la banda especificada.

SECCION 6.2.6.14. | MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS (AASHTO R12-85)

6.2.6.14.1. OBJETO

Este método describe un procedimiento para determinar la cantidad de emulsión asfáltica o cemento asfáltico a ser combinado con una mezcla de áridos de graduación abierta.

6.2.6.14.2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- Someta el árido a los ensayos de calidad especificados.
- Separe el árido en cada una de las siguientes fracciones: 25 - 20; 20 - 12,5; 12,5 - 5 y bajo 5 mm, de modo de reconstituir posteriormente la granulometría del material en mezclas de prueba.
- Determine la constante de absorción del árido grueso de acuerdo con la **Sección 6.2.5.19**.
- Determine el área superficial de acuerdo con la **Sección 6.2.5.13**.

6.2.6.14.3. PROCEDIMIENTO

A. CONTENIDO DE LIGANTE

El contenido del ligante se determina de acuerdo a las expresiones siguientes:

B. MEZCLAS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA

$$E(\%) = 1,5 K_c + 3,5$$

Donde:

E: Porcentaje de emulsión tentativo referido al árido seco.

K_c : Constante de absorción del árido grueso.

C. MEZCLAS CON CEMENTO ASFÁLTICO

$$CA(\%) = 1,5 KC + 1,0$$

Donde:

CA: Porcentaje tentativo de cemento asfáltico referido al árido.

K_c : Constante de absorción del árido grueso.

D.MEZCLAS DE PRUEBA CON EMULSIONES ASFÁLTICAS

- a. Reconstituya la granulometría del árido, previamente separado en fracciones, en muestras representativas de 500 g. Prepare entre 15 y 20 muestras, que deben colocarse en envases sellados para prevenir la pérdida de humedad.
- b. Determine la humedad de cada una de las muestras, secándolas hasta masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- c. Coloque una muestra de 500 g de agregado en un bol previamente tarado y agregue la cantidad de emulsión determinada en 5.
- d. Mezcle manualmente en el bol, usando una espátula cuadrada (25 mm de ancho), durante 30 a 45 seg. Evalúe y registre el tiempo de revoltura; las mezclas aceptables se rigidizan después de 30 a 45 seg de mezclado.
- e. Coloque toda la mezcla en un embudo confeccionado con malla de 0,630 mm, el que se coloca sobre un recipiente previamente tarado. Deje que la mezcla drene durante 30 min. Si drena, coloque el recipiente que contiene el exceso de líquido en un horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ y seque hasta masa constante.

Determine su peso final y calcule el exceso de asfalto de acuerdo a la expresión:

$$\text{Exceso asfalto (\%)} = \frac{\text{Peso final} - \text{Tara}}{\text{Peso árido}} \times 100$$

Saque la muestra del embudo y colóquela en un horno ventilado hasta masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

- f. Evalúe la mezcla, después de secada superficialmente, de acuerdo a lo siguiente:
 - Espesor del cubrimiento: Esta es una observación visual y debe registrarse como delgada, media o gruesa.
 - Porcentaje de partículas cubiertas: También es una observación visual y se debe registrar un valor estimado.
 - Cualquier otra observación que pueda ser de interés.
- g. Confeccione mezclas de prueba con el contenido de emulsión determinado en 5, siguiendo los pasos desde 9 a 12, pero adicionando agua al árido antes de agregar la emulsión. El agua se añade incrementando en 0,5 puntos porcentuales en cada porción adicional. Continúe hasta que se aprecie un exceso de líquido drenado.
- h. Confeccione mezclas de prueba con contenidos de emulsión de 1 punto porcentual sobre y bajo el determinado en 5, siguiendo los pasos desde 9 a 13.

E.MEZCLAS DE PRUEBA CON CEMENTOS ASFÁLTICOS

- i. Seque a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ las fracciones previamente separadas y reconstituya muestras representativas de 500 g.
- j. La temperatura de mezclado del asfalto debe ser tal que produzca una viscosidad igualo menor que 300 cSt (150 SFS). porque cuando el asfalto es menos viscoso cubre mejor a los áridos. Caliente el árido a una temperatura no mayor que 20°C sobre la temperatura del asfalto.

- k. Coloque la muestra de 500 g de agregado en un bol previamente tarado y agregue la cantidad de cemento asfáltico establecida en 6.
- l. Mezcle manualmente durante 30 a 45 seg.
- m. Coloque la muestra en un embudo confeccionado con malla de 0,630 mm, el que se coloca sobre un recipiente previamente tarado. Deje drenar la mezcla durante 30 min. en un horno a la temperatura de $120 \pm 5^\circ \text{C}$.

Si drena, determine el exceso de asfalto de acuerdo a la expresión:

$$\text{Exceso asfalto (\%)} = \frac{\text{Peso final} - \text{Tara}}{\text{Peso árido}} \times 100$$

- n. Saque la muestra del embudo y colóquela en un recipiente plano y evalúela de acuerdo a lo siguiente:
 - Espesor del cubrimiento.
 - Porcentaje de partículas cubiertas.
 - Trabajabilidad.
 - Cualquier otra observación que pueda ser de interés.
- o. Repita los pasos desde 17 a 20 con muestras con un contenido de 0,5 puntos porcentuales sobre y bajo el contenido determinado en 6.

6.2.6.14.4. CÁLCULOS

- Contenido de asfalto efectivo, es el contenido de asfalto residual de la emulsión o cemento asfáltico adicionados, menos el porcentaje de asfalto drenado.
- Valor mínimo de cemento asfáltico debe ser de un 3,0%.
- La tolerancia para calcular el porcentaje efectivo de cemento asfáltico es $\pm 0,5$ puntos porcentuales.
- Se confeccionarán probetas Marshall con 50 golpes por cara, para calcular el porcentaje máximo de cemento asfáltico.
- El contenido máximo de cemento asfáltico se obtiene para el valor de 0,8 MPa del ensayo de resistencia a la penetración utilizando el equipo Marshall, con una velocidad de 2,0 mm/min.

6.2.6.14.5. PRECISIÓN

El contenido de asfalto de diseño se selecciona evaluando los datos registrados; deben verificarse las siguientes exigencias:

- a) Cubrimiento: 90 - 100%.
- b) Espesor del cubrimiento: medio a grueso.
- c) Exceso de asfalto: inferior que 0,15 puntos porcentuales.

d) Trabajabilidad: la mezcla con emulsión se debe mantener trabajable durante

6.2.6.14.6. INFORME

El Informe debe contener lo siguiente:

- Identificación del contrato y contratista.
- Identificación de los materiales.
- Características de los áridos.
- Banda de trabajo, con la tolerancia indicada en la Sección 6.2.6.13 (numeral 5).
- Contenido de asfalto con tolerancia de -0,3 y +1,0%. La emulsión se debe expresar como residuo asfáltico.
- Para mezcla en caliente, temperatura de mezclado.

SECCION 6.2.6.15.

MÉTODO PARA CARACTERIZACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS POR MEDIO DEL ENSAYO CANTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE

6.2.6.15.1. OBJETO

Esta norma describe el procedimiento de ensayo que debe seguirse para la determinación de la pérdida por desgaste de las mezclas asfálticas, empleando la máquina de Desgaste de Los Ángeles.

El procedimiento puede emplearse tanto en el proyecto de mezclas en laboratorio como para el control en obra de las mismas.

El procedimiento se aplica a mezclas asfálticas de granulometría abierta fabricadas en caliente y de granulometría abierta, cuyo tamaño máximo sea inferior a 25 mm.

El ensayo permite valorar indirectamente la cohesión, la trabazón, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla, ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tráfico.

6.2.6.15.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A.EQUIPO DE COMPACTACIÓN

Formado por el molde, collar, placa de base y martillo de compactación empleados en la *Sección 6.2.6.8* para la fabricación de probetas Marshall.

B.MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

La máquina para el ensayo de desgaste de Los Ángeles tendrá las características indicadas en la *Sección 6.2.5.11*.

C.TERMÓMETROS

Para medir la temperatura de los áridos, ligante y mezcla bituminosa, se emplearán termómetros metálicos, con escala hasta 200 °C y sensibilidad de 3 °C. Para la medida de la temperatura a la que se realiza el ensayo, se utilizará un termómetro con escala de 0 a 40°C y sensibilidad de 0,5°C.

D.BALANZAS

Una balanza de 2 kg de capacidad y 0,1 g de precisión para la preparación de las mezclas.

E.CÁMARA TERMOSTÁTICA

Para mantener constante la temperatura durante el ensayo, se deberá disponer de una cámara o recinto capaz de alojar la máquina de Los Ángeles, y en la que la temperatura de ensayo pueda regularse con un error máximo de ± 1 °C.

F.MATERIAL GENERAL

Bandejas, bolo, espátulas, guantes de cuero, lápices marcadores, cogedores curvos, discos de papel filtro, etc.

6.2.6.15.3. PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

A. NÚMERO DE PROBETAS

Se prepara un mínimo de cuatro probetas para cada contenido de ligante.

B. PREPARACIÓN DE LOS ÁRIDOS

Las distintas fracciones de áridos que componen la mezcla se secan en horno hasta masa constante a una temperatura de 105 a 110 °C.

C. TEMPERATURA DE MEZCLA Y COMPACTACIÓN

Las temperaturas del ligante en la mezcla y compactación de las probetas, serán las adecuadas para hacer compatible un buen cubrimiento sin que se produzca escurrimiento. Como criterio orientativo, se pueden elegir las temperaturas que se prescriben, según viscosidad, en el punto 20 del **Método AO 108**, modificándolas si fuera preciso para cumplir los requisitos de cubrimiento y escurrimiento indicados antes.

D. PREPARACIÓN DE MEZCLAS.

Se pesan sucesivamente en un bolo tarado las cantidades de cada fracción de los áridos necesarios para la fabricación de una probeta, de tal modo que la cantidad de áridos sea de 1000 g. El resto del proceso de preparación coincide con el indicado en la **Sección 6.2.6.8** para la fabricación de las probetas Marshall.

E. COMPACTACIÓN DE LAS MEZCLAS

La energía de compactación será de 50 golpes por cara, empleando el equipo y procedimiento de compactación descritos en la **Sección 6.2.6.8**.

F. DENSIDAD Y ANÁLISIS DE HUECOS

Una vez desmoldadas las probetas, se determina su densidad y contenido de huecos a partir de la medida geométrica de su volumen y densidad relativa de los materiales, según **Sección 6.2.6.8**.

6.2.6.15.4. PROCEDIMIENTO

- a. En general, la temperatura de ensayo estará comprendida entre 15 y 30 °C, con una tolerancia de ± 1 °C.
- b. Se determina la masa de cada probeta con aproximación de 0,1 g y se anota este valor, P1. Antes de ensayarlas, las probetas se mantienen a la temperatura de ensayo un mínimo de seis horas.
- c. Se introduce a continuación una probeta en el interior de la máquina de Los Ángeles y, se hace girar el tambor a la misma velocidad normalizada en el **Método AO 511** de 3,1 a 3,5 rad/seg (30 a 33 rpm), durante 300 vueltas.
- d. Al final del ensayo, se saca la probeta y se pesa de nuevo con la misma aproximación de 0,1 g, anotando este valor como P2.
- e. El ensayo se repite de forma idéntica con cada una de las probetas análogas preparadas según lo descrito en Preparación de las Probetas.

6.2.6.15.5. CÁLCULOS

Se calcula el resultado del ensayo de pérdida por desgaste para cada probeta ensayada, mediante la expresión:

$$p = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100 (\%)$$

Donde

P: valor de la pérdida por desgaste, en %.

P₁: masa inicial de la probeta, a 0,1 g.

P₂: masa final de la probeta, a 0,1 g.

Se calcula el valor medio de todas las probetas análogas ensayadas según el Procedimiento.

En el resultado se incluirá la pérdida media por desgaste y la temperatura de ensayo.

SECCION 6.2.6.16.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL EFECTO DEL AGUA SOBRE LA COHESIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA ABIERTA, MEDIANTE EL ENSAYO CANTABRO DE PÉRDIDA POR DESGASTE (AASHTO T165-97)

6.2.6.16.1. OBJETO

Esta norma describe el procedimiento de ensayo que debe seguirse para determinar la pérdida de cohesión que se produce por la acción del agua sobre las mezclas asfálticas compactadas de granulometría abierta, de utilización en la construcción de carreteras.

El procedimiento se aplica a mezclas asfálticas de granulometría abierta fabricadas en frío o en caliente, con ligantes asfálticos modificados o sin modificar, cuyo tamaño máximo de las partículas de árido sea menor a 25 mm.

Con el método se obtiene un índice numérico del aumento de pérdida de masa, como consecuencia de comparar los resultados del ensayo entre series duplicadas de probetas, unas mantenidas al aire y otras sometidas a la acción del agua, en las condiciones que se prescriben en esta norma.

6.2.6.16.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A.TAMICES

25 m; 12,5 mm; 9,5 mm; 4,75 mm; 2,36 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; y 0,075 mm. Conforme con las características técnicas que para los mismos se especifican en la **Sección 6.2.5.6.**

B.HORNO DE TIRO FORZADO

Que alcance y mantenga las temperaturas de 25°C, 45°C, 60°C, con precisión de $\pm 1^\circ\text{C}$ y hasta 200 °C con precisión de $\pm 2^\circ\text{C}$.

C.BALANZA

Hasta 2 kg de carga con 0,1 g de precisión.

D.MARTILLO DE COMPACTACIÓN

El equipo de compactación tendrá los elementos, características y dimensiones que se refieren en la Sección 6.2.6.8.

E.MALLA DE PLÁSTICO

Tipo mosquitera de unos 2 mm de luz de malla, para mantener las probetas fabricadas en frío.

F.BAÑO TERMOSTÁTICO

De capacidad suficiente para dejar las probetas de ensayo y que mantenga la temperatura especificada constante dentro de $\pm 1^\circ\text{C}$.

G.MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

La máquina para ensayo de desgaste de las probetas tendrá las características y dimensiones que se especifica para este mecanismo en la **Sección 6.2.5.11**.

H.CÁMARA TERMOSTÁTICA

Recinto apto para alcanzar y mantener la temperatura especificada, con la precisión de $\pm 1^{\circ}\text{C}$, durante el ensayo y que pueda mantener en su interior la máquina de Los Ángeles.

6.2.6.16.3. FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS

A.PREPARACIÓN DE LOS ÁRIDOS

1. Se procede a separar en fracciones, mediante tamizado, los áridos a emplear, en cantidad suficiente para fabricar una serie de un mínimo de ocho probetas, de 1000 ± 1 g cada una, por cada contenido de ligante a ensayar.
2. Las fracciones en que se separan los áridos son las siguientes:

25 mm/12,5 mm	2,36 mm/0,6 mm
12,5 mm/9,5 mm	0,6 mm /0,3 mm
9,5 mm/4,75 mm	0,3 mm /0,075 mm
4,75 mm/2,36 mm	polvo mineral
3. El tamizado en seco de las fracciones superiores a 2,36 mm (N°8) se considera suficiente y efectivo si después de terminado el proceso no se pierde por lavado más del 1 % de la cantidad retenida en cada tamiz. En caso contrario, se procede al lavado de cada fracción en su tamiz correspondiente y a su posterior secado en estufa a la temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta masa constante.
4. Las fracciones menores a 2,36 mm (N° 8) se lavan por los tamices correspondientes y posteriormente se secan en horno a la temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta masa constante.
5. Con los áridos separados en fracciones se procede a dosificarlos ponderadamente, para componer la granulometría de la fórmula de trabajo.
6. En un recipiente de masa conocida se pesan sucesivamente las cantidades de cada una de las fracciones de tal modo que la cantidad total de árido sea de 1000 ± 1 g.

6.2.6.16.4. PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

7. Mezclas en caliente

a) Elaboración de la mezcla

- Se coloca el recipiente con los áridos preparados según los puntos 1 al 6 en un horno o placa de calefacción y se calienta el conjunto a una temperatura que sea, máximo 25°C superior a la especificada para la mezcla, según **Método 6.2.6.8**.
- La cantidad de ligante necesario para la fabricación de las probetas se coloca en un recipiente pequeño y se calienta en horno a la temperatura prescrita de

mezclado. El ligante no debe estar más de 1 hora a esta temperatura. El material sobrante se desecha.

- A continuación, se vierten los áridos en el recipiente para mezclado (bolo) y se efectúa una mezcla ligera en seco de los mismos, se forma un cráter en su centro y se añade, por pesada, la cantidad exacta de ligante calculada para la mezcla.
- Manteniendo la temperatura de los materiales dentro de los límites especificados para su mezcla, se inicia el proceso de mezclado y se continúa hasta que la mezcla quede homogéneamente cubierta por el ligante.

b) Compactación de las probetas

- La compactación de las probetas se realiza empleando los elementos y procedimiento de compactación descritos en la **Sección 6.2.6.8**.
- El número de golpes a aplicar con el martillo es de 50 golpes por cara.
- La temperatura de la mezcla, inmediatamente antes de la compactación, debe estar comprendida dentro de los límites establecidos, de acuerdo con la **Sección 6.2.6.8**.
- Una vez compactada la probeta, se espera un tiempo mínimo de 2 horas antes de extraerla del molde.

8. Mezclas en frío

A.1. Elaboración de la mezcla

- Se vierten los áridos, preparados según lo descrito en los puntos 1 al 6, en un recipiente para el mezclado, y se efectúa una mezcla ligera de los mismos.
- A continuación, y sólo cuando sea necesario su aporte, se añade por pesada la cantidad exacta de agua de premezclado y se efectúa el mezclado hasta su homogénea distribución.
- Se añade por pesada la cantidad exacta de emulsión y se continúa el mezclado hasta que la mezcla quede homogéneamente cubierta.

A.2. Compactación de las probetas

- La compactación de las probetas se realiza empleando los elementos y el procedimiento de compactación descritos en la **Sección 6.2.6.8**.
- La compactación se realiza a temperatura ambiente.
- El número de golpes a aplicar con el martillo es de 50 golpes por cara.
- Tras la compactación se desliza la probeta dentro del molde, empleando para ello una gata hidráulica, hasta enrasarla con su borde.
- A continuación, se coloca el molde sobre una bandeja apoyándolo sobre la base enrasada.
- La bandeja deberá tener su fondo perforado y revestido de una fina malla tipo mosquitera que permita la libre circulación del aire.

A.3. Curado de las probetas

- Se introduce la bandeja con las probetas dentro del molde en un horno de secado a la temperatura de $45 \pm 2^{\circ}\text{C}$, con ventilación forzada.
- Transcurridas 48 horas se saca la bandeja, se dejan enfriar las probetas durante un tiempo mínimo de 2 horas, y se procede a desmoldarlas siguiendo el **Método 6.2.6.8.**
- Cada una de las probetas se envuelve lateralmente con una tira sujetadora de plástico, tipo mosquitera de 2 mm de luz de malla, que se fija a la probeta con dos gomas elásticas.
- A continuación, se coloca de nuevo las probetas sobre la bandeja, apoyadas sobre su base, y se introduce el conjunto en el horno para el curado de aquellas a $45 \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 120 horas.
- El tiempo empleado en desmoldar las probetas, ponerles la malla sujetadora e introducirlas de nuevo en el horno no debe ser superior a 4 horas.

6.2.6.16.5. DENSIDAD Y ANÁLISIS DE HUECOS

9. La densidad de las probetas se puede determinar tan pronto como se hayan enfriado a temperatura ambiente las probetas fabricadas en caliente, o cuando se haya terminado el proceso de curado de las probetas fabricadas en frío.
10. La determinación de las densidades y de los porcentajes de huecos se hará de acuerdo a lo especificado en el **Método 6.2.6.13.**

6.2.6.16.6. PROCEDIMIENTO

11. Las series de probetas fabricadas (y curadas si es el caso) se dividen aleatoriamente en dos grupos iguales.
12. Se determina la masa de cada probeta con aproximación de 0,1 g y se anota como P1.
13. Uno de los grupos de probetas se coloca en la estufa o en un recinto regulado a $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$, durante al menos 24 horas.
14. El otro grupo de probetas se sumerge durante 24 horas en un baño de agua regulado a la temperatura que proceda según lo que sigue:
 - Mezclas fabricadas en caliente: $60 \pm 1^{\circ}\text{C}$
 - Mezclas fabricadas en frío: $45 \pm 1^{\circ}\text{C}$

Posteriormente se sacan las probetas del baño y se mantienen en un recinto u horno regulado a $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ durante otras 24 horas, con ventilación forzada.

Se determina la masa de cada probeta con aproximación de 0,1 g y se anota como Pc. La diferencia, si la hubiese, entre Pc y P1, representa la masa de agua retenida por la probeta después del período de secado a $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Esta diferencia se tendrá en cuenta en el cálculo del resultado, punto 19, restándola de P2.

15. Después de las acciones y períodos de tiempo que se prescriben en 12 y 13, respectivamente, se procede a determinar la pérdida por desgaste por medido del ensayo cántabro, de acuerdo a la **Sección 6.2.6.16**, para cada una de las probetas de los grupos.
16. El número de vueltas del tambor de la máquina de Los Ángeles durante ensayo será:
 - 300 vueltas para mezclas en caliente.
 - 200 vueltas para mezclas en frío.
17. Al final del número especificado de vueltas del tambor, se detiene la máquina, se saca la probeta ensayada, se determina su masa con aproximación de 0,1 g y se anota este valor como p2.
18. El ensayo se repite de igual manera, para cada una de las probetas de cada serie fabricada.

6.2.6.16.7. CÁLCULOS

19. Se calcula para cada probeta ensayada la pérdida por desgaste expresada en tanto por ciento de la masa inicial con la siguiente expresión:

$$P = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100\%$$

Donde:

p : valor de la pérdida por desgaste, en %.

P₁ : masa inicial de la probeta, a 0,1 g.

P₂ : masa final de la probeta, a 0,1 g.

Se determina el valor medio de los porcentajes de las pérdidas de las probetas de cada grupo por separado, anotándose como PA el grupo conservado al aire y PS el grupo sumergido en agua.

El resultado del ensayo se expresará como:

$$\text{Índice de aumento de pérdida (\%)} = \frac{P_s}{P_A} \times 100$$

Donde:

P_s: pérdidas ensayo cántabro grupo probetas sumergidas.

P_A: pérdidas ensayo cántabro grupo probetas no sumergidas.

El valor calculado del índice de pérdida se redondea al 1% para expresarlo como resultado del ensayo.

En el resultado del ensayo se incluirá la información siguiente:

- a) Condiciones de la inmersión.

- b) Valor medio de la densidad de cada grupo de probetas.
- c) Pérdida al ensayo cántabro de cada grupo.
- d) Índice de aumento de pérdida.
- e) Tiempo que han permanecido las probetas en la cámara a la temperatura de ensayo.

SECCION 6.2.6.17.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE ASFALTO POR IGNICIÓN (AASHTO T 308-97)

6.2.6.17.1. OBJETO

Este método de ensayo cubre la determinación del contenido de ligante asfáltico de Mezclas de Asfalto en Caliente (MAC) por ignición del ligante asfáltico a 538 °C (1000°F) o menos en un horno. El árido que queda después de la ignición puede usarse para análisis de cernido usando la **Sección 6.2.6.2**. Los valores en unidades métricas deben considerarse normales.

Esta norma puede involucrar materiales, operaciones y equipos peligrosos. Esta norma no considera todo lo que atañe a tópicos de seguridad, si hay alguno, asociado con su uso. Es responsabilidad de quién quiera que use esta norma, consultar y establecer prácticas apropiadas de seguridad y sanidad y determinar la aplicabilidad de limitaciones reglamentarias previas a su uso.

6.2.6.17.2. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

1. Obtenga muestras de árido de acuerdo a **Sección 6.2.5.4**.
2. Obtenga muestras de asfalto de acuerdo a **Sección 6.2.1.1**.
3. Obtenga muestras producidas frescas de mezclas asfálticas en caliente de acuerdo a **Método A0601**.
4. La muestra de ensayo debe ser el resultado final de un proceso de cuarteo de una muestra grande tomada de acuerdo a la **Sección 6.2.5.5**.
5. Si la mezcla no es suficientemente blanda para ser separada con una espátula o poruña, colóquela sobre una bandeja grande plana en un horno a $125 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($257 \pm 9^{\circ}\text{F}$).
6. El tamaño de la muestra de ensayo debe estar de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado y la masa conforme a los requerimientos de la **Tabla 6.2_73**. Cuando la masa de la muestra de ensayo excede la capacidad del equipo usado, la muestra de ensayo puede dividirse en incrementos apropiados, ensayados, y los resultados apropiadamente combinados para calcular el contenido de ligante asfáltico (promedio ponderado). Los tamaños de las muestras no pueden ser más de 400 g mayores que el mínimo de masa de muestra recomendada.

Nota 1: Mezclar con grandes cantidades de finos tienden a resultados incompletos en la ignición.

Tabla 6.2_73. REQUERIMIENTOS AL TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Tamaño Máximo Nominal del Agregado(mm)	Tamaño del Tamiz	Cantidad Mínima de la Muestra (g)
4,75	Nº4	1.200
9,5	3/8 in	1.200
12,5	1/2 in	1.500
19,0	3/4 in	2.000
25,0	1 in	3.000
37,5	1 1/2 in	4.000

6.2.6.17.3. CALIBRACIÓN

7. Este método puede ser afectado por el tipo de árido en la mezcla. En consecuencia, para optimizar la precisión, debe establecerse un factor de calibración con el ensayo de un conjunto de muestras de calibración para cada tipo de mezcla. Este procedimiento debe efectuarse antes de completar cualquier ensayo de aceptación. Ciertos tipos de áridos pueden dar lugar a factores de calibración desusadamente altos (>0,5 %) y resultados erróneos de graduación debido a degradación del árido. Tales mezclas deben calibrarse y ensayarse a temperaturas más bajas a las descritas en el punto 15.
8. El proceso de calibración debe repetirse cada vez que hay un cambio en los ingredientes de la mezcla de diseño.
9. De acuerdo a exigencias de “Extracción y Preparación de Muestras”, prepare dos muestras de calibración al contenido de asfalto de diseño. Antes de mezclar, prepare una mezcla de consistencia blanda al contenido de ligante asfáltico de diseño. El propósito de esta mezcla blanda es acondicionar el bol de mezclado proporcionando un cubrimiento de ligante asfáltico y finos en el bol. Mezcle y deseche la mezcla blanda antes de mezclar cualquiera de las muestras de calibración para asegurar un contenido preciso de ligante asfáltico. Áridos usados en muestras de calibración deben ser muestreados de material acopiado producido en la temporada actual de construcción y destinado a ser usado en el proyecto considerado. Puede usarse cualquier método para combinar los áridos; como sea, una muestra adicional de control debe mezclarse y ensayarse por graduación del árido de acuerdo a **Método AO602**. La granulometría lavada debe caer dentro de las tolerancias de la mezcla de diseño.
10. Las muestras recién mezcladas deben colocarse directamente en los cestos de muestras. Si se les permite enfriar, las muestras deben precalentarse en un horno a 125°C por 25 minutos. No precaliente los canastos de muestras.
11. Ensayo las muestras de acuerdo a los Métodos de Ensayo A y B, explicados a continuación.
12. Efectúe un análisis granulométrico al árido residual tal como se indica en los puntos 57 a 59. Compare esta granulometría con la del material no quemado, muestra de referencia para evaluar la cantidad de árido degradado.
13. Una vez que todas las muestras de referencia han sido quemadas, determine los contenidos de ligante asfáltico medidos de cada muestra por cálculo o de las etiquetas impresas.
14. Si la diferencia entre los contenidos de ligante asfáltico medidos excede de 0,15%, repita los dos ensayos, de los cuatro ensayos, descarte los valores altos y bajos. Determine el factor de calibración de los dos resultados restantes. Calcule la diferencia entre los con-

tenidos ligante asfáltico actual y medido para cada muestra. El factor de calibración es el promedio de las diferencias expresado en porcentaje en peso de la mezcla de asfalto.

15. Si el factor de calibración excede de 0,5%, baje la temperatura del ensayo a $482 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($900 \pm 8^{\circ}\text{F}$) y repita el ensayo. Use el factor de calibración obtenido a 482°C aún si este excede 0.5%.
16. La temperatura para ensayar muestras de mezcla asfáltica en caliente en 23 y 41 debe ser la misma temperatura seleccionada para ensayar muestras de la mezcla de calibración.

6.2.6.17.4. MÉTODO DE ENSAYO A

A.EQUIPO Y MATERIALES

17. Horno de ignición

Un Horno de ignición de circulación forzada, capaz de mantener la temperatura a 578°C (1072°F), con una balanza interna térmicamente aislada de la cámara del horno con una precisión de 0,1 g. La balanza debe ser capaz de pesar una muestra de 3.500 g, además de los cestos para las muestras.

Debe incluirse un sistema de obtención de datos de manera que el peso pueda determinarse automáticamente y mostrarse durante el ensayo. El horno debe tener incorporado un programa de computación para calcular el cambio de masa de la muestra en los cestos y proporcionar entrada al factor de corrección por pérdida de árido. El horno debe proporcionar una ficha impresa con la masa inicial de la muestra, pérdida de masa de la muestra, temperatura de compensación, factor de corrección, contenido corregido de asfalto (porcentaje), tiempo de ensayo, y temperatura de ensayo. Las dimensiones de la cámara del horno deben ser adecuadas para acomodar una muestra de 3.500 g.

El horno debe tener un indicador audible y un indicador luminoso cuando la pérdida de masa no exceda 0,01 % del total de la masa de la muestra por tres minutos consecutivos. La puerta del horno debe estar equipada de manera que la puerta no se pueda abrir durante el ensayo de ignición. Debe proporcionarse un método para reducir las emisiones del horno. El horno debe ventilarse a una campana o hacia el exterior y cuando está correctamente instalada no deben notarse olores que escapen al laboratorio. El horno debe tener un ventilador capaz de empujar el aire fuera del horno para acelerar el ensayo y reducir el escape de humos al laboratorio.

Nota 2: El horno debe permitir al operador cambiar el porcentaje de pérdida de masa final a 0,02%

18. Cesto(s) para las muestras

De tamaño apropiado para permitir que las muestras se extiendan delgadamente y permitir al aire fluir a través y alrededor de las partículas. Conjuntos de dos o más cestos deben encajar. La muestra debe estar totalmente cubierta con una pantalla de malla, una placa perforada de acero inoxidable, o cualquier otro material apropiado.

Nota 3: Se ha encontrado que funcionan bien, una pantalla de mal a u otro material adecuado con aberturas máximas y mínimas de 2,36 mm (Nº8) y 600 micrones (Nº30), respectivamente.

19. Bandeja de retención

De suficiente tamaño para contener el (los) canasto(s) de muestra(s) para que las partículas de agregados y ligante asfáltico fundido que caen a través de la pantalla de malla puedan retenerse. Horno capaz de mantener una temperatura de $125 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($257 \pm 9^{\circ}\text{F}$).

20. Balanza

De suficiente capacidad, para pesar las muestras en los cestos.

21. Equipo de seguridad

Gafas de seguridad o escudo para la cara, guantes para altas temperaturas, chaquetas de mangas largas, una superficie resistente al calor capaz de soportar 650°C (1202°F) y una cámara protectora capaz de rodear los cestos de muestras durante el período de enfriamiento.

22. Equipo misceláneo

Una bandeja mayor que los cestos de muestras para transferir muestras después de ignición, espátulas, bolsa y cepillos de alambre.

A.1.Procedimientos de ensayo

23. Precaliente el horno de ignición a 538°C (1000°F) o como se determine en el punto 15. Registre manualmente la temperatura del horno (punto de referencia) antes de iniciar el ensayo si el horno no la registra automáticamente.

24. Seque en horno la muestra de mezcla asfáltica en caliente a masa constante a una temperatura de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($221 \pm 9^{\circ}\text{F}$) o determine el contenido de humedad de acuerdo a **Sección 6.2.7.1**.

25. Ingrese el factor de calibración de la mezcla específica a ser ensayada como se determina en la sección de Calibración en el horno de ignición.

26. Pese y registre la masa del cesto de muestra y bandeja de retención (con las protecciones en posición).

27. Prepare la muestra cómo se describe en los puntos 1 a 6. Distribuya uniformemente esta muestra en el cesto de muestra que ha sido colocado en la bandeja de retención, tenga cuidado de mantener la muestra fuera de los bordes del cesto. Use una espátula o poruña para nivelar la muestra.

28. Pese y registre la masa total de la muestra, cesto(s), bandeja de retención, y protecciones de los cestos. Calcule y registre la masa inicial de la muestra (masa total menos la masa del conjunto del cesto de la muestra).

29. Ingrese la masa inicial de la muestra en gramos en números enteros en el controlador del horno de ignición. Verifique que se ha ingresado la masa correcta.

30. Abra la puerta de la cámara, y coloque los cestos de muestras en el horno. Cierre la puerta de la cámara, y verifique que la masa de la muestra (incluido el cesto(s)) que se muestra en la escala del horno es igual a la masa total registrada ± 5 g, en el punto 28. Diferencias >5 g o falla de la escala del horno de estabilizarse puede indicar que los cestos de muestras pueden estar en contacto con las paredes del horno. Inicie el ensayo presionando el botón de "partir y parar". Esto bloqueará la cámara de la muestra y parará el ventilador de combustión.

Nota 4: La temperatura del horno descenderá bajo el punto de referencia cuando se abre la puerta, pero se recuperará cuando se cierre la puerta y empiece la ignición. La ignición de la muestra típicamente aumenta la temperatura bastante sobre el punto de referencia.

31. Permita al ensayo continuar hasta que una luz y un sonido del indicador establezcan que el ensayo está terminado (el cambio en masa no debe exceder de 0,01% en tres minutos consecutivos). Presione el botón “partir y parar”. Esto desbloqueará la puerta de la cámara y hará que la impresora, imprima los resultados del ensayo.

Nota 5: Un porcentaje de pérdida de masa final de 0,02% puede substituirse cuando se usan áridos que exhiben una cantidad excesiva de pérdida durante el ensayo de ignición. Precisión y planteamientos de sesgo fueron desarrollados usando 0,01%. Precisión y exactitud pueden ser afectados desfavorablemente usando 0,02.

32. Use el contenido de ligante asfáltico corregido (porcentaje) de la tarjeta impresa. Si se ha determinado el contenido de humedad, reste éste del contenido de ligante asfáltico corregido de la tarjeta impresa, e informe la diferencia como el contenido de ligante asfáltico corregido.
33. Abra la puerta de la cámara, remueva el o los cestos de muestras, y déjelos enfriar a temperatura ambiente por aproximadamente 30 minutos.

6.2.6.17.5. MÉTODO DE ENSAYO B

A.EQUIPO Y MATERIALES

34. Horno de ignición

Un Horno de ignición de circulación forzada, capaz de mantener la temperatura a 578°C (1072°F). Las dimensiones de la cámara del horno deben ser adecuadas para acomodar una muestra de 3.500 g. La puerta del horno debe estar equipada de manera que la puerta no se pueda abrir durante el ensayo de ignición. Debe proporcionarse un método para reducir las emisiones del horno. El horno debe ventilarse a una campana o hacia el exterior, cuando está correctamente instalada, no deben notarse olores que escapen al laboratorio. El horno debe tener un ventilador capaz de empujar el aire fuera del horno para acelerar el ensayo y reducir el escape de humos al laboratorio.

35. Cesto(s) para las muestras

De tamaño apropiado para permitir que las muestras se extiendan delgadamente y permitir al aire fluir a través y alrededor de las partículas. Conjuntos de dos o más cestos deben encastillarse. La muestra debe estar totalmente cubierta con una pantalla de malla, una placa perforada de acero inoxidable, o cualquier otro material apropiado.

Nota 6: Se ha encontrado que funcionan bien, una pantalla de malla u otro material adecuado con aberturas máximas y mínimas de 2,36 mm (Nº8) y 600 micrones (Nº30), respectivamente.

36. Bandeja de retención

De suficiente tamaño para contener el (los) canasto(s) de muestra(s) para que las partículas de áridos y ligante asfáltico fundido que caen a través de la pantalla de malla puedan retenerse.

37. Horno

Capaz de mantener una temperatura de $125 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($257 \pm 9^{\circ}\text{F}$).

38. Balanza

De suficiente capacidad para pesar las muestras en los cestos.

39. Equipo de seguridad

Gafas de seguridad o escudo para la cara, guantes para altas temperaturas, chaquetas de mangas largas, una superficie resistente al calor capaz de soportar 650°C (1202°F) y una cámara protectora capaz de rodear los cestos de muestras durante el período de enfriamiento.

40. Equipo misceláneo

Una bandeja mayor que los cestos de muestras para transferir muestras después de ignición, espátulas, bol y cepillos de alambre.

A.1. Procedimientos de ensayo

41. Precaliente el horno de ignición a 538°C (1000°F) o como se determine en el punto 15.

42. Seque en horno la muestra mezcla asfáltica en caliente a masa constante a una temperatura de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($221 \pm 9^{\circ}\text{F}$) o determine el contenido de humedad de acuerdo a **Sección 6.2.7.1**.

43. Ingrese el factor de calibración de la mezcla específica a ser ensayada como se determina en los puntos 7 al 16.

44. Pese y registre la masa del cesto de muestra y bandeja de retención (con las protecciones en posición).

45. Prepare la muestra como se describe en los puntos 1 al 6. Coloque los cestos de muestras en la bandeja de retención. Distribuya uniformemente esta muestra en el cesto de muestra, tenga cuidado de mantener la muestra fuera de los bordes del cesto.

46. Pese y registre la masa total de la muestra, cesto(s), bandeja de retención, y protecciones de los cestos. Calcule y registre la masa inicial de la muestra (masa total menos la masa del conjunto del cesto de la muestra).

47. Queme la muestra de mezcla asfáltica en caliente en el horno por lo menos 45 minutos.

Nota 7: El tiempo apropiado para un quemado inicial de una muestra de mezcla asfáltica en caliente depende del tamaño de la muestra. Para muestras grandes, el tiempo puede ser significativamente mayor de 45 minutos. Vea el manual del fabricante para ficha técnica.

48. Remueva la muestra del horno después de ignición y déjelos enfriar a temperatura ambiente, por a lo menos 30 minutos.

49. Pese y registre la masa de la muestra (mA) después de ignición con aproximación de 0,1 g.

50. Ponga de vuelta la muestra en el horno.

51. Después que el horno ha alcanzado la temperatura registrada, quemé la muestra por lo menos 15 minutos.
52. Remueva la muestra del horno y déjela enfriar a temperatura ambiente a lo menos 30 minutos.
53. Pese y registre la masa de la muestra (m_A) después de ignición.
54. Repita estos pasos hasta que el cambio en la masa medida (m_A) después de ignición no excede 0,01% de la masa inicial de la muestra.

Nota 8: Un porcentaje de pérdida de masa final de 0,02% puede substituirse cuando se usan agregados que exhiben una cantidad excesiva de pérdida durante el ensayo de ignición. Precisión y exactitud pueden ser adversamente afectados si se usa 0,02%. Después que se ha establecido el tiempo requerido para cada mezcla para obtener la pérdida de masa especificada, repetir las pesadas puede no ser necesario.

55. Registre el último valor obtenido la masa de la muestra (m_A) después de ignición.
56. Calcule el contenido de asfalto de la muestra como sigue:

$$AC\% = \left[\frac{(m_s - m_A)}{m_s} \times 100 \right] - C_F$$

Donde:

- AC%: Contenido de asfalto (corregido).
- m_A : Peso remanente total del agregado después de ignición.
- m_s : Peso total de la muestra CTO antes de ignición
- C_f : Factor de calibración, porcentaje en peso de la muestra de mezcla asfáltica en caliente

6.2.6.17.6. GRADUACIÓN

57. Deje enfriar la muestra a temperatura ambiente en los cestos de muestras.
58. Vacíe el contenido de los cestos sobre una bandeja. Use una escobilla pequeña de alambre para mallas para asegurarse que cualquier residuo de finos es removido de los cestos.
59. Ejecute análisis granulométrico de acuerdo a **Sección 6.2.6.2**.

6.2.6.17.7. INFORME

Informe el Método de Ensayo (A o B) – contenido corregido de ligante asfáltico, factor de calibración, factor de compensación de temperatura (si es aplicable), porcentaje total de pérdidas, masa de la muestra, contenido de humedad (si se determina) y temperatura de ensayo. Incluya el boleto impreso original al informar por unidades con los balances internos.

6.2.6.17.8. PRECISIÓN Y SESGO

A.PRECISIÓN

Fue determinada en un estudio de encuesta NCAT para mezclas de superficie usando el Método A. No se ha determinado precisión aun para el Ensayo Método B. (Vea **Tabla 6.2_74**).

Tabla 6.2_74. PRECISIÓN DEL MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE ASFALTO POR IGNICIÓN

Contenido de Asfalto	Desviación Normal (%)	Rango Aceptable de dos Resultados de Ensayos (%)
Precisión de un Operador	0,04	0,11
Precisión entre Laboratorios	0,06	0,17

Nota 9: La precisión estimada está basada en cuatro tipos de áridos, 4 repeticiones, y 12 laboratorios participantes, con 0 resultados de laboratorios postergados como observaciones externas. Los cuatro áridos fueron ensayados como mezclas de superficie y tenían valores de absorción relativamente bajos.

B.SESGO

El sesgo para Métodos de Ensayos A y B, no han sido determinados.

SECCION 6.2.6.18.

MÉTODO DE RECUPERACIÓN DEL LIGANTE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA SU CARACTERIZACIÓN

6.2.6.18.1. OBJETO

1. Este método describe el procedimiento que debe seguirse para la recuperación y posterior caracterización del ligante de las mezclas asfálticas. Para ello, el proceso de recuperación indicado en esta norma asegura una alteración mínima de sus propiedades.
2. El procedimiento es adecuado para la recuperación de cementos asfálticos y asfaltos fluidificados, aunque con estos últimos los resultados pueden ser menos precisos. También se puede aplicar a la recuperación del ligante soluble de las mezclas alquitrán-betún, siempre que su solubilidad sea superior al 95% cuando se determina *según Sección 6.2.1.7* y empleando diclorometano como disolvente.

Nota 1: En el caso de los asfaltos naturales, las propiedades del ligante recuperado pueden resultar diferentes de las del ligante original.

3. El ensayo es especialmente útil para conocer las alteraciones experimentadas por un ligante asfáltico, tanto durante un proceso de mezclado en caliente como posteriormente a lo largo de la vida de servicio de una mezcla asfáltica.
4. El ligante se extrae de la mezcla por disolución en diclorometano. Después de separar la parte insoluble, en esta norma se indican dos procedimientos para la posterior eliminación del disolvente: uno, mediante columna de fraccionamiento, aplicable a la mayoría de los ligantes asfálticos con las limitaciones ya indicadas en el punto 2 y; otro más sencillo, mediante un matraz rotatorio, aplicable solamente a los ligantes asfálticos.

6.2.6.18.2. MÉTODO CON COLUMNA DE FRACCIONAMIENTO - PRINCIPIO DEL MÉTODO

En este procedimiento, una vez extraído el ligante de la mezcla bituminosa con diclorometano y separada la fracción mineral insoluble, la solución se concentra por destilación a presión atmosférica mediante una columna de fraccionamiento. Las últimas trazas de disolvente se eliminan del concentrado a la temperatura de 175°C, o 100°C por encima de la del punto de ablandamiento supuesto del ligante recuperado, si esta es más alta, a la presión reducida de 20 kPa (200 mbar o 150 mmHg) y en una atmósfera de dióxido de carbono.

Nota 2: Cuando se trata de asfaltos fluidificados muy volátiles no debe usarse el dióxido de carbono.

6.2.6.18.3. APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

5. Recipiente para la muestra
6. Un recipiente de vidrio de boca ancha con tapa, de suficiente capacidad para permitir la agitación de la muestra con el disolvente.

7. Centrífuga

Capaz de desarrollar una aceleración mínima de 25.000 m/seg², equivalente a 2.550 veces la aceleración de gravedad (2.550 g), y calculada según la expresión:

$$\text{Aceleración} = 1,097 n^2 r \times 10^{-5}$$

Donde:

n = número de revoluciones por minuto.

r = radio de giro de la muestra en los tubos, en mm.

Los tubos de la centrífuga deben estar firmemente asegurados.

8. Sistema de filtración

Embudos de 200 mm de diámetro y papeles filtro Whatman N° 5 o similar.

Nota 3: Puede usarse igualmente cualquier centrífuga de 4 a 6 tubos de 200 ml o 500ml de capacidad, con un radio de giro de 250 mm y a la velocidad de 3.000 rpm.

9. Aparato de destilación

Montado según el esquema indicado en la **Figura 6.2_77**, con todas las conexiones hechas de juntas esmeriladas y cuyas partes esenciales son las siguientes:

B.1.Unidad de destilación

Está formada por un matraz de vidrio resistente al calor, de fondo redondo y 500 cm³ de capacidad, con una pieza adaptadora de tres bocas. Por la boca central se introduce un tubo de vidrio de 4 a 6 cm. de diámetro hasta 5 mm del fondo del matraz, para suministrar la corriente de dióxido de carbono. A la boca lateral oblicua se ajusta un embudo de decantación de 250 cm³, cuyo vástago penetra hasta la altura indicada en la **Figura 6.2_77**.

La boca acodada se conecta a la columna de fraccionamiento, seguida de un condensador de vidrio enfriado con agua y un separador de Bertrand, terminando en el matraz colector para recoger el disolvente destilado. La columna de fraccionamiento es del tipo Dufton o Vigreux, con una longitud efectiva de 300 a 400 mm. Para la recuperación de ligantes asfálticos, la columna irá protegida con una camisa de vacío. En el caso de ligantes fluidificados, se empleará la columna sin camisa de protección. El ajuste de las conexiones esmeriladas se realiza mediante juntas de teflón.

B.2.Equipo de vacío

Capaz de proporcionar un vacío aproximado de 20 kPa (200 mbar o 150 mmHg). Puede utilizarse una bomba de vacío, aunque debido al riesgo de dañarla por los vapores del disolvente si no se dispone de un sistema adecuado de eliminación, es preferible utilizar una buena trompa de agua capaz de alcanzar los mismos resultados.

B.3.Manómetro

Para la medida del vacío se puede utilizar un manómetro del tipo aneroide como el indicado en la **Figura 6.2_77**, aunque es más recomendable, por su exactitud,

el empleo de un manómetro de mercurio con rama en U, como el utilizado en la **Figura 6.2_78**.

B.4. Baño de aceite

De capacidad adecuada al matraz de vidrio empleado, calentado eléctricamente y provisto de termostato. El aceite utilizado debe ser resistente a las temperaturas del ensayo.

B.5. Soporte regulable

Para servir de apoyo al baño de aceite y con altura regulable manualmente para los desplazamientos verticales del baño.

B.6. Termómetro.

De 0 a 200°C y dividido en grados, para las temperaturas del baño de aceite.

10. Disolvente

Diclorometano R. A. (cloruro de metileno), destilado al 95 % entre 39,6 y 40,2 °C y el 100 % a 42 °C (Nota 4).

11. Dióxido de carbono

En botella a presión y con válvula de regulación acoplada.

12. Cloruro cálcico escoriforme

13. Caudalímetro

Graduado para caudales de dióxido de carbono entre 0 y 30 ml/minuto a la presión de 10 kPa.

Nota 4: Los vapores de diclorometano son tóxicos, por lo que es fundamental trabajar en vitrina bien ventilada. Diclorometano no es inflamable, pero en contacto con llamas o resistencias al rojo, sus vapores se transforman en fosgeno, gas sumamente tóxico, por lo que se deben extremar las precauciones y no fumar.

6.2.6.18.4. PROCEDIMIENTO

14. Preparación de la muestra

B.1. General

Se coloca en el recipiente para la muestra la mezcla asfáltica suficiente para obtener por disolución la cantidad de ligante necesario para los ensayos de caracterización prescritos, aunque, en ningún caso, esta cantidad debe ser mayor de 250 g de ligante soluble. Se añaden aproximadamente 1.500 cm³ de diclorometano y unos 5 g de cloruro cálcico por cada gramo de agua presente en la muestra. El contenido se agita convenientemente hasta que se haya disuelto todo el ligante.

B.2. Preparación de la solución para ensayo

Se deja la solución en reposo entre 10 y 30 minutos y se separa por decantación, a través de un tamiz conveniente, la parte mineral no fina. La separación final de finos y polvo mineral puede realizarse por filtración, centrifugación o ambos

procedimientos; por ejemplo, una filtración durante la noche o seguida de centrifugación a la mañana siguiente. Sin embargo, cuando hay polvo mineral en la muestra, la operación de separarlo de la fracción soluble por filtración puede resultar extremadamente lenta y dificultosa, por lo que es preferible en estos casos la separación por centrifugación durante 20 minutos y una aceleración mínima de 25.000 m/s² (Nota 5).

B.3.Humedad

Durante todas estas operaciones de separación de la parte mineral, deben extremarse las precauciones para evitar la condensación de humedad en la solución. Principalmente hay que reducir a un mínimo la evaporación de diclorometano, por el riesgo de condensación que lleva consigo. La disolución se reserva en un recipiente cerrado hasta la destilación.

Nota 5: Si después de una tentativa de filtración de unas 16 horas, o toda una noche, queda aún una pasta por filtrar de unos 5 cm de espesor en el papel filtro, se pasa éste y su contenido con cuidado a un matraz y se añade diclorometano puro hasta disolver de nuevo la muestra. A continuación, se separa por centrifugación como se indica en b).

15. Comprobación de la impermeabilidad al aire del aparato de destilación

Se monta el conjunto de destilación como se indica en la Figura 6.2_ 77, con todas sus juntas esmeriladas untadas ligeramente con vaselina o glicerina, aunque no con silicona. Se conectan a continuación, y en este orden, la botella de dióxido de carbono, la válvula de regulación, el caudalímetro y, finalmente, la goma de suministro del gas con el tubo de vidrio ajustado en la boca central del matraz. Con la válvula del gas cerrada y todas las demás del aparato abiertas, reducir la presión lentamente desde la atmosférica hasta 20 kPa (200 mbar o 150 mmHg). Se cierra entonces la válvula del manómetro que aísla el sistema de vacío y se comprueba durante algunos minutos que no hay aumento de presión en el manómetro.

Nota 6: Es de la mayor importancia que no entre aire por ninguna unión del equipo de suministro del gas, principalmente en las conexiones y en el tubo flexible de suministro.

16. Destilación de la muestra

- a) Se introducen en el matraz dos o tres trozos de plato poroso para ayudar a la destilación.
- b) Se añaden al matraz, a través del tubo de decantación, 100 cm³ de la disolución preparada según 13 b) y se comienza la calefacción, elevando la temperatura del baño hasta los 100 °C. Una vez iniciada la destilación, se introducen de vez en cuando, a través del embudo, pequeñas cantidades de disolución al matraz, procurando mantener un volumen constante que, en ningún caso, debe exceder los 250 cm³. La temperatura del baño se debe mantener igualmente en los 100 °C. Cuando se haya añadido al matraz la totalidad de la disolución, continuar la destilación para concentrar el extracto, dejando que la temperatura suba en forma natural, sin tocar los mandos de la calefacción.
- c) Cuando la velocidad de destilación haya descendido hasta unas 10 gotas por minuto, se sube la temperatura del baño de aceite hasta alcanzar, entre unos 20 y 30 minutos, los 175 °C, o 100 °C por encima de la del punto de ablandamiento supuesto para el asfalto recuperado, si ésta es mayor.

Nota 7: Si se forma espuma durante esta parte de la destilación, puede recurrirse a disminuir su velocidad bajando algo la temperatura. Es recomendable también agitar la muestra, para lo que se debe montar un agitador de varilla en el lugar del tubo de alimentación del gas. En este caso, una vez terminada esta parte de la destilación, habría que sustituir de nuevo el agitador por el tubo para el gas, cerciorándose de la impermeabilidad de este cambio.

- d) Finalmente, cuando la velocidad de destilación se reduzca a 3 a 4 gotas por minuto durante cinco minutos seguidos, se ajusta la altura del baño hasta que el nivel del aceite esté entre 10 y 20 mm por encima de la solución en el matraz. Durante la destilación se habrá ido retirando periódicamente todo el disolvente destilado, no debiendo quedar en este instante ninguna cantidad en el matraz colector.
- e) A continuación, se abre la válvula de dióxido de carbono y se inicia el paso del gas a través del residuo del matraz, a razón de 10 cm³ por minuto. Simultáneamente, se va reduciendo la presión en el interior del aparato hasta alcanzar, en un tiempo de entre 10 y 15 minutos. El vacío prescrito de 20 kPa, actuando al mismo tiempo sobre la válvula de regulación del gas para mantener el caudal constante de 10 cm³.por minuto. Estas condiciones del baño, presión y caudal se mantienen así durante 45 minutos.

Nota 8: Cuando el ligante a recuperar contenga disolventes muy volátiles, como en ciertos ligantes fluidificados, no se pasa esta corriente de dióxido de carbono.

- f) Transcurridos los 45 minutos, se baja y aísla el baño de aceite del matraz y se cierra la válvula que separa el aparato del sistema de vacío, manteniendo la corriente de dióxido de carbono al mismo caudal hasta que se alcance en el aparato la presión atmosférica. Se espera hasta que deje de gotear la columna de fraccionamiento y se haya enfriado la muestra lo suficiente para que no se desprendan vapores. A continuación, se desmonta el matraz, se agita para mezclar bien su contenido y se tapa.
- g) Con el residuo así obtenido, se rellenan los moldes, anillos, etc., necesarios para los ensayos de caracterización posteriores.

6.2.6.18.5. CÁLCULOS

17. Expresión de los resultados

En los resultados de los ensayos que se realicen con los ligantes recuperados se debe indicar la norma de ensayo y método seguido para la recuperación. Igualmente, puede ser de interés acompañar estos resultados de todos aquellos datos sobre la mezcla original que puedan aportar alguna información, porque la finalidad del ensayo es comparar las características del asfalto (no de la mezcla asfáltica), antes del mezclado en caliente y de la vida en servicio, y después del proceso de mezclado en caliente y de la vida en servicio

6.2.6.18.6. PRECISIÓN

- 18. Para juzgar la aceptabilidad de los resultados de los ensayos de penetración y punto de ablandamiento con aparato de anillo y bola realizados sobre un asfalto recuperado según este método, se seguirán los siguientes criterios (95% de probabilidad):

A. REPETITIVIDAD

Los ensayos realizados por duplicados por un mismo operador y equipo sobre una misma muestra, se considerarán sospechosos si difieren en más de las siguientes cantidades:

Penetración..... 5 unidades

Punto de reblandecimiento anillo y bola..... 2,5 °C

A.1. Reproducibilidad

√ Los ensayos realizados en distintos laboratorios con diferentes operadores y equipos sobre una misma muestra, se consideran sospechosos si difieren en más de las siguientes cantidades:

Penetración..... 1,9x unidades

Punto de ablandamiento anillo y bola..... 3,5 °C

Siendo el x el valor medio de los resultados

Nota 9: No se han establecido criterios de precisión para otros ensayos.

6.2.6.18.7. MÉTODO CON EL DESTILADOR ROTATORIO - PRINCIPIO DEL MÉTODO

El procedimiento de recuperación del ligante mediante el destilador rotatorio es de aplicación exclusiva a los ligantes asfálticos.

En el ensayo, una solución del ligante en diclorometano de una dilución determinada y exenta de materia mineral, se concentra por destilación y a presión reducida en un matraz en forma de pera, inclinado y rotatorio alrededor de su eje, lo que favorece la velocidad de evaporación del disolvente a causa de la gran superficie que adquiere la solución en estas condiciones.

6.2.6.18.8. EQUIPO Y MATERIALES

19. Material para la preparación de la solución

El material general de la disolución, filtración y centrifugación de la muestra es el mismo que se indica en los puntos 5, 6 y 7 de este método.

20. Aparato de destilación

Montado según el esquema de la **Figura 6.2_78**, con todas sus conexiones mediante juntas esmeriladas y compuesto por las siguientes partes:

21. Matraz de destilación.

De vidrio resistente al calor y en forma de pera, con una capacidad de 1.000cc.

22. Baño de Aceite.

Calentado eléctricamente y con termostato para una regulación de temperatura de hasta unos 180 °C y con precisión de ± 1 °C. El tipo de aceite será adecuado a las temperaturas alcanzadas en el ensayo.

23. Mecanismo de rotación.

Formado por un motor eléctrico y las transmisiones necesarias para obtener velocidades de rotación del matraz hasta 10 rad/seg. (unas 100 rpm).

24. Colector.

Un matraz de vidrio esférico de 1.000 cc de capacidad para la recolección de los destilados.

25. Condensador.

De doble serpentín.

26. Trompa de agua

Capaz de conseguir una presión reducida en el aparato de hasta 8 kPa (unos 60mm de Hg)

Nota 10: Puede utilizarse también una bomba de vacío (ver 8 b)).

27. Manómetro de mercurio

En U, del tipo indicado en la **Figura 6.2_ 78**, y con válvula de cierre de separación del sistema de vacío.

28. Disolvente

Diclorometano, según el punto 9.

6.2.6.18.9. PROCEDIMIENTO

29. Preparación de la muestra

La muestra de solución de ligante para el ensayo se prepara siguiendo los puntos 13 a) y b), aunque con una concentración de unos 150 g de betún en 1.000 cc de diclorometano.

30. Montaje del aparato de destilación

El conjunto del aparato de destilación se monta según el esquema que se indica en la **Figura 6.2_ 78**. El recipiente que contiene la muestra de solución se une mediante un tubo de goma al extremo del condensador, regulándose la admisión periódica de la muestra en el matraz mediante la correspondiente válvula de admisión situada en dicho extremo. El conjunto del aparato de destilación se fija a una varilla soporte vertical mediante una pieza que permita, además, regular su inclinación con la horizontal.

31. Comprobación de la impermeabilidad al aire del aparato de destilación

Una vez montado el conjunto de destilación con todas sus uniones perfectamente ajustadas y cerradas la válvula de admisión, se hace girar el matraz de destilación a la velocidad de 7,8 rad/seg. (unas 75 rpm). Se pone en funcionamiento el sistema de vacío y se reduce gradualmente la presión a 8 kPa (unos 60 mm de Hg).

- En estas condiciones, se aísla el aparato de destilación del sistema de vacío cerrando la llave correspondiente del manómetro y se comprueba durante 5 minutos que no se produce aumento de presión en el manómetro.
- En caso contrario, se vuelven a revisar todas y cada una de las uniones y válvulas del aparato y se realiza una nueva comprobación de impermeabilidad.

32. Destilación de la muestra

- Se introducen en el matraz de destilación unos 350 cc. de disolución preparada según 23 y se sumerge el matraz en el aceite del baño hasta enrasar con el nivel de la muestra.
- Se inicia entonces una primera fase de la destilación, calentando el baño de aceite a la temperatura de $40 \pm 1^\circ\text{C}$, con una velocidad de rotación del matraz de 7,8 rad/seg. (75 rpm) y una presión reducida de 50 kPa (373 mm Hg).
- Se continúa en estas condiciones la destilación hasta que el volumen de muestra en el matraz se reduzca a unos 100 cc. Se abre entonces con cuidado la llave de admisión de muestra y se deja que ésta fluya por aspiración al matraz hasta que se reponga el nivel inicial. Se repite esta operación las veces necesarias hasta agotar la totalidad de la muestra en el recipiente.
- Cuando en las condiciones de trabajo fijadas en esta primera fase (40°C y 40 kPa) se observe que ya no se produce en la práctica destilación de disolvente, se comienza a elevar progresivamente la temperatura del baño hasta los 160°C . A continuación, se reduce progresivamente la presión hasta llegar a 8 kPa (unos 60 mm Hg). Esta operación debe realizarse en unos 20 minutos.
- La destilación se continúa en estas nuevas condiciones de presión y temperatura durante 15 minutos, debiendo comprobarse al final de este tiempo mediante una iluminación apropiada que ya no se forman burbujas en la muestra. En caso contrario, continuar la destilación durante cinco minutos más y si al final de este período persisten las burbujas hay que repetir todo el ensayo.
- Terminada la destilación, se saca el matraz del baño de aceite y se restablece en el aparato la presión atmosférica. Se desmonta el matraz y se tapa, pudiendo mantenerlo en caliente por un poco de tiempo a la temperatura de vertido, hasta llenar los moldes, cajas o anillos necesarios para la realización de los ensayos de caracterización posteriores.

33. Comprobación del procedimiento operatorio (Prueba en blanco del aparato)

Como comprobación del estado del aparato de destilación, se disuelven 100 g de un betún de penetración conocida, en 600 g de diclorometano y se realiza, con la disolución así obtenida, la recuperación, siguiendo el procedimiento completo descrito en este método.

En el betún recuperado, la media de, al menos, dos ensayos de penetración, no debe diferir de la penetración conocida en más de cinco unidades. Este tipo de pruebas en blanco puede servir igualmente para el adiestramiento del personal operario.

Nota 11: Si se quiere comprobar la eliminación total del disolvente se puede realizar un espectro infrarrojo sobre una pequeña muestra de ligante recuperado,

preparando una película fina de ligante entre don cristales de cloruro sódico y observando las bandas características del diclorometano (1.264 cm^{-1} y 740 cm^{-1})

6.2.6.18.10. CÁLCULOS

Para la expresión de los resultados siguiendo este método, se seguirá lo indicado en 16.

6.2.6.18.11. PRECISIÓN

34. Para juzgar la aceptabilidad del resultado del ensayo de penetración sobre un ligante recuperado según este método, se seguirán los siguientes criterios (establecidos provisionalmente):

a) Repetitividad

Los ensayos realizados por duplicados por un mismo operador y equipo sobre una misma muestra, se considerarán sospechosos si difieren en más de las siguientes cantidades:

- Penetración..... 4 unidades.

b) Reproducibilidad

$\sqrt{\quad}$ Los ensayos realizados en distintos laboratorios con diferentes operadores y equipos sobre una misma muestra, se consideran sospechosos si difieren en más de las siguientes cantidades:

- Penetración..... $1,9 \times$ unidades.

Siendo \quad x el valor medio de dos resultados.

Nota 12: Los valores anteriores de la precisión se han determinado provisionalmente mediante ensayos de recuperación y penetración entre 14 laboratorios de 10 países, bajo la dirección del Grupo de Trabajo 56 MHM de la Rilem, en 1986.

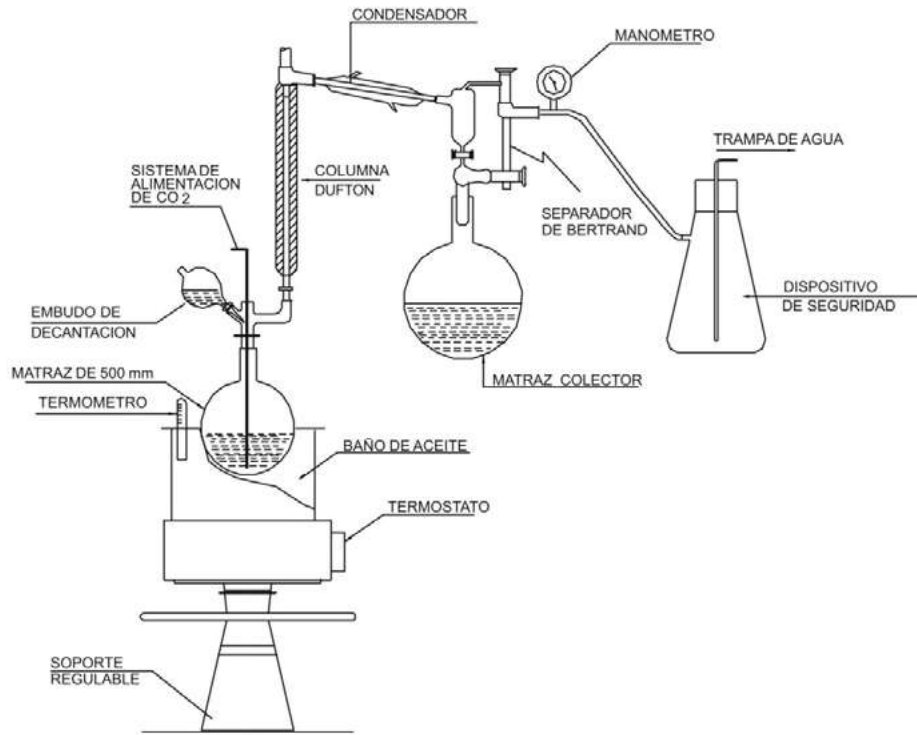
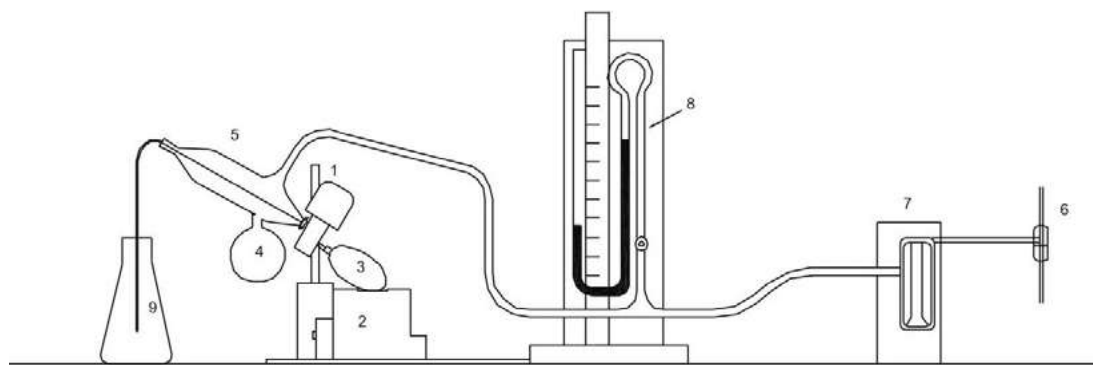


Figura 6.2_77. ESQUEMA APARATO DE DESTILACIÓN MEDIANTE COLUMNA DE FRACCIONAMIENTO



- 1- MECANISMO DE ROTACION
- 2-BAÑO TERMOESTATICO DE ACEITE
- 3- MATRAZ DE DESTILACION
- 4-MATRAZ COLECTOR
- 5-CONDENSADOR
- 6-TROMPA DE AGUA
- 7-REGULADOR DE PRESION
- 8-MANOMETRO
- 9-MUESTRA CON LA SOLUCION DE LIGANTE

Figura 6.2_78. ESQUEMA APARATO DE DESTILACIÓN MEDIANTE DESTILADOR ROTATORIO

CAPITULO 6.2.7.

ENSAYOS RELACIONADOS A APLICACIONES DE EMULSIONES EN MEZCLAS EN FRÍO Y SELLOS

SECCION 6.2.7.1.

MÉTODO ESTÁTICO PARA DETERMINAR LA ADHERENCIA ÁRIDO – LIGANTE ASFÁLTICO (ASTM D 1664)

6.2.7.1.1. OBJETO

Este método describe el cubrimiento y el procedimiento de inmersión estática a fin de determinar la adherencia del par ligante asfáltico - árido en presencia de agua. El procedimiento se aplica a materiales bituminosos cortados, semisólidos y emulsiones asfálticas.

6.2.7.1.2. EQUIPOS Y MATERIALES

- a) Recipientes metálicos de una capacidad de 250 cm³.
- b) Balanza de 500 g de capacidad y precisión de 0,1 g.
- c) Espátula de acero con hoja de 10 cm de largo y 2,5 cm de ancho.
- d) Vasos de vidrio graduados de 600 cm³ de capacidad.
- e) Horno termoregurable, capaz de mantener una temperatura constante entre 60 °C y 150 °C, con precisión $\pm 1^\circ\text{C}$.
- f) Tamices de 4,75 y 9,5 mm.
- g) Mechero.
- h) Lámpara con ampolleta esmerilada de 75 watt.

6.2.7.1.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La muestra se debe extraer y preparar de acuerdo con la **Sección 6.2.5.4**.

A.ACONDICIONAMIENTO DE LOS MATERIALES

A.1.Características

El 100 % de la muestra de áridos debe pasar por tamiz 9,5 mm y quedar retenida en el tamiz de 4,75 mm. Debe lavarse con agua destilada para quitar el polvo adherido y secar a $110 \pm 5^\circ\text{C}$, hasta masa constante.

A.2.Condiciones de terreno

Debe emplearse este método de ensayo de adherencia para verificar el cumplimiento de especificaciones establecidas en el proyecto para el árido y el asfalto. En este caso, se utilizará el asfalto y el árido que se emplearán en la construcción del proyecto.

A.3.Árido de referencia

Puede hacerse el ensayo de evaluación de resistencia al despegue con varios asfaltos para fines comparativos. En este caso, use un "Árido Normal" de propiedades conocidas.

A.4. Asfalto de referencia

El ensayo puede usarse también para una evaluación comparativa de varios áridos. En tal caso, utilice un asfalto de propiedades conocidas como “Asfalto Normal”.

A.5. Agua destilada

El agua destilada por emplear en el lavado de los áridos y durante el ensayo, debe tener un pH entre 6,0 y 7,0. No se permite usar electrolito para alcanzar el pH exigido.

6.2.7.1.4. PROCEDIMIENTO

A. MÉTODO DE ENSAYO DE ÁRIDOS SECOS PARA ASFALTOS LÍQUIDOS

- a) Coloque 100 g de árido seco, sin calentar previamente, en un recipiente metálico de 250 cm³ de capacidad y adicione asfalto cortado en una proporción de 5,5 ± 0,2 % referido al peso del árido seco o de 8,0 ± 0,2 % en el caso de emulsiones asfálticas. Mezcle el material bituminoso y el árido vigorosamente con una espátula durante 2 min.
- b) Caliente la mezcla árido – ligante asfáltico en un mechero el tiempo mínimo necesario para producir una adherencia efectiva, sin sobrepasar la temperatura de curado
- c) Cure el árido cubierto con ligante asfáltico en horno durante 2 h., en el mismo recipiente. En el caso de asfaltos cortados la temperatura de curado debe ser de 60 ± 1° C. Luego enfríe hasta alcanzar la temperatura ambiente o hasta que haya enfriado lo suficiente como para que el cubrimiento bituminoso no se desprenda de la superficie del árido.

Nota 1: El revestimiento asfáltico deberá ser completo después del mezclado, no aceptándose puntos descubiertos.
- d) Someta la mezcla al ensayo de inmersión en agua, de acuerdo a lo indicado en el procedimiento del punto 9.

B. MÉTODO DE ENSAYO DE ÁRIDOS HÚMEDOS PARA ASFALTOS LÍQUIDOS

El ensayo con árido húmedo se aplica sólo en caso que se use un aditivo que mejore la adherencia de la mezcla. No obstante, para estudios comparativos, se podrá emplear la misma prueba sin aditivos.

- a) Agregue agua destilada a 100 g de árido seco de manera cuidadosa y uniforme en cantidad suficiente para humedecerlo, eliminando el agua libre. Mezcle vigorosamente con espátula hasta que el árido quede completamente humedecido y luego vacíe a otra cápsula.
- b) Mezcle el árido húmedo a temperatura ambiente con un 5,5 ± 0,2 % de asfalto cortado referido al peso del árido seco o un 8,0 ± 0,2 %, en el caso de emulsión asfáltica.
- c) Revuelva la mezcla vigorosamente con una espátula durante 2 min. y continúe luego con los pasos descritos en el punto 6, desde b) a d).

C. MÉTODO DE ENSAYO DE ÁRIDOS SECOS PARA ASFALTOS SEMISÓLIDOS

El ensayo con asfaltos semisólidos se ha estudiado sólo para áridos secos.

- a) Pese 100 g de árido lavado y seco en un recipiente metálico y coloque en horno durante 1 h. a temperatura constante de 140 ± 5 °C.
- b) Caliente el cemento asfáltico hasta alcanzar la temperatura del árido.
- c) Adicione al árido caliente un $5,5 \pm 0,2$ % de asfalto, referido al peso del agregado seco.
- d) Mezcle con la espátula hasta que los materiales alcancen la temperatura ambiente o hasta que se haya obtenido el cubrimiento total de la superficie de los áridos. Si no puede obtener un cubrimiento total del árido, caliente suavemente la mezcla en el recipiente con un mechero, hasta lograr esta condición.

Nota 2: En caso que el ligante asfáltico sea tan líquido que fluya del árido dejando un cubrimiento muy delgado, continúe el mezclado hasta que el árido absorba todo el ligante asfáltico. El cubrimiento asfáltico del árido debe ser total, no aceptándose puntos descubiertos.

- e) Una vez obtenido el cubrimiento total, deje enfriar la mezcla árido - ligante asfáltico hasta temperatura ambiente e inmediatamente después sométala al ensayo de inmersión en agua descrito en el punto 9.

D. INMERSIÓN EN AGUA

- a) Coloque el árido cubierto, preparado según los métodos descritos anteriormente, en el vaso de vidrio de 600 cm³.
- b) Cubra el árido con 400 cm³ de agua destilada a temperatura ambiente.
- c) Deje el árido en inmersión por un período mínimo de 16 a 18 h., a la temperatura de la sala (20 ± 3 °C).

6.2.7.1.5. CÁLCULOS

Después del período de inmersión en agua, la adherencia de la película de ligante asfáltico o cubrimiento se determina visualmente, sin agitación y cuando la mezcla permanezca inmóvil en el agua. Estime el área de árido que quede cubierta, como mayor o menor a 95%.

Nota 3: Se recomienda realizar esta estimación con ayuda de una lámpara provista de una ampolla esmerilada de 75 watts, colocada en una posición tal que el reflejo en la superficie del agua no afecte la observación. Cualquier área delgada, oscura o semitransparente, se considerará totalmente cubierta.

SECCION 6.2.7.2.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE LIGANTE MEDIANTE EL EQUIVALENTE CENTRÍFUGO DE KEROSENE (ECK)

6.2.7.2.1. OBJETO

Este procedimiento permite determinar el contenido aproximado de ligante asfáltico de una mezcla bituminosa, usando el equivalente centrífugo de kerosene (ECK). El ECK entrega un índice (K), que indica la rugosidad relativa de las partículas y la capacidad superficial basada en la porosidad.

6.2.7.2.2. DEFINICIONES

A. NOMENCLATURA

1. G.Grueso; fracción de la muestra que pasa tamiz 9,5 mm y queda retenida en el tamiz 4,75 mm.
2. F Fino; fracción de la muestra que pasa tamiz 4,75 mm.
3. K. Factores cuyos valores se determinan según se describe a continuación: Se identifican como Kc, Kf o Km.
4. Kc. Se determina del porcentaje de aceite SAE N° 10 retenido, que representa el efecto total de las propiedades absorbentes y rugosidad superficial del árido.
5. Kf. Se determina con los siguientes factores:
 - a) Porcentaje de kerosene retenido que representa el efecto total del área superficial, propiedades absorbentes y rugosidad superficial del árido.
 - b) Cálculo del área superficial del árido basado en el tamaño de las partículas.
 - c) Porcentaje que pasa tamiz 4,75 mm (N° 4).
6. Km. Representa la media o valor compuesto de K para una combinación dada de áridos grueso y fino a los cuales se les ha determinado independientemente, en forma previa, Kc y Kf.
7. AS Área superficial

Sumatoria, en pie²/lb, de los productos del porcentaje que pasa por cada tamiz por su factor correspondiente y dividido por 100.

Tabla 6.2_75. FACTORES DE ÁREA SUPERFICIAL

Tamiz (mm)	T. máx	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	0,075
Factor (pie ² /lb)	2	2	4	8	14	30	60	160

En el cálculo se deben usar todos los factores; así, si en una muestra pasa el 100% en tamiz 4,75 mm, en los cálculos se debe incluir 100 x 2 debido al tamaño máximo y 100 x 2 debido al tamiz 4,75 mm.

6.2.7.2.3. EQUIPOS Y MATERIALES

A.CENTRÍFUGA ELÉCTRICA

Capaz de ejercer una fuerza de 400 unidades de gravedad sobre una muestra de 100 g; debe girar a las revoluciones por minuto dada por la fórmula siguiente:

$$rpm = \sqrt{\frac{14.000.000}{25,4 \times r}}$$

Donde:

R: radio al centro de gravedad de la muestra (mm).

B.CAPACHOS DE LA CENTRÍFUGA

De 71,5 mm de altura y diámetro 52,5 mm, con una placa perforada de bronce de espesor 0,80 mm con un mínimo de 100 hoyos, de 1,60 mm de diámetro, por cada 645 mm².

C.BALANZA

De 500 g de capacidad y ± 0,01 g de precisión.

D.EMBUDOS DE METAL

Con un diámetro superior a 100 mm, altura de 110 mm, orificio de 12 mm con un trozo de tamiz 2 mm (N° 10) soldado en la parte inferior de la abertura.

E.VASO

De vidrio de 1.500 ml.

F.CRONÓMETRO

G.HORNO O PLACA CALIENTE

Capaz de obtener 110 ± 5°C.

H.BANDEJAS

Planas, circulares, de hojalata de 115 mm de diámetro y 25 mm de profundidad.

6.2.7.2.4. REACTIVOS

- Kerosene.
- Aceite SAE N° 10.
- Papel filtro de 55 mm de diámetro, Grado N° 613.

6.2.7.2.5. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- a. Determine las densidades netas de los áridos grueso (retenido 4,75 mm) y fino (pasa 4,75 mm) según las Secciones 6.2.1.18 y 6.2.1.19 respectivamente.
- b. Calcule la densidad neta promedio del árido de acuerdo a la granulometría.
- c. Calcule el área superficial según 7.
- d. Separe el árido en dos grupos:
 - Pasa 9,5 mm y retenido en 4,75 mm.
 - Pasa 4,75 mm.

6.2.7.2.6. PROCEDIMIENTO

A. ÁRIDO FINO

- a) Cuartee 105 g de material que pasa tamiz 4,75 mm.
- b) Seque hasta masa constante en un horno o placa caliente a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- c) Deje enfriar.
- d) Coloque en el capacho, previamente tarado, una masa neta de 100,0 g.
- e) Coloque el capacho con la muestra en una bandeja que contenga kerosene (10 mm de profundidad), hasta que la muestra se sature por capilaridad.
- f) Centrifugue por 2 min. a una fuerza de 400 unidades de gravedad.
- g) Pese el capacho con la muestra, aproximando a 0,1 g y reste el peso original. Registre la diferencia como porcentaje de kerosene retenido (basado en 100 g de árido seco).

B. ÁRIDO GRUESO

- a) Cuartee 105 g representativos del material que pasa 10 mm y retenido en 5 mm.
- b) Seque la muestra hasta masa constante en un horno o placa caliente a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- c) Deje enfriar.
- d) Pese 100,0 g y colóquelos en el embudo.
- e) Sumerja la muestra en aceite SAE N° 10 durante 5 min.
- f) Drene por 2 min.
- g) Coloque el embudo con la muestra en un horno a 60°C y drene por 15 min.
- h) Vierta la muestra del embudo a una bandeja tarada, enfríe y pese aproximando a 0,1 g. Reste el peso original y registre la diferencia como porcentaje de aceite retenido (basado en 100 g de árido seco).

6.2.7.2.7. CÁLCULOS

A. CONTENIDO DE LIGANTE ASFÁLTICO

a) Determinación de K_f, según la **Figura 6.2_79, Figura 1**.

- Si la densidad neta del fino es mayor que 2.700 kg/m³ corrija el porcentaje de kerosene retenido, mediante la fórmula:

$$ECK \text{ corregido} = ECK \times \frac{pN_f}{2,650}$$

- Entre en la **Figura 6.2_79, Figura 1** con el valor del ECK corregido; siga horizontalmente hasta interceptar el área superficial calculada, mantenga el punto, siga verticalmente hasta interceptar el porcentaje que pasa tamiz 4,75 mm, mantenga el punto y siga horizontalmente hasta interceptar K_f. El valor obtenido es la constante superficial para la fracción que pasa 4,75 mm.

b) Determinación de K_c, según **Figura 6.2_79, Figura 2**.

- Si la densidad neta del grueso es mayor que 2.700 kg/m³ o menor que 2.650 kg/m³, corrija el porcentaje de aceite retenido mediante la fórmula:

$$\% \text{ Aceite Retenido Corregido} = \% \text{ Ac. ret.} \times \frac{pN_g}{2.650}$$

- Entre en la **Figura 6.2_79, Figura 2**, con el valor del porcentaje aceite retenido corregido, siga verticalmente hasta interceptar la línea diagonal y siga horizontalmente hasta interceptar el valor K_c. El valor obtenido es la constante superficial para la fracción retenida en 4,75 mm.

c) Determinación de K_m, **Figura 6.2_80, Figura 3**.

$$K_m = K_f + \text{"correccion a } K_f \text{"}$$

- La "corrección a K_f", obtenida de la **Figura 6.2_80, Figura 3**, es positiva si (K_c - K_f) es positivo y es negativa si (K_c - K_f) es negativo.
- Entre en la **Figura 6.2_80, Figura 3** con el área superficial, siga horizontalmente hasta interceptar el porcentaje de árido grueso, mantenga el punto, siga verticalmente hasta interceptar la diferencia (K_c - K_f), mantenga el punto, siga horizontalmente hasta interceptar la corrección a K_f.

d) Determinación del contenido de Ligante asfáltico aproximado (**Figura 6.2_80, Figura 4**). Entre en la **Figura 6.2_80, Figura 4** con el área superficial, siga horizontalmente hasta interceptar la densidad neta, mantenga el punto, siga verticalmente hasta interceptar K_m, mantenga el punto y siga horizontalmente hasta interceptar la razón de aceite. El valor obtenido es el contenido de ligante asfáltico para asfaltos líquidos RC - 250, MC - 250 y SC - 250. Para asfaltos líquidos más pesados o cementos asfálticos se debe efectuar una corrección:

$$K_m = K_f + \text{"correccion a } K_f \text{"}$$

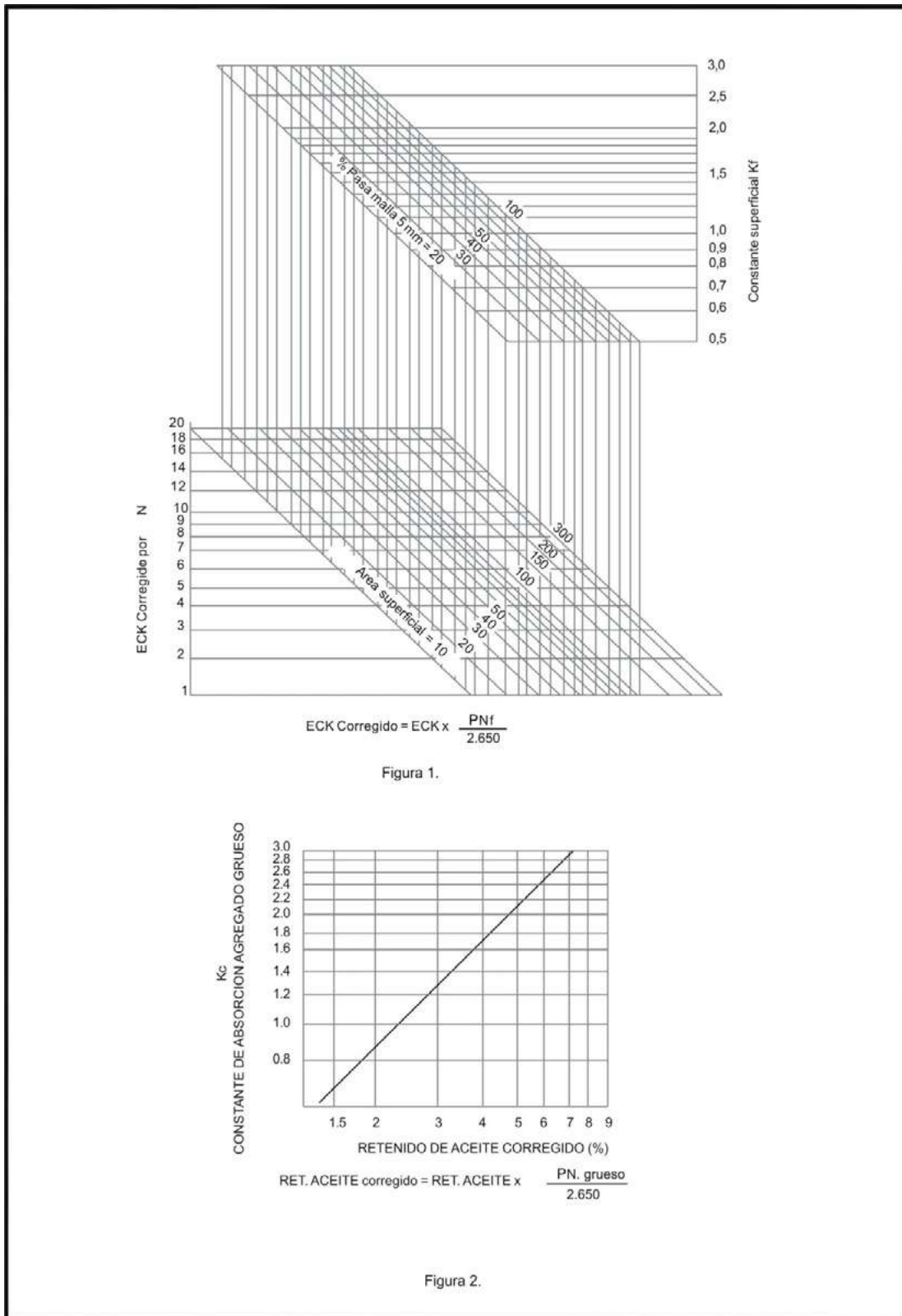


Figura 6.2_79. FIGURA 1- ÁBACO PARA CALCULAR Kf A PARTIR DE ECK,

FIGURA 2- ÁBACO DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE DE ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO Kc.

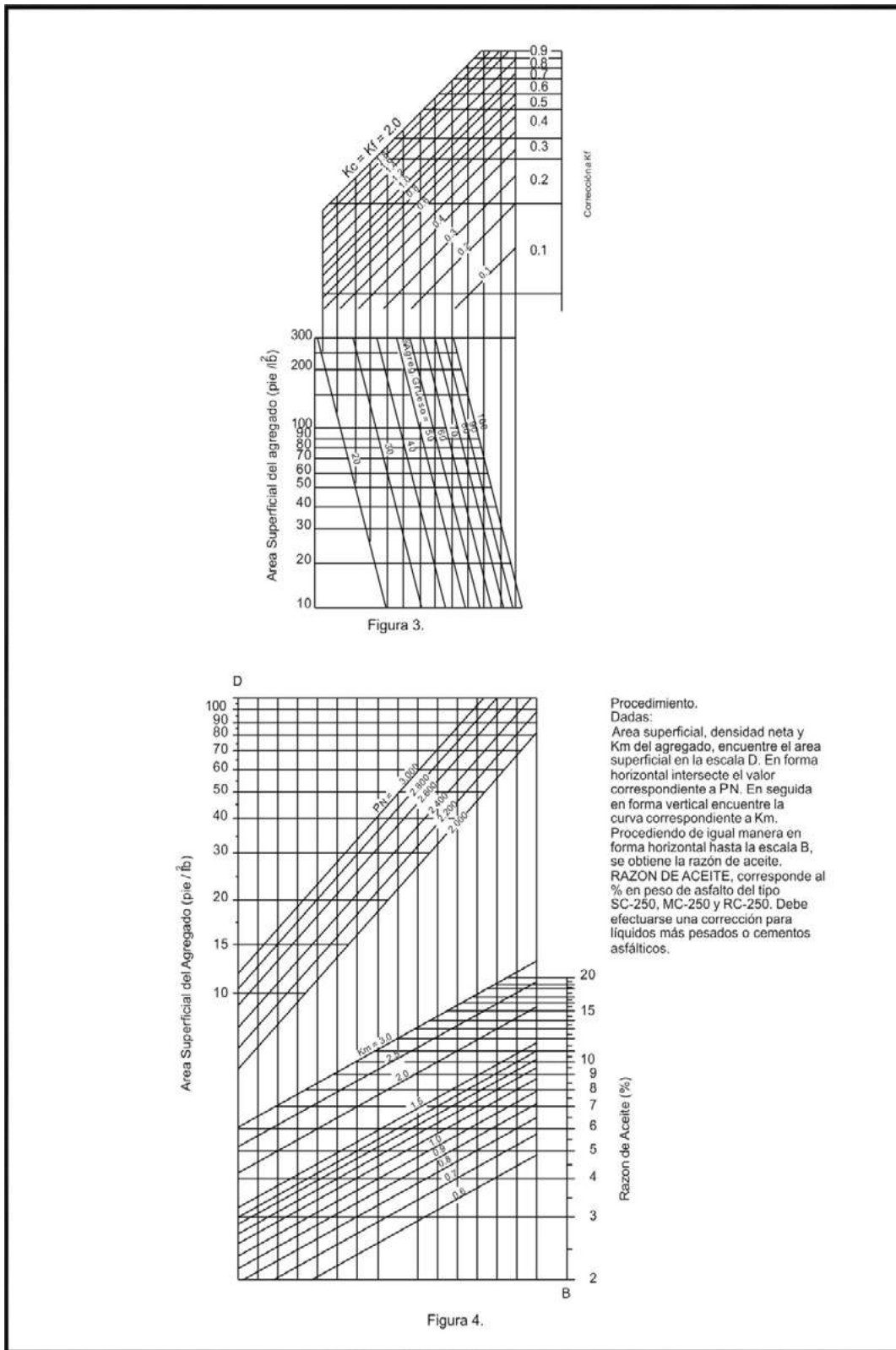


Figura 6.2_80. FIGURA 3- ÁBACO PARA COMBINAR KF Y KC PARA DETERMINAR KM.

FIGURA 4- ÁBACO PARA CALCULAR LA RAZÓN DE ACEITE PARA MEZCLAS BITUMINOSAS DENSAS.

SECCION 6.2.7.3.

MÉTODO THOMAS DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

6.2.7.3.1. OBJETO

Este método es aplicable a mezclas ligadas con asfaltos cortados y con áridos que no sean de graduación abierta, cuyo tamaño máximo sea menor o igual que 25 mm.

6.2.7.3.2. PROCEDIMIENTO

- Confeccione una serie de probetas con distintos contenidos de asfalto y ensáyelas según **Sección 6.2.6.8**, previamente determine su densidad de acuerdo con **la Sección 6.2.6.6**.
- Determine el óptimo teórico Hveem según la **Sección 6.2.7.2**.

6.2.7.3.3. CÁLCULOS

A.OPTIMO MARSHALL

- Factor de corrección. Determine el factor de corrección K mediante la expresión:

$$K = \frac{0,75 \times R}{100} + 0,25$$

Donde:

R: Residuo asfáltico en el asfalto cortado (%).

- Calcule los huecos en la mezcla y los vacíos en el árido mineral según Sección 6.2.6.13:

$$Pb = K \times AC$$

Donde:

K: factor de corrección 3 a).

AC: Asfalto cortado (%).

- Construya los siguientes gráficos:
 - % Asfalto cortado v/s densidad.
 - % Asfalto cortado v/s estabilidad.
 - % Asfalto cortado v/s huecos en la mezcla.
 - % Asfalto cortado v/s fluidez.

- % Asfalto cortado v/s vacíos en el árido mineral.

- d) Determine el contenido de asfalto óptimo según procedimiento Marshall, de acuerdo a lo siguiente:

$$P_b(Opt) = \frac{P_b(E) + P_b(D) + P_b(V_a)}{3}$$

Donde:

$P_b(E)$: Asfalto cortado para máxima estabilidad (%).

$P_b(D)$: Asfalto cortado para máxima densidad (%).

$P_b(V_a)$: Asfalto cortado para el promedio de especificaciones de huecos en la mezcla (%). (Considerar 4% Capas y 5,5 % Bases)

Nota 1: Los requisitos de exigencia Marshall, esto es estabilidad, fluidez, huecos en la mezcla y VAM, sólo se exigen en esta etapa del diseño.

Nota 2: Si las curvas de densidad y/o estabilidad no presentan máximos, selección como contenido de asfalto óptimo, aquel porcentaje que, con una tolerancia de $\pm 0,5$, cumpla con los requisitos Marshall exigidos.

B.CONTENIDO DE DISEÑO

- Determine el contenido de asfalto cortado de diseño, ponderando los óptimos Marshall y Teórico
- Hveem de acuerdo a lo que se indica en la **Tabla 6.2_76**.

Tabla 6.2_76. CONTENIDO DE ASFALTO DE DISEÑO

Mezcla	Tránsito	% Marshall	% Hveem
Capa	Liviano	65	35
Capa	Mediano	60	40
Capa	Pesado	50	50
Base	Todo tipo	50	50

6.2.7.3.4. INFORME

El informe debe incluir los siguientes puntos:

- Identificación de los materiales**
- Análisis para cada uno de los áridos**
 - Granulometría.
 - Densidad aparente suelta.
 - Densidad real seca.
 - Densidad neta.
 - Desgaste Los Ángeles.
 - Índice de plasticidad.
 - Equivalente de arena.

c. Análisis del asfalto

- Ensayos de calidad.
- Densidad.

d. Mezcla de áridos

- Dosificación.
- ECK.
- Área superficial.
- Retenido en Aceite.

e. Mezcla agregado – asfalto

- Densidad Máxima mezcla.
- Adherencia.
- Absorción de Asfalto.

f. Análisis Marshall

Para cada contenido de asfalto cortado se debe incluir:

- Densidad.
- Estabilidad.
- Fluidez.
- Vacíos árido mineral (VAM).
- Huecos en la mezcla.
- Gráfico de cada uno de estos parámetros con respecto a los porcentajes de asfalto cortado.

g. Procedimiento ECK

Se debe incluir:

- Constante absorción superficial áridofino (Kf).
- Constante absorción superficial áridogruoso (Kc).
- Constante absorción superficial mezcla áridos (Km).
- Razón de aceite.

h. Fórmula de trabajo

- Banda de trabajo.
- Contenido de asfalto cortado de diseño.
- Densidad de diseño.
- Temperatura aplicación asfalto.

SECCION 6.2.7.4.**MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO CON EMULSIÓN****6.2.7.4.1. OBJETO**

1. Esta especificación describe el método de diseño para mezclas asfálticas en frío con emulsión. El procedimiento está orientado a mezclas para caminos de bajo volumen de tránsito con áridos densamente graduados con tamaño máximo menor o igual a 25 mm (1 pulg).
2. Es aplicable a mezclas producidas tanto “in situ” como en laboratorio, a temperaturas ambiente. **ANEXO DETALLES ESPECIFICOS A0704.**
3. El método comprende la realización de las siguientes etapas:
 - a) Contenido inicial de emulsión.
 - b) Contenido de agua de premezcla.
 - c) Contenido óptimo de agua de compactación.
 - d) Contenido óptimo de asfalto residual.

6.2.7.4.2. EQUIPOS Y MATERIALES

4. Los aparatos y materiales necesarios para este ensayo son los mismos utilizados en el método de diseño Marshall según capítulo **A0613.**

6.2.7.4.3. PROCEDIMIENTO***B.1. Determinación del contenido inicial de emulsión.***

5. El contenido inicial de emulsión se estima a partir de uno de los siguientes procedimientos:
 - a) **E.C.K:**

Se determina el contenido inicial de emulsión a partir de la determinación del contenido de asfalto aproximado mediante el Equivalente Centrífuco de Kerose-ne (**Sección 6.2.7.2**).

El contenido inicial de emulsión se obtiene según la siguiente fórmula:

$$\% E = \frac{T \times PAB \times 60}{R}$$

Donde:

- %E: Porcentaje de peso de emulsión asfáltica, sobre el peso del árido seco.
- T: Valor según de Capa Estabilizada
- T: 1,1 Base estabilizada con emulsión asfáltica
- T: 1,5 Capa de rodadura estabilizada con emulsión
- PAB: Porcentaje aproximado de asfalto u optimo teórico Hveem
- R: Residuo Emulsión asfáltica (Número Entero).

b) Fórmula empírica

En caso de no contarse con el equipamiento necesario para realizar el E.C.K, el contenido inicial de emulsión se puede estimar a partir de la siguiente fórmula:

$$\% E = [(0,05 \times A) + (0,1 \times B) + (0,5 \times C)] \times 0,7$$

Donde:

- %E: Porcentaje en peso de emulsión asfáltica, sobre el peso del árido seco
- A: Porcentaje del árido retenido en malla Nº8 (2,36 mm)
- B: Porcentaje del árido pasante por malla Nº 8 (2,36 mm) y retenido en malla Nº 200 (μm)
- C: Porcentaje de árido pasante por malla Nº 200 (75 μm)

6.2.7.4.4. TEST DE CUBRIMIENTO Y ADHESIÓN

6. Antecedentes

La evaluación preliminar para la selección de una emulsión asfáltica para el diseño de mezcla debe ser acompañada por una evaluación del cubrimiento del árido. El contenido inicial de emulsión se mezcla con el árido a utilizar y se estima visualmente, como un porcentaje del área total, el cubrimiento del árido por parte de la emulsión. La habilidad de la emulsión para cubrir el árido es muy sensible al contenido del agua de premezcla del agregado, por lo cual el test de cubrimiento se debe realizar con distintos porcentajes de agua de premezcla.

7. Procedimiento - Contenido de agua de premezcla

- a) Separar una muestra representativa de la emulsión asfáltica a utilizar.
- b) Tamizar y separar los áridos secos al aire en las siguientes fracciones: 25-19 mm; 19-12,5mm; 12,5-9,5 mm; 9,5-4,75 mm y bajo 4,75 mm.
- c) Preparar un número suficiente de muestras de áridos combinados secos al aire para mezclas de prueba. La masa de cada muestra debe ser de 1200 gr de material seco en horno. Estas muestras se deben confeccionar remezclandolas fracciones antes definidas de modo de igualar el análisis granulométrico.
- d) Determinar la humedad de una muestra combinada de áridos secos al aire y registrar.

- e) Colocar una muestra de material en un recipiente, incorporar un porcentaje de agua predeterminado de premezcla y mezclar. La cantidad de agua incorporada será tal que cumpla las siguientes consideraciones:
- Emulsión asfáltica de curado medio: Prueba inicial deberá ser mezclada sin la adición de agua de premezcla, es decir, se debe realizar con el árido en condición seco al aire.
 - Emulsión asfáltica de curado lento: Comenzar el test con un contenido de agua de premezcla de 3 % (Nota 1).
- f) Combinar el contenido inicial de emulsión determinado en el punto 5 con el árido húmedo. Mezclar utilizando la mano hasta que el asfalto esté adecuadamente distribuido en toda la mezcla.
- g) Calcular el contenido de agua libre de la mezcla (Punto 7c + 7e)
- h) Preparar otras probetas de acuerdo a los pasos d, e y f con incrementos de 1% en el agua de premezcla hasta que la mezcla se vea empapada o comience a segregarse. Cuando esto ocurra continúe con la siguiente etapa.
- i) El cubrimiento del árido es evaluado de forma visual. Para cada contenido de agua de premezcla estimar el porcentaje del área total de áridos cubiertos con asfalto y registrar.
- j) Si el cubrimiento del árido es superior al 50% entonces el test es encontrado satisfactorio, por lo tanto se debe seleccionar aquel contenido de agua de premezcla que satisfaga con la condición definida. En caso de que el cubrimiento del árido no sea considerado satisfactorio, la emulsión debe ser modificada o se debe seleccionar otro grado de emulsión, realizándose otro ensayo (Notas 2 y 3).

Nota 1: Para los áridos que contienen arcilla, la adición del agua de premezcla debe realizarse con 24 hrs. de anticipación y debe ser colocado en un recipiente sellado posterior a la mezcla.

Nota 2: Para emulsiones asfálticas de curado medio utilice suficiente agua de premezcla para permitir un adecuado esparcimiento de la emulsión sobre la mezcla. En algunos casos una excesiva cantidad de agua de premezcla podría producir desprendimiento del asfalto de los áridos. Cuando esto ocurra, utilice la cantidad de agua de premezcla que permita a lo menos un 50% de cubrimiento de los áridos; las subsecuentes mezclas deberán ser producidas con la cantidad de agua de premezcla que produzca el máximo de cubrimiento sin producir desprendimiento del asfalto de los áridos.

Nota 3: Las emulsiones asfálticas de curado lento presentan un aumento del porcentaje de cubrimiento a medida que se aumenta el agua de premezcla, sin embargo, desde cierto punto un aumento del porcentaje de agua de premezcla no producirá un aumento del cubrimiento del árido.

- k) Este punto será el mínimo contenido de agua de premezcla; las subsecuentes mezclas en el diseño deberán ser producidas con este mínimo contenido de agua de premezcla.

8. Procedimiento - Test de adhesión

- a) Pesar una muestra de 100 gr. de la mezcla confeccionada, sin que haya sido sumergida en agua, colocarla en un recipiente de poca profundidad y someterla a un período de curado de 24 hrs. en un horno de tiro forzado a 60 °C.
- b) Colocar la mezcla curada en un vaso de 600 ml, el cual debe contener 400 ml de agua destilada hirviendo.
- c) Manteniendo el agua hirviendo, revolver durante tres minutos a una vuelta por segundo.
- d) Sacar el agua del vaso y colocar la mezcla sobre una pieza de papel absorbente.
- e) Después de que la mezcla haya secado, evalúe visualmente el porcentaje de asfalto retenido sobre los áridos. Si es satisfactorio, continúe el diseño de la mezcla. En caso contrario, la emulsión debe ser modificada o se debe seleccionar otro grado de emulsión.

6.2.7.4.5. CONTENIDO ÓPTIMO DE AGUA DE COMPACTACIÓN

9. Antecedentes

Las propiedades de la mezcla están íntimamente relacionadas a la densidad obtenida luego de la compactación. De esta forma es necesario optimizar el contenido de agua de compactación para maximizar la densidad de la mezcla. El procedimiento de diseño de mezcla utiliza el procedimiento Marshall modificado para evaluar las propiedades de la mezcla compactada, en este caso específico evaluando la densidad seca de la muestra.

10. Preparación de probetas

El procedimiento se realiza de acuerdo a los siguientes puntos:

- 1) Cantidad de Muestras: Se deben preparar como mínimo tres probetas con el equipo Marshall para cada uno de los tres contenidos de agua de compactación a utilizar (Nota 4).
- 2) Preparación del molde y el martillo.
- 3) Preparación del árido: premezcla las fracciones antes definidas de cada material para producir una masa de 1.200 gr en cada probeta (secos en horno). En un área ventilada, colocar la muestra en un recipiente y determinar la temperatura del árido. La temperatura debe ser ajustada a $22,2 \pm 1,7$ °C previo a la mezcla.
- 4) Cálculos: Se requiere realizar los siguientes cálculos: masa del árido, masa de la emulsión asfáltica, masa del agua de premezcla y masa de la pérdida de agua para compactación. Los cálculos se realizan según las siguientes fórmulas:

$$\text{Masa del árido } (W): \quad W = \frac{a}{100-b} \times 100$$

$$\text{Masa de emulsión Asfáltica } (X): \quad X = \frac{a \times b}{d}$$

$$\text{Masa de agua libre adicional para premezcla } (Y) \quad Y = a \times \left(f - b - \left(\frac{e \div c}{d} \right) \right) \div 100$$

$$\text{Masa de pérdida de agua para compactación } (Z) \quad Z = a \times \left(\frac{f - g}{100} \right)$$

Donde:

- a: Masa del árido seco.
 - b: Porcentaje de agua contenida en el árido seco al aire.
 - c: Contenido de asfalto residual deseado (Porcentaje del peso del árido seco).
 - d: Porcentaje residual de asfalto en la emulsión.
 - e: Porcentaje de agua en la emulsión = 100 – d.
 - f: Porcentaje del contenido de agua de premezcla en la mezcla (masa del agregado seco).
 - g: Porcentaje del contenido de compactación (masa del árido seco).
- Adición del agua de premezcla: Colocar el árido seco al aire en un bol para mezclar. Calcular el monto de agua libre a ser agregada (Y) necesaria para lograr el contenido óptimo de agua de premezcla según lo determinado en el test de cubrimiento. La temperatura del agua debe ser ajustada a $22,2 \pm 1,7$ °C previo a la mezcla. Agregar el agua a los áridos secos al aire y mezclar durante 1 minuto o hasta que el agua esté completamente dispersa en el árido (Nota 5).

Determinar la masa de emulsión asfáltica y registrar. Agregar la emulsión asfáltica en los agregados húmedos lentamente a medida que el material es mezclado. Un tiempo de mezcla de 1 minuto, utilizando mezcladora mecánica, debiera ser suficiente. Un tiempo de mezcla excesivo producirá el desprendimiento del asfalto de los áridos.

- Si el contenido de agua de premezcla es mayor al contenido de agua para la compactación, entonces es necesario airear la mezcla para lograr el contenido de agua deseado de compactación. En este caso, se debe distribuir la mezcla en un plato de tal forma de que su espesor no supere los 25 mm y registrar la masa del plato y la mezcla.

La pérdida de agua requerida para la compactación se calcula utilizando la fórmula definida en 10(d). Para reducir el contenido de agua es necesario utilizar un ventilador revolviendo cada 10 minutos la mezcla. El contenido de agua a eliminar se logra pesando sucesivamente la masa del plato y la mezcla hasta alcanzar el contenido de agua de compactación deseada. Registrar.

Nota 4: Generalmente 3 incrementos del contenido de agua de compactación en 1%, es suficiente para construir la curva densidad/contenido de agua para determinar el óptimo.

- Compactación de las muestras: Limpie completamente el molde y la cara de compactación del martillo. Coloque un papel circular en la base del molde antes de introducir la mezcla. Ensamble el molde, coloque toda la mezcla en él y dé con una espátula un acomodamiento de 15 veces a lo largo del perímetro y 10 veces en el interior del molde. Con la espátula, suavice la superficie de la mezcla con suaves movimientos circulares.
- Coloque el molde en el pedestal de compactación y aplique 50 golpes con el martillo de compactación usando una caída libre de 45,72 cm (18 pulg). Remueva el plato de base y el collar, invierta la probeta y vuelva a ensamblar el molde. Aplique 50 golpes más en la otra cara del molde. Remueva el plato de base, el collar y el disco de papel.
- Curado. Cure la probeta con los moldes, durante 24 horas a temperatura ambiente, manteniendo una circulación de aire homogénea por ambos lados de la probeta.
- Saque la probeta del molde y calcule la densidad real de las probetas según Sección 6.2.6.6.
- Resultados. Construya un gráfico densidad real versus contenido de fluidos. El contenido de fluidos que maximice la densidad de la probeta se selecciona como el contenido óptimo de compactación.
- Si es necesario poseer más datos para el gráfico, realice más ensayos utilizando contenidos adicionales de agua de compactación.
- El contenido óptimo de compactación deber ser utilizado en todos los ensayos a realizar con respecto al contenido óptimo de asfalto residual.

6.2.7.4.6. VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE ASFALTO RESIDUAL

A.ANTECEDENTES

Para determinar el contenido óptimo de asfalto residual para una combinación de árido y emulsión asfáltica definida, es necesario realizar una serie de ensayos con contenidos distintos de asfalto residual, utilizando los contenidos de agua de premezcla y de compactación óptimos definidos anteriormente. Las mezclas son preparadas con incrementos porcentuales unitarios de contenido asfáltico residual, con dos contenidos a cada lado del contenido inicial calculado en el punto 5, logrando como mínimo 5 puntos.

6.2.7.4.7. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO INICIAL DE EMULSIÓN

A.PREPARACIÓN DE PROBETAS

El procedimiento se realiza de acuerdo a los mismos puntos especificados en el punto 6. A continuación, se definen algunos aspectos específicos a tomar en cuenta en esta etapa.

- a) Número de muestras: Preparar 6 muestras para cada contenido de asfalto residual.

- b) Preparación del molde y el martillo: Igual.
 - c) Preparación de los áridos: Sin cambios.
 - d) Cálculos: Sin cambios.
 - e) Adición del agua de mezcla: Notar que el mismo contenido de agua óptimo de compactación es utilizado para todos los contenidos de asfalto. Debido a que el contenido de asfalto residual aumenta, el contenido total de fluidos en la mezcla aumenta, debido a que la emulsión aumenta. De esta forma, el contenido del agua de premezcla a incorporar disminuirá a medida que aumenta el contenido de asfalto residual.
- a) Aireación de las muestras para disminuir el contenido de agua total. Sin cambios.
 - b) Compactación de las probetas: Sin Cambios.
 - c) Curado de las probetas: Curar en el molde durante 24 horas a temperatura ambiente, sacar y curar por 24 horas en un horno a 38° C.

B.PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DE PROBETAS

B.1.Antecedentes:

Para completar el procedimiento de diseño, es necesario realizar una serie de ensayos a las probetas compactadas y curadas. Los ensayos son los siguientes:

- a) Densidad Real.
- b) Estabilidad Marshall Modificada y Fluencia de probetas secas a una temperatura de $22,2 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$.
- c) Estabilidad Saturada y Fluencia.
- d) Análisis de Huecos y Densidad.
- e) Absorción de Humedad.

B.2.Densidad real:

Realizar a temperatura ambiente y según **Sección 6.2.6.6**.

B.3.Estabilidad modificada y fluencia:

Luego de determinar la densidad de las 6 probetas, para un contenido de asfalto específico, evalúe la estabilidad y la fluencia a tres de ellos según **Sección 6.2.6.8**. Utilice aquellos que poseen una densidad similar. Se deben considerar los siguientes factores:

- a) La temperatura de la probeta debe mantenerse utilizando un baño de agua.
- b) Durante el ensayo la tasa de deformación debe ser de 50,8 mm (2 pulg) por minuto hasta que la probeta falle.
- c) Registrar la fluencia en unidades de 0,25 mm. (0,01 pulg)
- d) Determinar el contenido de humedad de las probetas posterior al ensayo de fluencia.

B.4. Estabilidad saturada y fluencia:

Las tres probetas restantes se someterán al ensayo de estabilidad y fluencia luego de ser sometidas a un proceso de desecación al vacío y saturación en agua.

- a) Cada probeta se coloca en una desecadora al vacío con 100 mm de Mercurio durante un período de una hora.
- b) Luego se coloca la probeta en agua para su saturación durante 1 hora.
- c) Realizar el ensayo de estabilidad modificada y fluencia de acuerdo al punto 15.

B.5. Análisis de huecos y densidad:

Realizar de acuerdo a los siguientes puntos:

- a) Determine la densidad real seca promedio de todas las probetas con un mismo contenido de asfalto. Elimine los valores que posean más de un 50% de error con respecto al valor promedio.
- b) Determine el contenido de huecos de acuerdo al procedimiento Marshall, **Sección 6.2.6.13**.

6.2.7.4.8. CÁLCULOS

A. ANTECEDENTES:

La estabilidad, fluencia, huecos, densidad real seca y contenido de humedad se analizan como sigue:

- a) Corrija los valores de estabilidad según procedimiento Marshall, cuando sea necesario.
- b) Calcule el valor promedio de fluencia y estabilidad corregida para un mismo contenido de asfalto según procedimiento Marshall.
- c) Prepare los siguientes gráficos:
 - Estabilidad seca y saturada v/s Contenido de Asfalto Residual.
 - Porcentaje de pérdida de estabilidad v/s Contenido de Asfalto Residual.

$$\text{Porcentaje de pérdida de estabilidad} = \left(\frac{\text{Estabilidad Seca} - \text{Estabilidad Saturada}}{\text{Estabilidad Saturada}} \right) \times 100$$

- Densidad Real Seca v/s Contenido de Asfalto Residual.
 - Porcentaje de Humedad absorbida v/s Contenido de Asfalto Residual.
 - Porcentaje total de huecos v/s Contenido de Asfalto Residual.
- d) En cada gráfico, conectar los puntos por medio de una curva suavizada que se ajuste de mejor forma a cada uno de los resultados.

B. CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO:

Se define como contenido óptimo de asfalto residual aquel que provee la máxima estabilidad saturada, pero que se ajusta adecuadamente a la absorción de humedad, la

pérdida de estabilidad, el total de huecos y al porcentaje de cubrimiento de los áridos. Si no se logra determinar un óptimo en las propiedades evaluadas, el valor óptimo debe ser definido según la mejor combinación de la estabilidad Marshall (seca y saturada), la pérdida de estabilidad y la densidad real seca, tomando especial atención en los efectos del agua en las propiedades de las probetas.

C.CRITERIOS DE DISEÑO:

La mezcla con el contenido de asfalto residual seleccionado debe cumplir con la totalidad de los criterios de diseño que se presentan en **Tabla 6.2_ 77**.

Tabla 6.2_ 77. CRITERIOS DE DISEÑO PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO CON EMULSIÓN

Ensayo	Mínimo	Máximo
Estabilidad	2224 N (500 lbs)	--
Pérdida de Estabilidad	--	50%
Cubrimiento del árido	50%	--

D.TENDENCIAS DE LOS GRÁFICOS RESULTANTES

Las curvas típicas obtenidas deben tener las siguientes tendencias:

- Estabilidad saturada generalmente mostrará un peak para un contenido particular de asfalto residual mientras que la estabilidad seca generalmente mostrará un decrecimiento continuo a medida que el contenido de asfalto residual aumenta.
- El porcentaje de pérdida de estabilidad generalmente decrece a medida que el contenido de asfalto residual aumenta.
- La densidad real seca usualmente presenta un peak para un contenido particular de asfalto residual.
- El porcentaje de humedad absorbida durante la saturación de la probeta decrece a medida que el contenido de asfalto residual aumenta.
- El porcentaje total de huecos decrece a medida que el contenido de asfalto residual aumenta.

6.2.7.4.9. INFORME

El informe debe incluir los siguientes puntos:

- Áridos:** Se debe indicar la granulometría, densidad aparente seca, densidad real seca, desgaste Los Ángeles, Índice de Plasticidad y Equivalente de Arena. Dosificación de áridos.
- Emulsión Asfáltica:** Tipo de emulsión, proveedor, lote y certificado de laboratorio.
- Mezcla:** Resultados de ensayo de cubrimiento y adhesión.
- Resultados de Estabilidad:** Promedio de las estabilidades de cada probeta para cada contenido de emulsión.
- Dosis óptima de ligante:** Obtenida a partir del análisis de estabilidad Marshall, porcentaje de pérdida de estabilidad y porcentaje de cubrimiento.

- g) **Densidad real** para el contenido óptimo de emulsión.
- h) **Informar las propiedades volumétricas obtenidas:** Vacíos, vacíos llenos de asfalto y VAM.

SECCION 6.2.7.5.

MÉTODO DE DISEÑO DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

6.2.7.5.1. OBJETO

Este método define el procedimiento a emplear para la dosificación de tratamientos superficiales consistentes en aplicaciones consecutivas de ligante asfáltico y árido pétreo. Los tratamientos superficiales, pueden ser de tipo simple, doble o triple. Este método puede ser aplicado también a la dosificación de sellos de agregados.

Este método se basa en el procedimiento de la Dimensión Mínima Promedio desarrollado por Hanson y modificado posteriormente por McLeod.

6.2.7.5.2. DEFINICIONES

A. TRATAMIENTO SUPERFICIAL

Superficie de rodado que se aplica sobre una base granular, y consiste en un riego de ligante asfáltico seguido de una cobertura de árido. Un tratamiento superficial doble o triple consiste en dos o tres tratamientos aplicados consecutivamente, uno sobre otro.

B. SELLO DE ÁRIDOS

Consiste en la aplicación de un riego de ligante asfáltico recubierto por áridos sobre superficies pavimentadas. También es posible aplicar sellos dobles de áridos.

C. EMBEBIDO

Porcentaje del volumen de huecos en el árido, que es ocupado por el ligante residual utilizado en el sello o tratamiento. El embebido es una propiedad que se define en el momento en que el árido del tratamiento se ha asentado y ha alcanzado su posición definitiva.

6.2.7.5.3. DETERMINACIONES PREVIAS

A. PARÁMETROS DEL ASFALTO

Se debe determinar el porcentaje de residuo asfáltico (R) del ligante (Normalmente emulsión), de acuerdo con la **Sección 6.2.3.1**. Este ensayo se puede omitir si la muestra de ligante se suministra acompañada del certificado de ensayo respectivo.

B. PARÁMETROS DEL ÁRIDO

Se deben determinar los siguientes parámetros del árido:

- a) Granulometría. La granulometría se determina de acuerdo con la **Sección 6.2.5.6**.
- b) Tamaño medio del árido. El tamaño medio (TM) corresponde a la abertura (mm) del tamiz teórico por el cual pasa el 50% del árido. Se obtiene en forma analítica a partir de la granulometría, mediante interpolación.

- c) Forma de partículas. Este parámetro influye en la dimensión mínima promedio de las partículas.
- Para tratamientos superficiales se recomienda que las partículas sean de preferencia cúbicas.
 - Esta condición se evalúa mediante el ensayo de Índice de Lajas, **Sección 6.2.5.3.**

- d) Dimensión mínima promedio (H). Corresponde al promedio de la dimensión mínima de todas las partículas que componen el árido. Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$H \text{ (mm)} = \frac{TM}{1,09 + (0,0118 \times IL)}$$

Donde:

- H: Dimensión mínima promedio (mm).
 - TM: Tamaño medio del árido, abertura del tamiz teórico por el cual pasa el 50% del árido (mm).
 - IL: Índice de lajas (%).
- e) Densidades. Se debe determinar la densidad aparente suelta y la densidad real seca del árido.
- Densidad aparente suelta. Se determina la densidad aparente suelta del árido de acuerdo con la **Sección 6.2.5.18.**
 - Densidad real seca. Se determina la densidad real seca del árido de acuerdo con la **Sección 6.2.5.19.**
 - Contenido de vacíos. Se determina el contenido de vacíos (V) del agregado, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$V = 1 - \frac{\rho_{as}}{\rho_{RS}}$$

Donde:

- V: Contenido de huecos, expresado en forma decimal.
- ρ_{as} : Densidad aparente suelta del árido (Kg/dm³).
- ρ_{RS} : Densidad real seca del árido (Kg/dm³).

C. PARÁMETROS DE DISEÑO DEL TRATAMIENTO

Los siguientes parámetros de dosificación, se deben determinar en función de las características del proyecto:

- a) **Factor de desperdicio (E).** Este factor es una corrección para tomar en cuenta las pérdidas de árido que se producen durante la construcción. Depende del tipo y estado del equipo mecánico utilizado y los procedimientos usados. A falta

de un valor de registro histórico, se pueden usar los valores mostrados en la **Tabla 6.2_78.**

Tabla 6.2_78. FACTOR DE DESPERDICIO

H (mm)	Desperdicio %	Factor de Desperdicio E
< 6,5	5	1,05
6,5 - 8,0	4	1,04
8,1 - 9,5	3	1,03
> 9,5	2	1,02

- b) **Factor de tránsito (T).** El volumen de tránsito, en particular el tránsito pesado, aumenta el embebido del árido en el tratamiento. Este factor permite incorporar en la dosificación el efecto del tránsito en el embebido del árido. Se obtiene en la **Tabla 6.2_79.**

Tabla 6.2_79. FACTOR DE TRÁNSITO

Volumen de Tránsito ⁽¹⁾ (veh/día)	Factor T
< 100	0,85
100 – 500	0,75
500 – 1.000	0,7
1.000 – 2.000	0,65
> 2.000	0,6

1) Volumen estimado para el año de puesta en servicio del tratamiento o sello.
 2) En el caso de tratamientos para bermas, considerar T = 0,85

- c) **Absorción del árido (A).** Este factor compensa la disminución en la dosis de ligante que provoca la absorción del árido. Por las características de los materiales utilizados en nuestro país, normalmente este factor se desprecia para la mayoría de los áridos. Para áridos absorbentes, el valor de A puede llegar a 0,15 l/m². Para áridos altamente absorbentes, como piedras volcánicas u otros, se recomienda utilizar algún procedimiento de pretratamiento, como la precobertura con asfalto, en vez de aplicar factores de corrección.
- d) **Textura superficial (S).** Este parámetro toma en cuenta la cantidad de ligante asfáltico que es absorbida por la superficie de la base o pavimento asfáltico. Normalmente, en tratamientos superficiales sobre bases imprimadas no se realiza esta corrección o su magnitud no supera los 0,2 l/m². La definición de la textura superficial es subjetiva, y no existen ensayos que permitan medir la corrección necesaria.

Tabla 6.2_80. CORRECCIÓN POR TEXTURA SUPERFICIAL

Textura Superficial	Corrección S (l/m ²)
pavimento asfáltico con exceso de asfalto superficial	hasta -0,3
pavimento asfáltico de textura cerrada	0,0
pavimento asfáltico de textura abierta:	
1	0,1
2	0,2
3	0,3
4	0,4
5	0,5
base granular imprimada	0,0 - 0,2

6.2.7.5.4. CÁLCULOS

A.DOSIS DE ÁRIDO PARA TRATAMIENTO SIMPLE

Calcule la dosis de agregado, en kg/m², de acuerdo a la ecuación:

$$C = M[(1 - 0,4V)H \times \rho_{RS} \times E]$$

Donde:

- C: Dosis de árido (Kg/m²).
- M: Factor de corrección que debe ser evaluado por la experiencia del diseñador en base al clima y tránsito. Su valor normal es 1,0; sin embargo, el Asphalt Intitute propone modificarlo según la experiencia local. Un valor de 0,9 ha dado buenos resultados en el país. No obstante, lo anterior se podrá utilizar factores de ajuste intermedios entre 0,9 y 1,0.
- V: Vacíos en el árido. (Ver 5 d)).
- H: Dimensión mínima promedio (mm) (Ver 5 e)).
- ρ_{RS} : Densidad real seca del árido (kg/dm³) (Sección 6.2.5.19)
- E: Factor de desperdicio (Ver 5 a))

B.DOSIS DE LIGANTE PARA TRATAMIENTOS SIMPLES

Determine la dosis de ligante, en l/m², de acuerdo a la ecuación:

$$B = K \left(\frac{0,40 \times H \times V + S + A}{R} \right)$$

Donde:

- B: Dosis de ligante (l/m²).
- K: Factor de corrección que debe ser evaluado en base al clima por la experiencia del diseñador. Su valor normal es 1,0, ero puede ser mayor a menor según el diseñador. En climas tropicales se ha aplicado 0,9, mientras en climas muy fríos se usa 1,2. Se podrá utilizar valores intermedios entre los extremos indicados, dependiendo del clima de la región donde se ejecute la obra.
- H: Dimensión mínima promedio (mm)).
- T: Factor de tránsito (Ver 6 b)).
- V: Vacíos en el árido. (Ver 5 d)). (decimal)
- S: Factor de corrección por textura superficial (l/m²),).
- A: Factor de corrección por absorción de asfalto en el árido (l/m²)).
- R: Porcentaje de asfalto residual de la emulsión (decimal)

C.DOSIFICACIÓN DE TRATAMIENTOS MÚLTIPLES.

Para dosificar tratamientos dobles o triples se sigue el siguiente procedimiento:

- a) **Dosis de áridos.** Calcule la dosis para cada capa del tratamiento como si se tratara de un tratamiento simple. Normalmente, cada capa tiene un tamaño máximo nominal no superior a la mitad del tamaño máximo nominal de la capa inferior. Si es necesario, se pueden corregir las dosis en terreno ajustando el valor del factor M.
- b) **Dosis de ligante.** Calcule la dosis para cada capa como si se tratara de un tratamiento simple. El factor de corrección por textura superficial se aplica sólo a la primera capa. Una vez determinadas las dosis de ligante para cada capa, se determina la dosis total del tratamiento sumando las dosis individuales. Finalmente, las dosis de cada capa o aplicación se distribuyen porcentualmente de la manera mostrada en la **Tabla 6.2_81**. Si es necesario, se pueden corregir las dosis en terreno ajustando el valor del factor K.

Tabla 6.2_81. DISTRIBUCIÓN DE LA DOSIS TOTAL DE LIGANTE, EN CAPAS INDIVIDUALES

Capa	Tratamiento doble	Tratamiento triple
1a Capa	40 - 45	30
2a Capa	60 - 55	40
3a Capa	-	30

6.2.7.5.5. INFORME

El informe de dosificación debe contener lo siguiente:

- a) Identificación de la obra.
- b) Antecedentes del árido: procedencia, fecha muestreo, resultados de ensayos de granulometría, índice de laja y densidades. Esta información debe ser entregada para cada capa, en el caso de tratamientos múltiples (cada capa tiene distinto árido).
- c) Antecedentes del ligante asfáltico: tipo de asfalto, proveedor, fecha de envío de la muestra, lote, resultados del ensayo de destilación o, en su defecto, copia del certificado entregado por el proveedor.
- d) Cálculos preliminares: tamaño medio del árido, dimensión mínima promedio, contenido de vacíos. Esta información se entrega para cada capa en el caso de tratamientos dobles o triples.
- e) Parámetros del proyecto: debe quedar registro de los valores de todos los parámetros usados en la dosificación.
- f) Dosis de ligante.
 - Dosis de ligante individual, de cada capa en el caso de tratamientos múltiples.
 - Dosis total de ligante, en caso de tratamientos múltiples.
 - Dosis definitiva de cada capa, para el caso de tratamientos múltiples.
- g) Dosis de árido, de cada capa en el caso de tratamientos dobles o triples.

SECCION 6.2.7.6.

MÉTODO DE DISEÑO DE LECHADAS ASFÁLTICAS

6.2.7.6.1. OBJETO

Este método define un procedimiento para el diseño de lechadas asfálticas y describe una metodología para determinar el contenido óptimo de ligante.

6.2.7.6.2. DETERMINACIONES PREVIAS

1. Determine la densidad neta del árido de acuerdo con la **Sección 6.2.5.19 y/o 6.2.5.20**, según corresponda.
2. Determine la granulometría del árido de acuerdo con la **Sección 6.2.5.6** y luego calcule su área superficial según la **Sección 6.2.7.2**.
3. Determine el equivalente centrífugo de kerosene (ECK) de acuerdo con el **Sección 6.2.7.2**.
4. Determine el residuo asfáltico de la emulsión de acuerdo con la **Sección 6.2.3.1**.

6.2.7.6.3. PROCEDIMIENTO

5. Determine el contenido de emulsión teórico usando la siguiente ecuación:

$$E_t = \frac{0,4346 \times A_s \times 1.000}{\rho_n \times R} + \frac{ECK_c}{R}$$

Donde:

E_t : Contenido de emulsión teórico referido al árido seco (%).

A_s : Área superficial del árido seco (ft²/lb).

ECK_c : ECK corregido por densidad neta (%).

ρ_n : Densidad neta del árido (kg/m³).

R: Residuo asfáltico de la emulsión (expresado en forma decimal).

6. Determine la consistencia de la lechada según **Sección 6.2.7.8**, usando el contenido de emulsión determinado en 5 e incorporando la cantidad de agua necesaria para obtener un desplazamiento de la mezcla en el rango de 2 a 3 cm. La cantidad de agua incorporada corresponde al agua de premezclado expresada en porcentaje (%) referida al árido seco. Registre este valor como W1, aproximando a un decimal.
7. Determine el desgaste por abrasión bajo agua a la mezcla obtenida en 6 según la **Sección 6.2.7.9**.

8. Determine la cantidad de arena adherida a la mezcla obtenida en 6, de acuerdo con la **Sección 6.2.7.7**.
9. Calcule el porcentaje de agua total en la mezcla según la siguiente expresión:

$$W = W1 + Et \cdot (1 - R)$$

Donde:

- W: Porcentaje de agua total en la mezcla (%).
- W1: Porcentaje de agua de premezclado referido al árido seco (%).
- Et: Contenido de emulsión teórico referido al árido seco (%).
- R: Residuo asfáltico de la emulsión (expresado en forma decimal).

10. Manteniendo constante el porcentaje de agua total calculado en 9, varíe (aumente o disminuya) el contenido (%) de emulsión respecto del teórico obtenido en 5, determinando el desgaste por Abrasión Medio Húmedo (AMH) para cada uno de ellos según **Sección 6.2.7.9**. Con la información reunida construya un gráfico que permita obtener una curva como la mostrada en **Figura 6.2_ 81**, la cual debe cubrir adecuadamente la zona o rango de trabajo requerido.

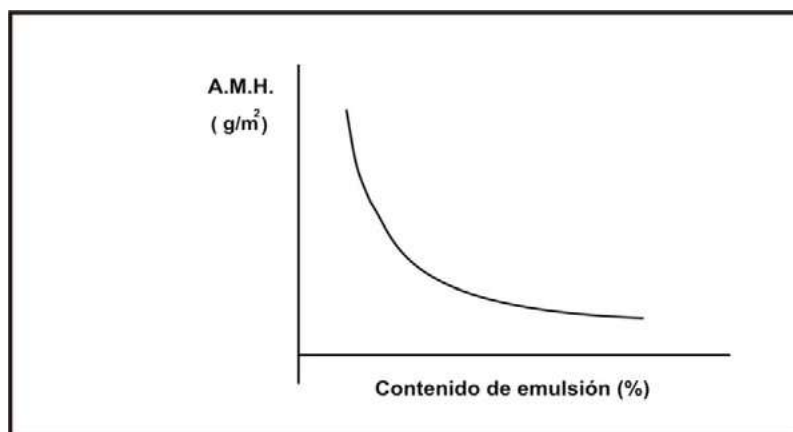


Figura 6.2_81. MH EN FUNCIÓN DEL PORCENTAJE DE EMULSIÓN PARA UN CONTENIDO DE AGUA TOTAL CONSTANTE

Interpole la curva para el valor máximo de desgaste especificado (550 g/m²), excepto cuando se usen emulsiones elastoméricas en que el límite será de 400 g/m², obteniendo el contenido de ligante asociado a este valor. Registre como contenido mínimo de emulsión (E mín.), aproximando a un decimal.

11. Manteniendo constante el porcentaje de agua total calculado en 9, varíe (aumente o disminuya) el contenido (%) de emulsión respecto del teórico obtenido en 5, determinando la cantidad de arena adherida a la probeta (Sa) para cada uno de ellos según **Sección 6.2.7.7**. Con la información reunida construya un gráfico que permita obtener una curva como la mostrada en **Figura 6.2_ 82**, la cual debe cubrir adecuadamente la zona o rango de trabajo requerido. Observación

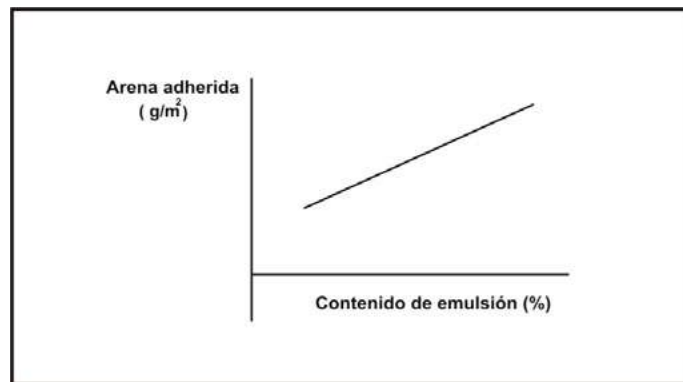


Figura 6.2_82. CURVA TIPO: ARENA ADHERIDA EN FUNCIÓN DEL PORCENTAJE DE EMULSIÓN PARA UN CONTENIDO DE AGUA TOTAL CONSTANTE

De acuerdo al tránsito especificado, expresado como TMDA, seleccione de la **Tabla 6.2_82** la cantidad máxima permisible de arena adherida. Con este valor interpole la curva para obtener el contenido de ligante asociado. Registre como contenido máximo de emulsión (E máx), aproximando a un decimal.

Tabla 6.2_82. VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES PARA ADHESIÓN DE ARENA

Tránsito (TMDA)	Cantidad máxima permisible de arena adherida (g/m ²)
0 a 500	750
500-1.500	650
1.500-a más de 3.000	540

6.2.7.6.4. CÁLCULOS

12. Determine el contenido óptimo de emulsión de acuerdo a la siguiente expresión, aproximando a un decimal:

$$E_{opt} = \frac{E_{mín} + E_{máx}}{2}$$

Donde:

E_{opt}: Contenido óptimo de emulsión (%).

E_{mín}: Contenido mínimo de emulsión (%).

E_{máx}: Contenido máximo de emulsión (%). Para valor de E_{opt} obtenido en 12, determine el contenido (%) óptimo de agua de premezclado, utilizando la expresión siguiente:

$$W_{opt} = W - E_{opt} \cdot (1 - R)$$

Donde:

W_{opt}: Contenido óptimo de agua de premezclado referido al árido seco (%).

W: Contenido de agua total de la mezcla (%).

- Eopt: Contenido óptimo de emulsión referido al árido seco (%).
- R: Residuo asfáltico de la emulsión (expresado en forma decimal).

6.2.7.6.5. INFORME

El Informe debe incluir además de la individualización de la obra, los siguientes antecedentes:

13. Identificación de los materiales
 - a) Procedencia y lugar de muestreo de la emulsión.
 - b) Procedencia y lugar de muestreo del árido.
 - c) Procedencia y lugar de muestreo del agua.
14. Agregados
 - a) Granulometría.
 - b) Material fino menor que 0,08 mm.
 - c) Densidad Neta.
 - d) Desgaste de Los Ángeles.
 - e) Índice de Trituración.
 - f) Equivalente de Arena.
15. Mezcla de áridos
 - a) Dosificación de los áridos.
 - b) Equivalente Centrífugo de Kerosene.
 - c) Área Superficial.
16. Asfalto
 - a) Tipo de emulsión.
 - b) Residuo asfáltico.
17. Mezcla árido – asfalto
 - a) Adherencia Riedel-Weber.
 - b) Adherencia Método Estático.
18. Diseño

Para cada contenido de ligante se debe informar:

- a) Agua de premezcla.
- a) Consistencia.

- b) Desgaste por abrasión bajo agua (indicar valor especificado).
- c) Cantidad de arena adherida (indicar valor especificado).

19. Gráficos

- a) Curva de desgaste por abrasión bajo agua versus porcentaje de emulsión.
- b) Curva de cantidad de arena adherida versus porcentaje de emulsión.
- c) Contenidos mínimo y máximo de emulsión.

20. Valores óptimos de diseño

- a) Contenido (%) óptimo de emulsión con una tolerancia de $\pm 0,5$ puntos porcentuales.
- b) Contenido (%) óptimo de agua de premezcla con una tolerancia de $\pm 2,0$ puntos porcentuales.

SECCION 6.2.7.7.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL PORCENTAJE MÁXIMO DE LIGANTE EN LECHADAS ASFÁLTICAS USANDO LA RUEDA DE CARGA

6.2.7.7.1. OBJETO

Este método se utiliza para establecer el límite máximo del contenido de ligante en lechadas asfálticas mediante el procedimiento de la rueda de carga.

6.2.7.7.2. EQUIPO Y MATERIALES

1. BALANZAS

De capacidad mínima de 2.000 g y precisión de 0,1 g.

2. HORNO

Con convección forzada y capaz de controlar y mantener la temperatura requerida dentro de $\pm 3^{\circ}\text{C}$.

3. MÁQUINA PARA ENSAYO DE RUEDA CARGADA

Capaz de recorrer una longitud de 12" en forma recíproca, a una frecuencia de 44 ciclos/min.

Debe estar constituida por los siguientes elementos (**Figura 6.2_ 83**):

- a) Marco de metal.
- b) Base para sujetar probetas.
- c) Motor.
- d) Reductor.
- e) Biela.
- f) Armazón metálica para sostener carga.
- g) Caja metálica porta pesos.
- h) Rueda de goma lisa, de dureza 60-70, diámetro 76,2 mm y ancho 25,4 mm.
- i) Contador de ciclos.
- j) Esferas de plomo contenidas en bolsas de 11.340 ± 1 g cada una.
- k) Placas galvanizadas de 0,6 x 76 x 406 mm.
- l) Moldes para probeta con las siguientes medidas:
 - Espesores: 3,2 - 4,8 - 6,4 - 8,0 - 9,5 - 12,7 mm.

- Longitud externa: 406 mm, ancho externo = 76 mm.
 - Longitud interna: 381 mm, ancho interno = 51 mm.
- m) Varilla de madera para enrasar, de 152 mm de longitud y 25,4 mm de diámetro.
- n) Marco para arena, de las dimensiones indicadas en Figura 6.2_ 83.
- o) Placa para arena.

4.TERMÓMETRO

Con rango de 0 - 100°C.

5.BOL

De capacidad mínima 1 l.

6.OTROS

Espátula, vaselina sólida, papel mantequilla.

7.ARENA SILÍCEA NATURAL

Calibrada de acuerdo a la granulometría indicada en **Tabla 6.2_ 83**.

Tabla 6.2_83. GRANULOMETRÍA DE LA ARENA CALIBRADA

Tamiz ASTM	mm	% que Pasa
N ° 16	1,18	100
N ° 30	0,6	96 - 100
N ° 40	0,425	65 - 75
N ° 50	0,3	20 - 30
N ° 100	0,15	0 - 4

6.2.7.7.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

8. De acuerdo con la **Sección 6.2.5.5**, reduzca por cuarteo la muestra de árido proveniente de terreno, a una cantidad de material suficiente para obtener la masa de muestra requerida para el ensayo.

Nota 1: La masa total de muestra requerida para el ensayo dependerá del número de determinaciones a realizar.

9. Seque en horno la muestra obtenida en 8 a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ hasta masa constante.
10. Enfríe la muestra a temperatura ambiente.
11. Obtenga por cuarteo, de acuerdo con la **Sección 6.2.5.5**, muestras de árido superiores en un 25% a 35% respecto de la cantidad requerida para llenar el molde seleccionado.

Nota 2: De ser necesario, las muestras podrán contener cemento Portland, cal hidratada u otro material, los cuales deberán estar perfectamente secos antes de incorporarse a la mezcla.

12. Agite la emulsión en su envase con una varilla hasta conseguir homogeneidad total. La emulsión no debe presentar signos de quiebre o sedimentación.

6.2.7.7.4. PROCEDIMIENTO

12. Antes de confeccionar las mezclas, mantenga todos los materiales a 25°C durante al menos 60 min.
13. Elija el molde para preparación de probetas, considerando que el espesor de éste debe ser aproximadamente 1,25 veces el Tamaño Máximo Nominal (mm) del árido.
14. Cubra con papel mantequilla las placas galvanizadas y esparza sobre ellas una capa delgada de vaselina sólida.
15. Centre el molde elegido sobre la placa galvanizada.
16. Tome una muestra de acuerdo a lo señalado en 11, e incorpórole una determinada cantidad de agua (porcentaje referido al árido seco).
17. Mezcle hasta obtener un color uniforme.
18. Incorpore la cantidad necesaria de emulsión y revuelva hasta homogeneizar completamente la mezcla. El tiempo de mezclado no debe ser menor que 1 min. ni superior que 3 min.
19. Vacíe la mezcla dentro del molde y enrase.
20. Coloque la mezcla con molde y base en un horno a 60 ° C y seque hasta masa constante (mínimo 15 h.).
21. Desmolde la probeta y deje enfriar a una temperatura de 25 ± 1 ° C.
22. Coloque la probeta en el soporte de la rueda de carga y sujétela usando las golillas y los respectivos tornillos de sujeción.
23. Limpie prolijamente la rueda del equipo, usando para este efecto agua o algún solvente volátil que no dañe la goma.
24. Coloque la rueda sobre la probeta y ponga el peso especificado en 3j) sobre la caja superior.
25. Lleve el contador de ciclos a cero y luego ponga el equipo en funcionamiento.
26. Mantenga la probeta bajo observación. Si transcurrido un determinado tiempo se observara brillo en la superficie de la probeta, agregue la cantidad suficiente de agua para impedir la adherencia rueda-probeta. Registre el número de revoluciones al cual se inicia este fenómeno.
27. Transcurridos 1.000 ciclos, detenga la máquina y descárguela. Saque la probeta de su soporte y lávela para eliminar partículas sueltas. Luego colóquela en un horno a 60 ° C hasta alcanzar masa constante. Registre este valor como Mi.
28. Ponga nuevamente la probeta en el soporte de la rueda de carga y centre sobre éste el marco para arena.
29. Caliente 200 g de arena a una temperatura de 82°C y espárzala uniformemente dentro del marco. Cubra la arena con la placa metálica, apoye inmediatamente la rueda cargada sobre la placa y complete 100 ciclos.

30. Desarme el conjunto probeta - marco - placa metálica sobre un recipiente para desechos y golpee suavemente para remover la arena no adherida.
31. Pese la probeta y registre su masa como M_f .

6.2.7.7.5. CÁLCULOS

Determine la cantidad de arena adherida a la probeta, de acuerdo a la expresión:

$$S_a = \frac{M_i - M_f}{A} (g / m^2)$$

Donde:

- S_a : Cantidad de arena adherida a la probeta (g/m^2).
- M_i : Masa inicial de la probeta (g).
- M_f : Masa final de la probeta (g).
- A: Área de probeta para adherencia de arena (m^2) (Ver Nota 3).

Nota 3: El área A se calcula a partir de las dimensiones indicadas en la **Figura 6.2_83**. De acuerdo a esto, el valor del área por considerar en la expresión anterior es $0,01355 m^2$.

6.2.7.7.6. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

El resultado del ensayo será el valor promedio de tres determinaciones, expresando éste en g/m^2 y aproximando a números enteros.

6.2.7.7.7. INFORME

El Informe deberá contener al menos los siguientes antecedentes:

- a) Tipo de emulsión empleada.
- b) Contenido (porcentaje) de emulsión utilizado.
- c) Porcentaje de agua en la mezcla, referido al árido seco.
- d) Cantidad de arena adherida a la probeta (g/m^2).
- e) Referencia a este método y cualquier otra información específica relativa al ensayo o a los materiales utilizados.

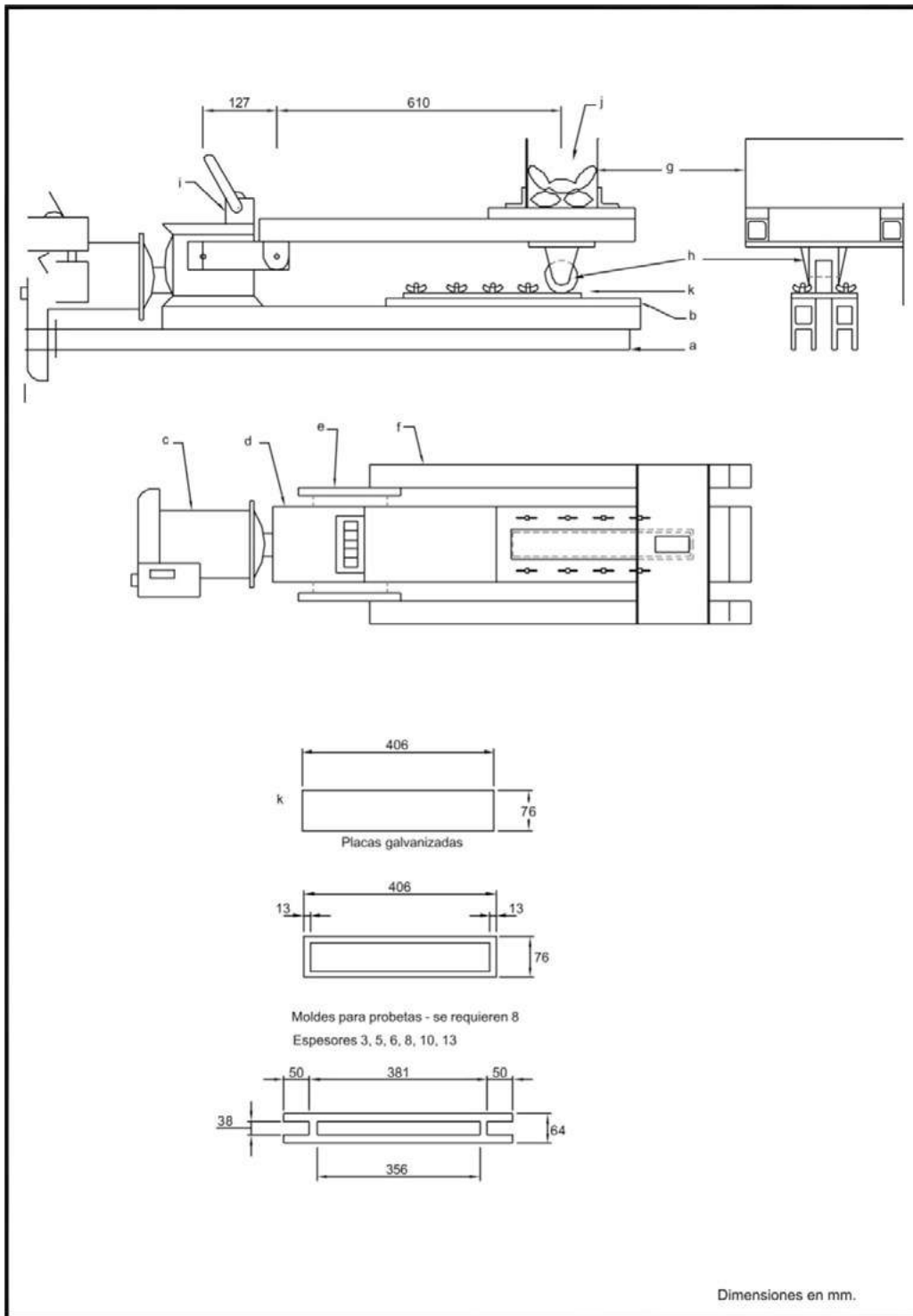


Figura 6.2_83. MÁQUINA DE ENSAYO DE RUEDA CARGADA

SECCION 6.2.7.8.

MÉTODO PARA DETERMINAR LA CONSISTENCIA DE LECHADAS ASFÁLTICAS (ASTM D 3910)

6.2.7.8.1. OBJETO

Este método se utiliza para determinar la cantidad óptima de agua requerida para formar una mezcla estable y trabajable.

6.2.7.8.2. EQUIPOS Y MATERIALES

1.MOLDE

Metálico, con forma tronco - cónica, de 40 ± 3 mm de diámetro interno en la parte superior, 90 ± 3 mm de diámetro interno en la parte inferior y 75 ± 3 mm de altura. Estará confeccionado con una plancha metálica de espesor mínimo 0,8 mm.

2.PLACA DE ESCURRIMIENTO

Placa metálica cuadrada de 250 ± 5 mm y de 3 mm de espesor mínimo, alrededor de cuyo centro lleva trazado una serie de seis círculos concéntricos, el menor de 89 mm de diámetro y los cinco restantes con radios crecientes en 10 mm. (*Figura 6.2_ 84*).

Nota 1: Como alternativa puede utilizar hojas de papel de una calidad mínima equivalente a 75 g/m^2 (papel para fotocopia), que lleven impresos los círculos descritos en el punto 2, las que se desechan luego de cada ensayo.

3.HORNO

De convección forzada y capaz de controlar y mantener la temperatura requerida dentro de $\pm 3^\circ\text{C}$.

4.BALANZAS

De capacidad mínima de 2.000 g y una precisión de 0,1 g.

5.OTROS

Bol y espátula

6.2.7.8.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

6. Reduzca por cuarteo, de acuerdo con la **Sección 6.2.5.5**, la muestra de árido proveniente de terreno a una cantidad de material suficiente para obtener la masa de muestra requerida para el ensayo.

Nota 2: La masa total de muestra requerida para el ensayo dependerá del número de determinaciones por realizar.

7. Seque en horno la muestra obtenida según 6 a una temperatura de 110°C hasta masa constante.

Enfríe la muestra a temperatura ambiente. Obtenga por cuarteo, de acuerdo a la **Sección 6.2.5.5**, muestras de aproximadamente 600 g de material seco.

Nota 3: De ser necesario, las muestras podrán contener cemento Portland, cal hidratada u otro material, los que deberán estar perfectamente secos antes de incorporarse a la mezcla.

8. Agite la emulsión en su envase con una varilla hasta conseguir homogeneidad total. La emulsión no debe presentar signos de quiebre o sedimentación.

6.2.7.8.4. PROCEDIMIENTO

9. Antes de confeccionar las mezclas todos los materiales deben mantenerse a 25°C durante, al menos, 60 min.
10. Tome una muestra de 600 g, obtenida según 7, e incorpórole una determinada cantidad de agua (Porcentaje referido al árido seco).
11. Mezcle hasta obtener un color uniforme.
12. Incorpore la cantidad correspondiente de emulsión y revuelva hasta homogeneizar completamente la mezcla. El tiempo de mezclado no debe ser menor que 1 min. ni superior por 3 min.
13. Coloque el molde sujeto firmemente sobre la placa de escurrimiento, con su diámetro mayor hacia abajo y céntralo.
14. Llene el molde con la mezcla.
15. Levante con cuidado el molde verticalmente y deje que la mezcla fluya sobre la base graduada, hasta que se detenga.
16. Registre el desplazamiento en centímetros alcanzado por la mezcla en cuatro puntos de la escala de círculos de la base graduada, separados entre sí en 90° y con aproximación de 0,5 cm.

6.2.7.8.5. CÁLCULOS

El resultado del ensayo será el valor medio de las cuatro lecturas realizadas según 16, con aproximación a 1 decimal.

6.2.7.8.6. INFORME

El informe debe incluir al menos los siguientes antecedentes:

- a) Tipo de emulsión empleada.
- a) Porcentaje de emulsión utilizado.
- b) Porcentaje de agua en la mezcla, referido al árido seco.

- c) Valor promedio de desplazamiento en centímetros registrado por la mezcla.
- d) La referencia a este método y cualquier otra información específica relativa al ensayo o a los materiales utilizados.

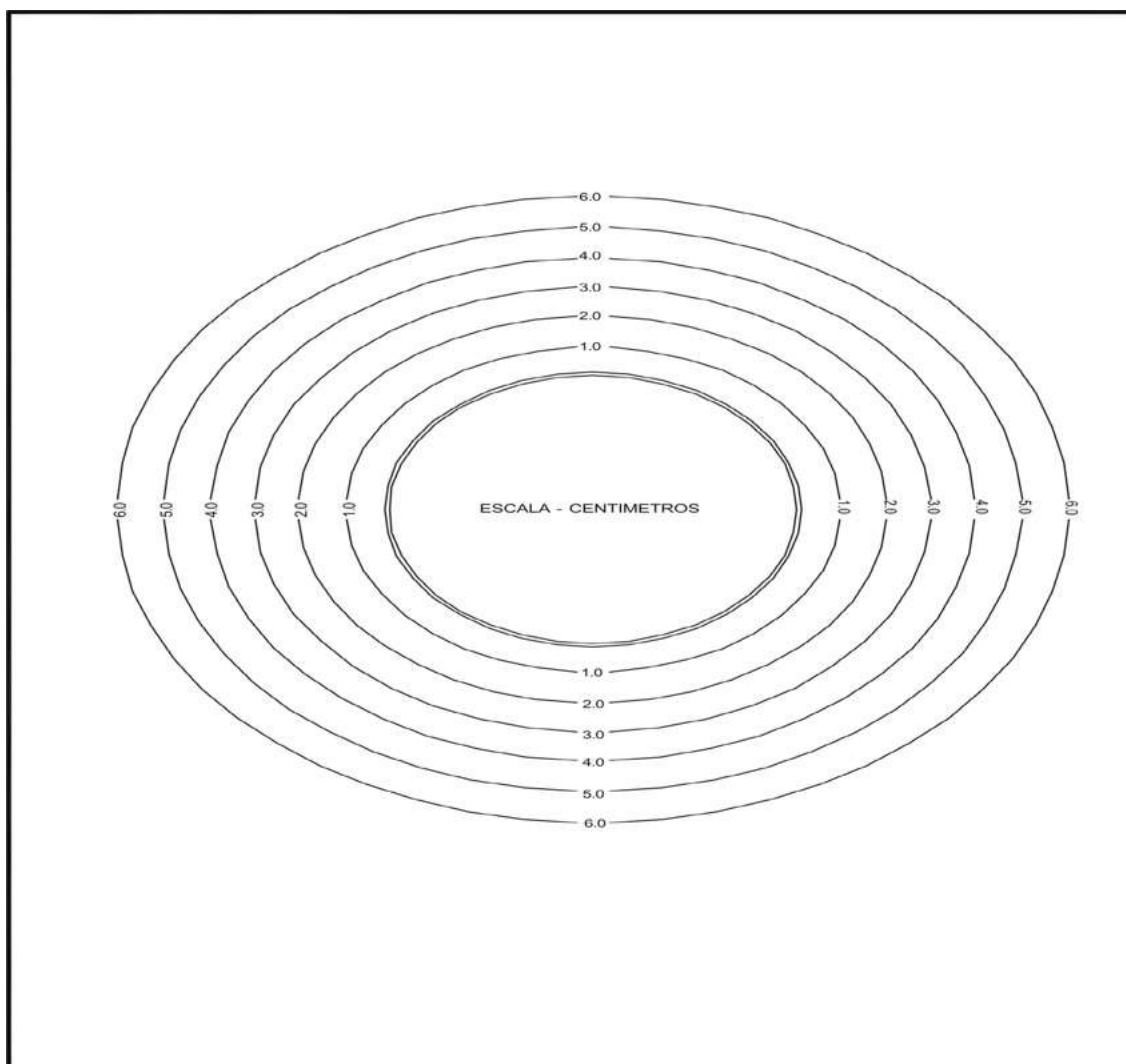


Figura 6.2_84. PLACA DE ENCUBRIMIENTO PARA EL ENSAYO DE CONSISTENCIA

SECCION 6.2.7.9.

MÉTODO DE ABRASIÓN EN MEDIO HÚMEDO PARA LECHADAS ASFÁLTICAS (ASTM D 3910)

6.2.7.9.1. OBJETO

Este método se utiliza para determinar la resistencia al desgaste por abrasión bajo agua de probetas de lechada asfáltica; es una simulación que correlaciona el comportamiento en laboratorio con el desempeño a escala real de las lechadas asfálticas.

Mediante este procedimiento se determina el contenido mínimo de ligante necesario para obtener una lechada con la cohesión suficiente para resistir la acción abrasiva producida por el tránsito.

6.2.7.9.2. EQUIPO Y MATERIALES

A. BALANZAS

Una de capacidad 5.000 g y precisión de 1 g y otra de capacidad 2.000 g y precisión de 0,1 g.

B. REVOLVEDORA MECÁNICA PLANETARIA (MÁQUINA DE ABRASIÓN)

Equipada con un motor capaz de hacer girar, mediante un sistema planetario, un eje vertical con un doble movimiento de rotación y circular de traslación. En el extremo inferior del eje va montado el cabezal de abrasión que roza directamente la probeta. La velocidad de rotación del cabezal de abrasión debe ser 144 rpm. El peso del conjunto, soporte más goma de abrasión, es de 2.270 g (*Figura 6.2_ 85*). El eje del cabezal debe tener un recorrido libre vertical de 12,7 mm.

C. RECIPIENTE METÁLICO

De fondo plano con paredes verticales laterales de 50 mm de altura mínima. Debe disponer de cuatro mordazas igualmente espaciadas, capaces de asegurar a la base del recipiente una probeta de 279 ± 1 mm de diámetro.

D. MOLDES

Deben tener forma de anillo circular con un diámetro interno de 279 ± 1 mm, un espesor mínimo de 9 mm y alturas de $6,3 \pm 0,5$ mm, $8,2 \pm 0,5$ mm y $10,5 \pm 0,5$ mm, dependiendo del tamaño máximo del árido empleado.

Nota 1: La altura del molde debe ser, como mínimo, un 15% superior al tamaño máximo absoluto del árido empleado en la confección de la lechada asfáltica.

E. BASE PARA PROBETAS

Debe ser de plástico rígido o metal, forma cuadrada de lado mínimo 300 mm y espesor igual o superior a 2 mm.

F.GOMA DE ABRASIÓN

Fabricada con una cubierta de doble tela para una presión de 25 atm y una dureza de 80 grados Shore. Debe tener un diámetro externo de $31 \pm 0,5$ mm, un diámetro interno de $19 \pm 0,5$ mm y una longitud de 127 ± 1 mm.

G.HORNO

De convección forzada y capaz de controlar y mantener la temperatura requerida dentro de $\pm 3^{\circ}\text{C}$.

H.BAÑO DE AGUA

Capaz de controlar y mantener una temperatura de $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$.

I.OTROS

Bol, espátula, cronómetro, enrasador metálico, piseta, vaselina sólida y papel mantequilla.

6.2.7.9.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- a. Reduzca por cuarteo, de acuerdo a la **Sección 6.2.5.5**, la muestra de árido proveniente de terreno a una cantidad de material suficiente para obtener la masa de muestra requerida para el ensayo.

Nota 2: La masa total de muestra requerida para el ensayo dependerá del número de determinaciones por realizar.

- b. Seque la muestra obtenida en (a) en horno hasta masa constante a una temperatura de 110°C .
- c. Enfríe la muestra a temperatura ambiente.
- d. Obtenga por cuarteo, de acuerdo a la **Sección 6.2.5.5**, muestras de aproximadamente 1.000 g de material seco.

Nota 3: Si fuere necesario, las muestras podrán contener cemento Portland, cal hidratada u otro material, los cuales deberán estar perfectamente secos antes de incorporarse a la mezcla.

- e. Agite la emulsión en su envase con una varilla hasta conseguir homogeneidad total. La emulsión no debe presentar signos de quiebre o sedimentación.

6.2.7.9.4. PROCEDIMIENTO

- a. Antes de confeccionar las mezclas, todos los materiales deben mantenerse a 25°C durante, al menos, 60 min.
- b. Cubra con papel mantequilla la base para probetas y esparza sobre él una capa delgada de vaselina sólida.
- c. Centre el molde elegido según (D) sobre la base para probetas, preparada de acuerdo con 16.
- d. Tome una de las muestras de 1.000 g e incorpórole una determinada cantidad de agua (porcentaje referido al árido seco).

- e. Mezcle hasta obtener un color uniforme.
- f. Incorpore la cantidad correspondiente de emulsión y revuelva hasta homogeneizar completamente la mezcla. El tiempo de mezclado no debe ser menor que 1 min. ni superior que 3 min.
- g. Vacíe la mezcla dentro del molde y enrase con el mínimo de manipulación.
- h. Coloque la mezcla con molde y base en un horno a 60°C y seque hasta masa constante (mínimo 15 h.).
- i. Desmolde la probeta y deje enfriar a temperatura ambiente.
- j. Pese la probeta y registre su masa como M_i .
- k. Coloque la probeta en un baño de agua a 25°C durante 60 a 75 min.
- l. Saque la probeta del aguay colóquela en el recipiente metálico de la máquina de abrasión, fijándola con las mordazas.
- m. Cubra completamente la probeta con agua a 25°C. La altura del agua sobre la probeta deberá ser de 6 mm como mínimo.
- n. Apoye libremente el cabezal de abrasión sobre la superficie de la probeta; asegúrese de la perpendicularidad del eje del cabezal con la superficie de la probeta.
- o. Ponga en marcha la máquina de abrasión durante 5 min.
- p. Determine el área (m^2) de la probeta sometida a desgaste; désignela como A.
- q. Retire la probeta de la máquina de abrasión y lávela removiendo todo el material suelto.
- r. Seque la probeta en un horno a 60°C hasta masa constante.
- s. Retire la probeta del horno y deje enfriar a temperatura ambiente.
- t. Pese la probeta y registre su masa como M_f .

6.2.7.9.5. CÁLCULOS

Determine el desgaste por abrasión bajo agua con la siguiente expresión, aproximando al entero:

$$D.B.A = \frac{M_i - M_f}{A} \text{ (g / m}^2\text{)}$$

Donde:

D.B.A.: Desgaste por abrasión bajo agua (g/m^2).

M_i : Masa de la probeta seca antes del desgaste (g).

M_f : Masa de la probeta seca después del desgaste (g).

A: Área de desgaste de la probeta de lechada asfáltica (m^2).

El resultado del ensayo será el valor promedio de tres determinaciones, aproximando a números enteros.

6.2.7.9.6. INFORME

El informe debe incluir al menos los siguientes antecedentes:

- a) Tipo de emulsión empleada.
- b) Porcentaje de emulsión utilizado.
- c) Porcentaje de agua en la mezcla, referido al árido seco.
- d) Valor promedio de desgaste por abrasión bajo agua (g/m^2).
- e) Referencia a este método y cualquier otra información específica relativa al ensayo o a los materiales utilizados.

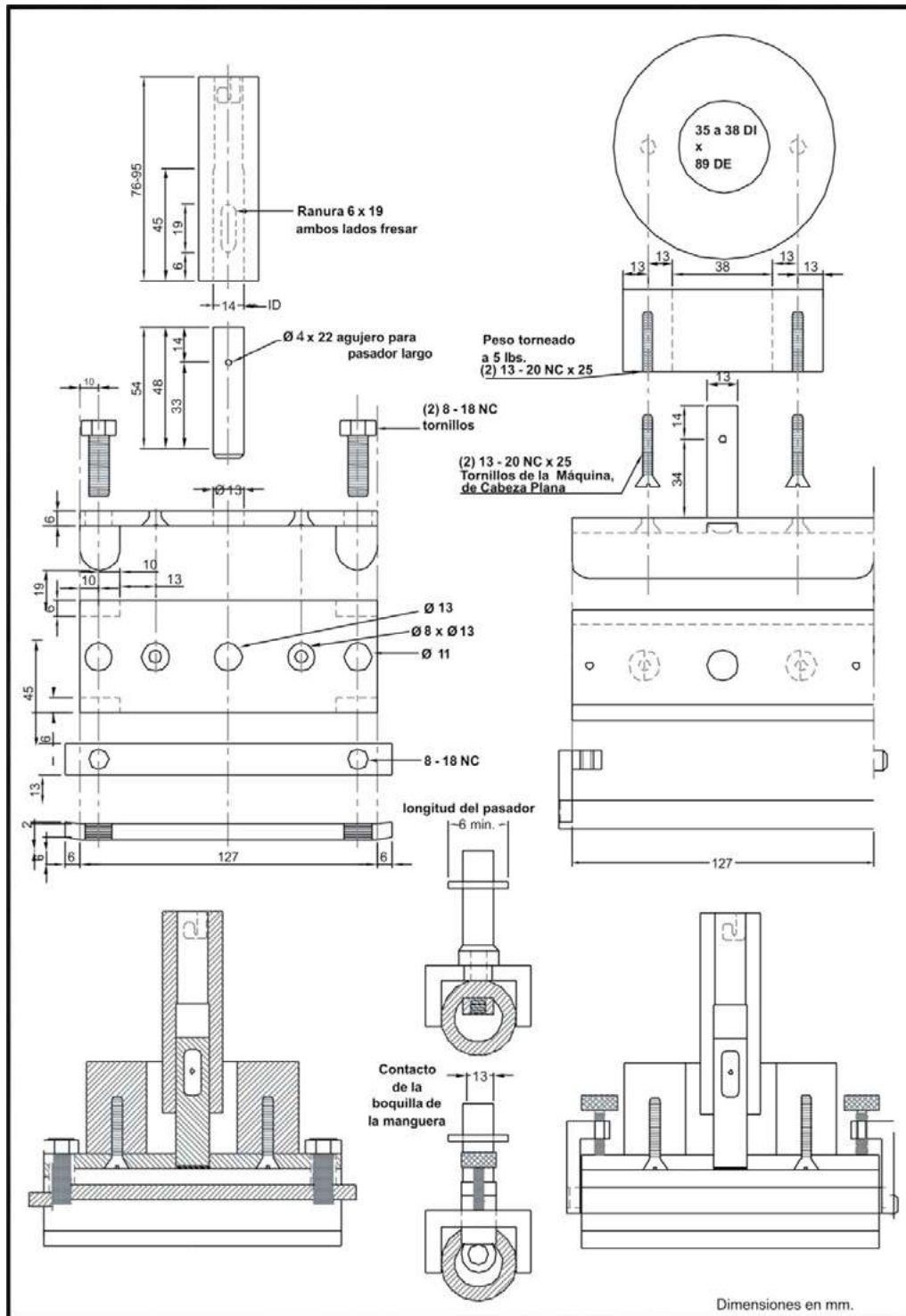


Figura 6.2_85. CONJUNTO DE ABRASIÓN.

CAPITULO 6.2.8.

SECCION 6.2.8.1.

MÉTODO PARA DETERMINAR LA RUGOSIDAD DE LOS PAVIMENTOS MEDIANTE PERFILOMETRÍA LONGITUDINAL

6.2.8.1.1. OBJETO

El Método describe el procedimiento para determinar la rugosidad superficial (irregularidades de la superficie) de pavimentos asfálticos, de hormigón, tratamientos superficiales y eventualmente, de otros tipos de capas de rodadura, expresada mediante el indicador IRI (Internacional Roughness Index).

6.2.8.1.2. DEFINICIONES

A.RUGOSIDAD

Alteraciones del perfil longitudinal del camino que provocan vibraciones en los vehículos que lo recorren. Se mide con el indicador denominado Índice de Rugosidad Internacional, IRI (Ver Referencias), el que se expresa en m/km.

B.SINGULARIDAD

Cualquier alteración del perfil longitudinal del camino que no provenga de fallas constructivas y que incremente el valor del IRI en el tramo en que se encuentra. Entre ellas se pueden citar puentes, badenes, tapas de alcantarillas, cuñas, cruces de calles y otras, que por diseño geométrico alteren el perfil del camino.

C.SECTOR HOMOGÉNEO

Superficie de rodadura de estructuración uniforme a lo largo del camino.

6.2.8.1.3. EQUIPOS Y MATERIALES

- Existen dos categorías de equipos para medir las irregularidades del perfil longitudinal con el máximo nivel de precisión, que se diferencian sólo por la velocidad con que miden (rendimiento) y no por la precisión con que lo hacen. Los más conocidos son los que se indican a continuación, sin perjuicio que puedan existir otros que cumplan con los requisitos exigidos a una u otra categoría. En todo caso, para los equipos que efectúen mediciones, estas deben corresponder a las clasificadas como clase I según el Banco Mundial.

A.EQUIPOS DE ALTO RENDIMIENTO

Perfilómetro Óptico

Perfilómetro Láser

B.EQUIPOS DE BAJO RENDIMIENTO (PORTÁTILES)

Nivel y mira (topográficos).

Perfilómetro transversal (viga).

Perfilómetro portátil (con inclinómetro).

Podrán incluirse en estas categorías otros equipos que cumplan los requisitos exigidos.

Además existen equipos para medir la rugosidad de los pavimentos que no funcionan en base a la medición del perfil, entre los que se puede citar los equipos de tipo respuesta.

6.2.8.1.4. CONDICIONES GENERALES

A. CALIBRACIÓN Y OPERACIÓN DEL EQUIPO

En general, los procedimientos de calibración y operación de los equipos deberán ajustarse a las indicaciones de los respectivos fabricantes.

B. MÉTODOS DE CONTROL

Para el autocontrol, el Contratista debe utilizar alguno de los sistemas perfilométricos mencionados, siempre que cumpla con que sus mediciones sean las denominadas clases I. Para el control de la rugosidad, se deberá procesar el programa computacional del Índice de Rugosidad Internacional, IRI (Ver: Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements, Publicación Técnica N° 46 del Banco Mundial, 1986).

6.2.8.1.5. PROCEDIMIENTO

Las mediciones se realizarán longitudinalmente por cada pista, en forma separada, mediante un sistema perfilométrico de precisión. Se registrará la variación del perfil al milímetro, a razón de no menos de cuatro puntos por metro, es decir, con un distanciamiento no superior a 250 mm.

La medición se efectuará en forma continua, comenzando desde el inicio del tramo o Contrato a controlar, hasta el término de él y/o viceversa, según sea el caso.

6.2.8.1.6. PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN

La evaluación como control receptivo de la rugosidad (IRI) de un tramo de camino o de un Contrato, deberá ajustarse al siguiente procedimiento:

A. FORMA DE PROCESAR

Procesar según el sentido del tránsito, cada pista separadamente en tramos de 200 m o fracción, en caso de que un tramo determinado al inicio o al término de un sector homogéneo no alcance los 200 m. El kilómetro inicial debe ajustarse al primer múltiplo de 200 m, según el balizado del contrato. Si la longitud del tramo es inferior a 100 m, no se considerará en la evaluación; si es igual o superior, considérela como tramo independiente. Lo anterior también es válido en los sectores finales del tramo o contrato. Los informes con valores de IRI se entregarán referidos al kilometraje o balizado del contrato. Registre el IRI en m/km, aproximando a un decimal.

B. SINGULARIDADES

Se determinará si hay singularidades y se identificarán. Las singularidades que se pudieran presentar afectarán el tramo completo de 200 metros en la pista en que se en-

cuentran ubicadas, el cual no se considerará en las evaluaciones. Las singularidades que se emplacen en dos tramos vecinos, ubicadas al final de un tramo y al comienzo del siguiente (ambas en la misma pista), afectarán los dos tramos de 200 m, los que no se considerarán en las evaluaciones. Las singularidades que tengan longitudes de más de 200 m afectarán los tramos que las contengan, su longitud será múltiplo de 200 m y no se considerarán en las evaluaciones y para las que tengan longitudes de más de 200 metros, en cuyo caso, la longitud a considerar será un múltiplo de 200 m.

6.2.8.1.7. CÁLCULOS

En los sectores homogéneos se evaluará el IRI por medias fijas, tomando los valores de cinco tramos consecutivos. Se entenderá que el pavimento tiene una rugosidad aceptable si todas las medias aritméticas fijas de 5 valores consecutivos de IRI son iguales o inferiores al valor indicado en las Especificaciones Técnicas del Contrato y ninguno de los valores individuales supera los límites establecidos en dichas Especificaciones.

Si no es posible disponer de 5 valores consecutivos para formar una media fija, se determinará el promedio aritmético de los valores con que se cuente hasta un mínimo de dos. Se aceptará la rugosidad si el promedio resulta igual o inferior al valor indicado en las Especificaciones Técnicas del Contrato para media fija y ninguno de los valores individuales supera los límites estipulados en dichas Especificaciones.

El procedimiento es válido sólo cuando existan al menos dos valores para determinar el promedio; si no es así y sólo se dispone de un valor, éste no tendrá más exigencia que la de un valor individual.

6.2.8.1.8. INFORME

El informe correspondiente deberá contener al menos los siguientes antecedentes:

- a) Nombre del Contrato.
- b) Departamento.
- c) Rol y Código del camino.
- d) Número y fecha de la resolución que adjudicó el contrato.
- e) Empresa Contratista.
- f) Tipo de Pavimento.
- g) Sector controlado.
- h) N° de la pista controlada.
- i) Fecha de medición.

En la **Figura 6.2_ 86** se incluye un formulario tipo que define la forma en que debe presentarse el Informe. Para llenarlo se debe proceder como sigue:

- En las primeras dos columnas se debe anotar el kilometraje inicial y el final del tramo medido.
- En la tercera se debe registrar el valor de IRI [m/km].

- En la cuarta columna, encabezada por la palabra “topónimo”, se identificará cualquier singularidad que exista en el camino, por ejemplo: un puente, un paso superior o un cambio del tipo o características del pavimento, que sirva de antecedente o referencia a quien evalúe la información.

Nombre del Contrato: _____			
Departamento: _____			
Rol y Código del Camino: _____			
Nº y fecha de la Resolución que adjudicó el Contrato: _____			
Empresa Contratista: _____			
Tipo de Pavimento: _____			
Sector Controlado: _____			
Nº de la Pista Controlada: _____			
Fecha de Medición: _____			
TRAMO		IRI	TOPÓNIMO
Dm. de inicio	Dm. de término	(m/km)	
OBSERVACIONES :			
Nota : Proceso de medición realizado cada 200 m y/o fracción			
Entidad a cargo del control:			
Profesional responsable del control:			
_____ FIRMA			

Figura 6.2_86. FORMULARIO TIPO: INFORME DE CONTROL DE IRI MEDIANTE PERFILÓMETRO

SECCION 6.2.8.2.

MÉTODO PARA DETERMINAR LAS IRREGULARIDADES SUPERFICIALES DE LOS PAVIMENTOS MEDIANTE HI-LO

6.2.8.2.1. OBJETO

El método describe el procedimiento para determinar las irregularidades superficiales de los pavimentos mediante un Detector Hi-Lo. Asimismo especifica las características a que debe ajustarse el equipo para medir, su calibración, operación y mantenimiento.

6.2.8.2.2. EQUIPOS Y MATERIALES

- El Detector Hi-Lo es una regla rodante, conformada por una viga metálica indeformable que se apoya sobre tres ruedas. Al trasladar el instrumento, la rueda dispuesta al centro de la viga y que es la rueda detectora, experimenta desplazamientos verticales debido a las irregularidades (altos y bajos) de la superficie; estas variaciones son amplificadas sobre un cuadrante montado en el centro del equipo, que incluye una escala graduada al milímetro y un rango de ± 10 mm. Las magnitudes de las irregularidades del pavimento pueden leerse directamente en dicha escala.
- El Detector Hi-Lo se opera por medio de una manilla de barra con sistema de dirección que controla la rueda timón delantera; está conformado por los siguientes elementos básicos (ver *Figura 6.2_ 87*).

A.VIGA METÁLICA

Tiene una longitud de 3.000 ± 50 mm y una rigidez adecuada para que el peso propio del equipo no produzca una flecha vertical ($f_v \leq 0,1$ mm) y no se generen deformaciones transversales ($f_h \leq 1$ mm). Es deseable que para su maniobrabilidad el material sea en base a aluminio, o de tal forma que su masa no sobrepase los 40 kg para los equipos de control rutinario.

B.RUEDAS DE APOYO

Deberán ser metálicas, de igual diámetro, con bujes o rodamientos que faciliten sus movimientos y con llantas de goma - neoprene de una dureza de 80 ± 5 shore A se localizarán en los extremos de la viga, de manera que la distancia entre ejes sea de 3.000 ± 50 mm. Sus dimensiones serán las siguientes:

- Diámetro: 200 ± 10 mm.
- Ancho: 40 ± 2 mm.

C.RUEDA DETECTORA

Deberá ser metálica, con buje o rodamiento que facilite su movimiento y con llantas de goma -neoprene de una dureza de 80 ± 5 shore A; deberá ubicarse en el centro de la viga, a una distancia entre ejes de 1.500 ± 25 mm, de cada rueda extrema. Sus dimensiones serán:

- Diámetro: 150±5 mm.
- Ancho: 30 ± 2 mm.

D.SISTEMA TRANSDUCTOR

Consistirá en un cuadrante tipo abanico, calibrado en milímetros con una amplitud de ± 10 mm y un sistema de conversión angular de amplificación 1 a 15 mínimo.

E.MISCELÁNEOS

Es recomendable que el equipo cuente con accesorios tales como marcador de tinta, para delimitar las zonas irregulares y una chicharra o sistema de luces que acuse el comienzo y término de las irregularidades superiores a lo admisible.

6.2.8.2.3. CONDICIONES GENERALES

A.CALIBRACIÓN

Se realizan dos calibraciones diferentes: una tendiente a certificar que el equipo cumple con los requisitos expuestos en Equipos y materiales, y que se denomina sistemática; y otra rutinaria, cuyo objetivo es verificar la posición cero al inicio de las medidas.

B.CALIBRACIÓN SISTEMÁTICA

Esta calibración debe efectuarla al inicio de cada faena o por lo menos una vez al año por un laboratorio competente, el que deberá certificar el cumplimiento de las especificaciones en cuanto a dimensiones, dureza de las llantas, sistema de medida y flechas.

- Calibración de nivel.** La posición de nivel o posición cero de las mediciones corresponde a la recta imaginaria que une tangencialmente las tres ruedas del equipo Detector Hi-Lo. Efectúe la calibración de nivel sistemática apoyando el instrumento sobre un piso o viga plana, sin resaltes, de una longitud mínima de 3.500 mm, que no sufra ningún tipo de deformación y que se encuentre libre de golpes o alteraciones de cualquier tipo; la tolerancia de desnivel de la superficie de apoyo es de 0,05 mm. Con el equipo apoyado sobre este patrón calibre la posición cero.
- Control de la escala milimétrica.** La calibración de la escala milimétrica, grabada en el cuadrante del Hi-Lo, se debe realizar con el equipo montado sobre un piso completamente nivelado. Con la aguja indicadora previamente calibrada y en posición cero, coloque bajo la rueda detectora placas de espesores conocidos entre 1 y 10 mm, para comprobar la concordancia entre lecturas del cuadrante con los espesores de las placas para irregularidades del rango de altos; para controlar la lectura del cuadrante para las irregularidades del rango de bajos, las diferentes placas de calibración se colocan simultáneamente bajo ambas ruedas de apoyo. Cualquier discordancia entre las lecturas del cuadrante y los espesores de las placas de control significa que el instrumento no puede ser aceptado; deberá ser corregido y luego controlado nuevamente hasta que cumpla con la calibración especificada. Las placas empleadas en la calibración deben tener 30 mm de ancho por 40 mm de largo.
- Verificaciones.** Además, como parte de la calibración sistemática se deberán realizar los siguientes controles:
 - Verificar que las características de la viga y flechas estén dentro de tolerancias.

- Verificar las dimensiones de cada una de las ruedas. La diferencia entre los radios máximo y mínimo debe ser Inferior a 0,3 mm.
- Verificar la dureza de las llantas; si presentan desgaste, éste debe ser uniforme y dentro de las tolerancias aceptadas para los diámetros.
- Verificar condiciones del estado mecánico.

C.CALIBRACIÓN RUTINARIA

Realice este tipo de calibración inmediatamente antes de emplear el equipo en cada jornada y después de cada transporte dentro de la faena. Consiste esencialmente en el chequeo de la posición cero; control **que** debe realizarse mediante un banco o viga de calibración nivelado, con una precisión de 0,4 mm. Alternativamente, el control de nivel, puede efectuarlo con el equipo suspendido en el caballete, determinando la posición cero mediante un hilo nylon de pesca de 1 mm de diámetro, con una tensión mínima de 5 Kgf. El hilo debe tensarse uniendo ambas ruedas de apoyo, lo que permite regular la rueda central o detectora de modo que, al cortar luz con ésta, su posición coincida con la lectura cero del cuadrante.

6.2.8.2.4. MANTENIMIENTO Y TRANSPORTE

A.MANTENIMIENTO

Se recomienda verificar semanalmente los bujes o rodamientos del rodado, del sistema transductor de las medidas y de la rectitud de la aguja indicadora. Mensualmente, verifique el desgaste de la rótula transmisora de los movimientos verticales y el desgaste de las llantas de las ruedas, especialmente de la detectora, que tiende a ovalarse. En caso de detectarse cualquiera de estas deficiencias, se deberá proceder según las recomendaciones dadas en Calibración.

B.TRANSPORTE

Dada la fragilidad y sensibilidad del Detector Hi-Lo disponga una armazón o caballete estable, firme y liviano, que lo asegure durante los traslados; preste especial cuidado a la fijación de la batiente amplificadora, ya que cualquier oscilación puede provocar la descalibración y/o destrozos en el instrumento. Durante los traslados y transportes deben evitarse los golpes y los movimientos violentos.

6.2.8.2.5. PROCEDIMIENTO

- a. Antes de iniciar la operación de control de las irregularidades superficiales de un pavimento, debe comprobarse que el instrumento se encuentra calibrado de acuerdo a lo estipulado en 7 y que el pavimento se encuentra limpio y libre de suciedades que puedan alterar las lecturas del equipo.
- b. Para operar el equipo empuje en dirección predominantemente paralela al eje del camino, a una velocidad de caminata normal y procurando que la rueda detectora no salte. Esta rueda es la que da la posición del equipo, por lo que es necesario tener presente que en todo momento las tres ruedas deben encontrarse dentro de los límites del pavimento por controlar.
- c. En caso de encontrarse una irregularidad mayor a la permisible se procederá de acuerdo a lo señalado en "Operación para control de recepción" a) o b).

d. **Operación para control correctivo**

Para delimitar la superficie con irregularidades mayores a las permisibles, efectúe sucesivas pasadas, tantas veces como sea necesario, en lo posible separadas 25 cm unas de las otras, determinando la superficie afectada y la magnitud de las irregularidades. Dibuje sobre la superficie del pavimento curvas de nivel, que indiquen las distintas magnitudes de las irregularidades, para proceder a las correcciones de acuerdo a lo especificado en el Contrato correspondiente.

Una vez efectuadas las correcciones, repita el procedimiento para asegurar que la superficie está dentro de los límites aceptables.

e. **Operación para control de recepción**

Una vez informado el término del control correctivo, proceda a determinar, en forma definitiva, los altos y los bajos, mediante una pasada del detector por cualquier sección longitudinal del camino y de acuerdo con lo que se indica a continuación:

- **Medición en asfalto.** Antes de comenzar las mediciones, realice la calibración rutinaria del equipo. Enseguida, coloque el instrumento en la dirección de medición, con la rueda trasera o la central, según corresponda, en el inicio del tramo a medir; luego inicie el avance para medir.

Considere que un sector presenta irregularidad cuando la rueda detectora indica en el cuadrante un valor mayor al máximo permisible (en los rangos altos o en los rangos bajos) del que se estipula en las especificaciones de lisura del Contrato. Cuando la aguja sobrepasa el máximo permisible (en los rangos altos o en los rangos bajos), detenga el avance normal, para seguir lentamente con el propósito de determinar si la irregularidad va en aumento y ubicar el valor máximo.

A continuación, delimite el comienzo y el fin de la zona que presenta irregularidades superiores a las admisibles (indicado por la rueda central). Luego determine el valor opuesto de la irregularidad registrada, para lo cual avance o retroceda el equipo dos metros antes y dos metros después de la zona delimitada. Si la aguja no pasa al otro lado del cero, considere cero; si pasa, considere el máximo valor a que llegó dentro de los cuatro metros. El área afectada se determina sumando cuatro metros a la zona delimitada (dos metros antes y dos metros después de ésta) y multiplicando por el ancho de la pista.

En caso que la distancia entre dos zonas delimitadas sea inferior a cuatro metros, sume dos metros antes y dos metros después de cada zona delimitada. Se origina así una superposición de áreas, obteniéndose dos tramos: uno con la irregularidad mayor, incluida la zona de superposición y el otro con la irregularidad menor, sin incluir la zona de superposición. Determine el área afectada multiplicando cada tramo por el ancho de la pista.

A modo ilustrativo, en la **Figura 6.2_ 88**, se incluyen dos ejemplos prácticos de cálculo de áreas afectadas por incumplimiento de lisura en pavimentos asfálticos; se ha supuesto que la máxima irregularidad admisible es de 5 mm.

- **Medición en hormigón.**

En los pavimentos de hormigón, la unidad de muestreo es la losa, por lo que se multa por losas completas aún cuando sólo una parte presente incumplimiento en la lisura. Antes de comenzar las mediciones realice la calibración rutinaria del equipo; enseguida, coloque el instrumento en la dirección de medición, con la rueda trasera o la central, según corresponda, en el inicio del tramo a medir;

luego inicie el avance para medir. Considere que una losa presenta irregularidades cuando la rueda detectora indica en el cuadrante, un valor mayor al máximo permisible (en los rangos altos o en los rangos bajos), que se estipula en las especificaciones de lisura del Contrato.

Cuando en una losa la aguja sobrepasa el valor máximo permisible (en los rangos altos o en los rangos bajos), detenga el equipo y luego avance lentamente, para determinar si la irregularidad va en aumento y pueda ubicar el valor máximo dentro de la losa (la irregularidad podría seguir aumentando en la losa siguiente, pero él o correspondería a otra losa).

En seguida determine, dentro de la losa afectada, el valor opuesto de la irregularidad registrada; para ello avance o retroceda el equipo, pero siempre con la rueda central dentro de la losa. Si la aguja no se pasa al lado de los negativos, considere cero; si se pasa, considere el máximo valor que se alcanzó.

6.2.8.2.6. INFORME

Informe los valores de las irregularidades medidas, tanto en pavimentos asfálticos como de hormigón, aproximando al entero absoluto inmediatamente inferior. El encabezamiento del Informe debe incluir como antecedentes, lo siguiente:

- a) Identificación del contrato (nombre de la obra, sector, departamento, municipio).
- b) Número y fecha de la resolución que adjudica el contrato.
- c) Empresa constructora.
- d) Tipo de pavimento y fecha de medición.
- e) Tramo medido y pista controlada.

Las **Figuras 6.2_89 y 6.2_90**, muestran los formatos tipo de Informe por utilizar para cada tipo de pavimento y en los que deberá registrar los valores de las irregularidades mayores a las admisibles.

Nombre del Contrato: _____			
Departamento: _____			
Rol y Código del Camino: _____			
N° y fecha de la Resolución que adjudicó el Contrato: _____			
Empresa Contratista: _____			
Tipo de Pavimento: _____			
Sector Controlado: _____			
N° de la Pista Controlada: _____			
Fecha de Medición: _____			
TRAMO		IRI	TOPÓNIMO
Dm. de inicio	Dm. de término	(m/km)	
OBSERVACIONES:			
Nota : Proceso de medición realizado cada 200 m y/o fracción			
Entidad a cargo del control:			
Profesional responsable del control:			
			_____ FIRMA

Figura 6.2_87. DETECTOR HI-LO.

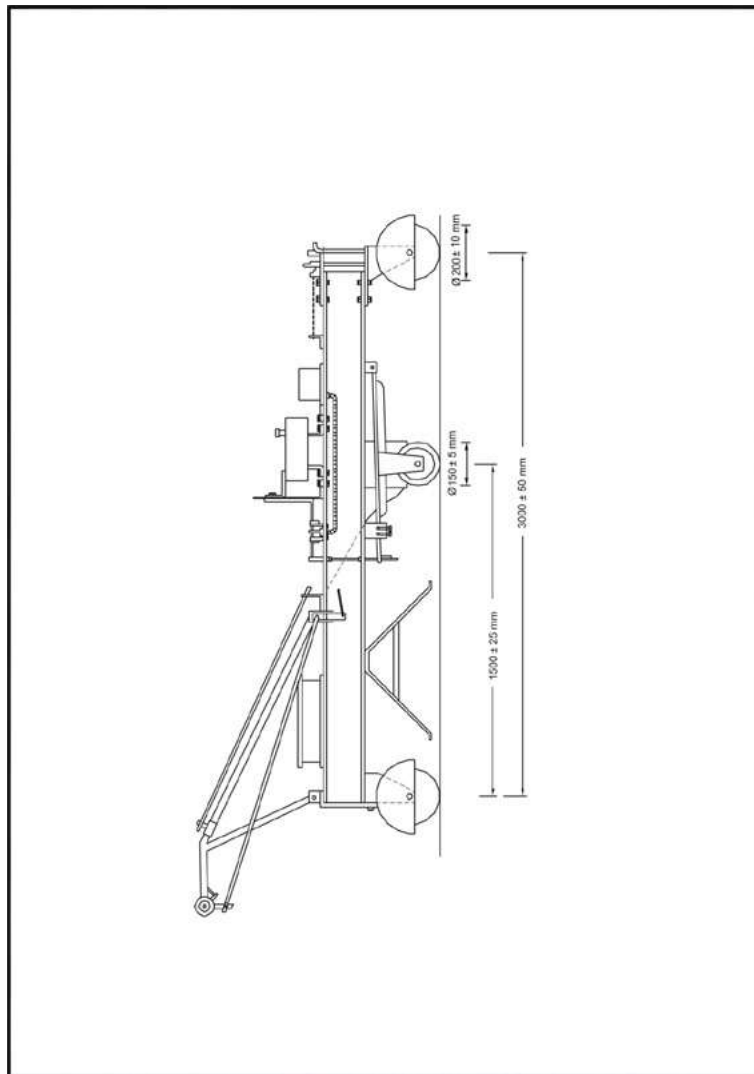


Figura 6.2_88. FORMULARIO TIPO DE AUSCULTACIÓN. CÁLCULO DE ÁREAS CON FALLAS DE LISURA.

Contrato: _____																												
Resolución: _____																												
Contratista: _____																												
Tipo de pavimento: _____																												
Fecha de control: _____																												
Tramo : Dm. _____		al Dm. _____		Pista: _____																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">Ubicación (km)</th> <th colspan="2" style="width: 30%;">Irregularidad</th> <th style="width: 10%;">Longitud (m)</th> <th style="width: 10%;">Area Afectada (m²)</th> <th style="width: 35%;">Observaciones</th> </tr> <tr> <td></td> <th style="width: 15%;">Altos (mm)</th> <th style="width: 15%;">Bajos (mm)</th> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="height: 300px;"></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">TOTAL AREA AFECTADA (m²)²</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					Ubicación (km)	Irregularidad		Longitud (m)	Area Afectada (m ²)	Observaciones		Altos (mm)	Bajos (mm)										TOTAL AREA AFECTADA (m ²) ²					
Ubicación (km)	Irregularidad		Longitud (m)	Area Afectada (m ²)	Observaciones																							
	Altos (mm)	Bajos (mm)																										
TOTAL AREA AFECTADA (m ²) ²																												
OBSERVACIONES:																												
NOTA: 1) Los kilometrajes informados corresponden al balizaje del contrato. 2) Todos los valores de irregularidades informados están aproximados al entero absoluto inmediatamente inferior. 3) El área afectada se determina multiplicando la longitud de la irregularidad más 2 m. por cada extremo en el sentido longitudinal, por el ancho de la pista.																												
Entidad a cargo del control:																												
Profesional responsable del control:																												
_____ FIRMA																												

Figura 6.2_89. FORMULARIO TIPO DE INFORME. CONTROL DE LISURA MEDIANTE HI-LO PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Contrato: _____				
Resolución: _____				
Contratista: _____				
Tipo de pavimento: _____				
Fecha de control: _____				
Tramo : Dm. _____		al Dm. _____		Pista: _____
Losa (paño)	Ubicación	Irregularidad (mm)		Observaciones
(Nº)	(km)	Alto	Bajo	
TOTAL DE PAÑOS CONTROLADOS:				
TOTAL DE PAÑOS CON IRREGULARIDAD:				
OBSERVACIONES:				
NOTA: 1) Los kilometrajes informados corresponden al balizaje del contrato. 2) Todos los valores de irregularidades informados están aproximados al entero absoluto inmediatamente inferior.				
Entidad a cargo del control:				
				_____ FIRMA

Figura 6.2_90. FORMULARIO TIPO DE INFORME. CONTROL DE LISURA MEDIANTE HI-LO PARA PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

SECCION 6.2.8.3.

MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO MEDIANTE PERFILOMETRÍA LÁSER (ASTM 1845)

6.2.8.3.1. OBJETO

Este método cubre el cálculo de la profundidad media del perfil a partir del perfil de macrotextura del pavimento, medido mediante el uso de cámaras láser.

La profundidad media del perfil ha mostrado ser útil en predecir la velocidad de deslizamiento en un pavimento mojado.

Una transformación lineal de la profundidad media del perfil puede proveer una estimación de la textura media medida según el método del círculo de arena.

6.2.8.3.2. DEFINICIONES

A.LARGO BASE

El largo de un segmento del perfil de macrotextura de un pavimento analizado, el cual debe ser de 280 [mm] para los cálculos de la profundidad media del perfil.

B.PROFUNDIDAD DE TEXTURA ESTIMADA (ETD).

Es la estimación de la profundidad media de textura (MTD), por medio de una transformación lineal de la Profundidad Media del Perfil (MPD).

C.PROFUNDIDAD MEDIA DEL PERFIL (MPD).

Es el promedio de todas las profundidades medias de los segmentos del perfil.

D.PROFUNDIDAD MEDIA DEL SEGMENTO (SPD).

Es el valor promedio de la profundidad del perfil de un segmento de Largo Base.

E.PROFUNDIDAD MEDIA DE TEXTURA (MTD).

Profundidad media de la macrotextura de la superficie del pavimento determinado por la técnica volumétrica o ensayo del círculo de arena presentado en la **Sección 6.2.8.5.**

F.MACROTEXTURA DEL PAVIMENTO

Desviaciones de la superficie del pavimento con respecto a una superficie plana con las dimensiones características de longitud de onda y amplitud desde 0,5 mm hasta aquellas que no afecten la interacción entre el neumático y el pavimento.

G.MEGATEXTURA DEL PAVIMENTO

Desviaciones de la superficie del pavimento con respecto a una superficie plana con las dimensiones características de longitud de onda de 50 mm a 500 mm y amplitud de 0,1 mm a 50 mm.

H.MICROTEXTURA DEL PAVIMENTO

Desviaciones de la superficie del pavimento con respecto a una superficie plana con las dimensiones características de longitud de onda de 0,0 mm a 0,5 mm y amplitud de 0,001 mm a 0,5 mm.

6.2.8.3.3. EQUIPO Y MATERIALES

El equipo de mediciones está basado en cámaras láser. Los componentes básicos son los siguientes:

- a. Una carcasa de material resistente y correctamente sellado para evitar que la humedad o la lluvia penetren hacia el sistema electrónico afectándolo negativamente. Lente emisor de rayo láser que se proyecta a 90° sobre la superficie.
- b. Sensor receptor de la reflexión del rayo láser.
- c. Una serie de tarjetas y sistema electrónico que permite desarrollar el ciclo de emisión y recepción del rayo láser. Señal que luego es enviada a través de transductores eléctricos a un computador central.
- d. A su vez dicho proceso, será posible debido al suministro de energía de algún sistema de baterías eléctricas.
- e. Para el sistema de calibración se deben tener bloques patrones (de 25, 50 y 100 mm respectivamente) y una placa lisa. Todos estos elementos son de aluminio.
- f. Toda la información del sistema es recabada en un computador que contiene el software de operación.
- g. Además el sistema debe contar con un odómetro capaz de medir las distancias acumuladas de la medición.
- h. Todos los elementos tales como cámara, baterías, odómetro y computador, están conectados al rack electrónico principal, el que contiene los controles de encendido y apagado del sistema.

6.2.8.3.4. CONDICIONES GENERALES

A.SEGURIDAD

En la descripción de este método de ensayo no se abarcan todos los temas relacionados con seguridad, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario establecer las medidas de seguridad y control de tránsito apropiado de acuerdo a la normativa vigente antes de la puesta en práctica del ensayo.

El personal que realiza el ensayo, como todos los equipos a su cargo, deben cumplir con las leyes vigentes. No obstante, lo anterior se recomienda tomar precauciones adicionales a las impuestas por la ley, para asegurar en todo momento una máxima seguridad del personal a cargo de las mediciones y de los vehículos que transitan por la vía donde se realizarán los ensayos.

B.CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

La calibración de la cámara seguirá un procedimiento que consiste en la comprobación de diferencias de cotas patrón. Cabe señalar que la cámara debe ir fija a alguna estruc-

tura del vehículo que la sostiene evitando movimientos propios de la cámara ya que esto llevaría a la obtención de datos erróneos. Una vez asegurándose de ello, se procede a la calibración correspondiente.

La cámara se debe ubicar directamente sobre una superficie suficientemente regular.

El software tiene la opción de calibración de sensores láser, la cual debe ser seleccionada para esta operación. Todo este procedimiento de calibración de sensores láser se realiza con el vehículo detenido.

Primero se activa la señal gracias a un interruptor existente en el rack electrónico de forma tal que el rayo comience a ser emitido. Un operador verifica el lugar exacto donde se está proyectando el rayo ayudado por una tarjeta que permite visualizar la proyección del rayo emitido. De esta forma, el operador procede a colocar la placa lisa en el lugar donde está siendo proyectado el rayo. El computador, luego registra la primera lectura procediéndose a colocar el primer bloque con la altura de 25 mm también bajo el rayo proyectado y también sobre la placa lisa procediendo el computador a registrar la segunda lectura, el computador procederá a mostrar en pantalla la diferencia obtenida entre ambas lecturas la que debe aproximarse al patrón de 25 mm con un error máximo de $\pm 0,002$ mm. Este procedimiento debe realizarse de igual manera con los bloques de 50 y 100 mm respectivamente.

Si el error obtenido en las lecturas supera la máxima tolerancia, se deberá repetir hasta conseguir la exactitud requerida. De lo contrario, dicha cámara debe ser llevada a mantenimiento al servicio técnico correspondiente.

Toda esta operación de trabajo con láser deberá ser efectuada por el operador o su ayudante utilizando los lentes de seguridad exigidos por las normativas de seguridad internacional.

Otro elemento a calibrar corresponde al odómetro o distanciómetro cuyo procedimiento consiste en predefinir una longitud patrón de 1.000 metros los que deben ser marcados al inicio y al final con cualquier elemento, (conos, marcas sobre la superficie).

Para esto el software debe estar preparado para iniciar esta calibración posicionando un neumático sobre la marca de inicio procediendo a recorrer la distancia predefinida y marcando en el computador el inicio y fin del tramo obteniéndose la constante eléctrica para los pulsos obtenidos por el odómetro en esta distancia.

La velocidad de operación del equipo está asociada a las recomendaciones del fabricante, de tal forma que la frecuencia de captura de datos sea mayor a 0,7 cm. de espaciamiento entre cotas.

6.2.8.3.5. PROCEDIMIENTO

A.RESUMEN DEL MÉTODO

Este método se basa en la medición del perfil de macrotextura en la superficie de un pavimento mediante el uso de cámaras láser.

El perfil medido es dividido para el análisis en segmentos, cada uno de un Largo Base de 280 mm. Luego se calcula el residuo entre las medidas de la amplitud de la macrotextura del pavimento y una línea representada por ajuste lineal de un polinomio de segundo orden, ver **Figura 6.2_ 91**.

$$PD = \left(\sum_{i=1}^n \frac{(y_i - y_e)^2}{n} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

y_j : Valores del perfil de textura registrado

y_e : Valor obtenido del polinomio de segundo orden ajustado ($y_e = a + bx + c + x^2$)

n : Número de puntos registrados en un segmento.

El valor promedio de estas diferencias para todos los segmentos registrados sobre el perfil medido, se informa como MPD.

B. SIGNIFICADO Y USO DE ESTA MEDICIÓN

Esta medición es adecuada para el cálculo de la macrotextura media del perfil. Los resultados de este cálculo, Profundidad Media del Perfil, MPD, han probado ser útiles en la predicción de la velocidad de fricción del pavimento mojado.

El MPD se puede usar para estimar el resultado de la macrotextura en una medición usando una técnica volumétrica según el Método del Círculo de Arena ya descrito. Los valores de MPD y MTD difieren debido al tamaño máximo de la arena usada en la técnica volumétrica y porque se deriva el MPD de un perfil de dos dimensiones en lugar de una superficie tridimensional. Por lo tanto, se debe usar una ecuación de transformación para convertir los valores MPD a ETD.

Esta medición puede ser usada para determinar la macrotextura de un pavimento registrado sobre superficies de rodado reales o muestras preparadas en centros o laboratorios.

El tamaño del árido, su forma, y distribución son aspectos que no se consideran en esta medición. No se pretende establecer en esta medición una evaluación completa de las características de textura. En particular se debe tener cuidado con la interpretación de los resultados en superficies porosas o acanaladas.

Esta medición no abarca los problemas asociados a la forma de medir un perfil. La medición de perfiles con láser u otro método óptico sin contacto con la superficie del pavimento, son usualmente preferidos. De cualquier modo, métodos de contacto con la superficie que usan una aguja, también pueden proveer perfiles exactos si son apropiadamente utilizados.

C. PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN

Para efectos de control receptivo y de explotación se procederá a procesar la información determinada cada 200 metros. En dicho proceso deberán quedar establecidos los inicios y finales de los sectores homogéneos medidos. De igual forma se registrará la distancia acumulada para cada tramo.

En el caso de las mediciones de estudio o de investigación los procesos podrán llevarse a los mínimos deseables a fin de evaluar con mayor detalle el sector auscultado.

Los valores obtenidos corresponden al promedio obtenido en cada subtramo del proceso en milímetros, siendo éste el valor representativo de la textura superficial correspondiente.

6.2.8.3.6. PRECISIÓN

Con respecto a la cantidad de datos requeridos. Idealmente debiera ser utilizado, si es posible, un perfil continuo realizado a lo largo de toda la longitud de la sección de prueba.

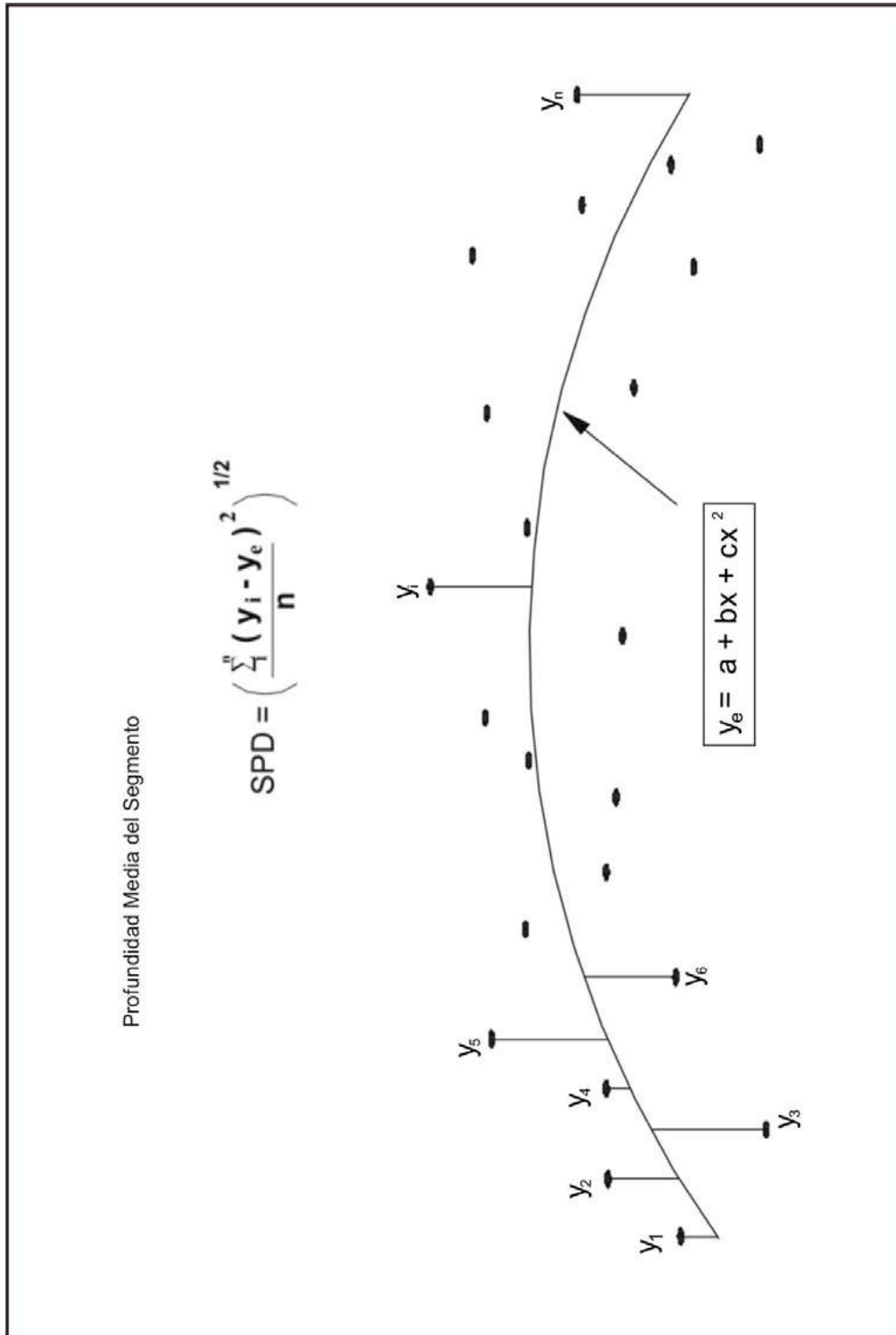


Figura 6.2_91. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE LA PROFUNDIDAD MEDIA DEL SEGMENTO

SECCION 6.2.8.4.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO EN EL PAVIMENTO CON PÉNDULO BRITÁNICO (TRRL) (ASTM E 303 AASHTO T278-90)

6.2.8.4.1. OBJETO

Este método describe el procedimiento que se debe seguir para la realización de medidas de resistencia al deslizamiento con el Péndulo Británico. El Péndulo Británico es un péndulo dinámico que se utiliza para medir la energía perdida cuando el borde de un patín de goma se desliza sobre una superficie.

El método tiene por objetivo obtener el Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (C.R.D.) que valora las características antideslizantes de la superficie de un pavimento.

Los resultados son usados principalmente para los siguientes propósitos:

- Muestreo de la red vial para la gestión de pavimentos.
- Especificaciones para la restauración de la superficie de rodado.
- Especificaciones para nuevas construcciones.
- Investigación de accidentes.
- Medición para mantenencias de invierno en carreteras.

El método de ensayo puede emplearse también para medidas en pavimentos de edificaciones industriales, ensayos de laboratorio sobre probetas, baldosas o cualquier tipo de muestra de superficies planas terminadas. No es el propósito de este método la medida sobre probetas para determinar el pulimento acelerado de los áridos.

6.2.8.4.2. DEFINICIONES

1.RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

Es la fuerza que se desarrolla a lo largo de la superficie de un pavimento, cuando una rueda está frenada o impedida de girar. Comúnmente la resistencia al deslizamiento es entendida como la propiedad de una superficie que impide el deslizamiento de un cuerpo sobre ella.

2.COEFICIENTE DE FRICCIÓN DINÁMICO:

Corresponde a la razón entre la resistencia al deslizamiento y la fuerza normal a la superficie donde el cuerpo desliza.

6.2.8.4.3. EQUIPO Y MATERIALES

3. PÉNDULO DEL TRRL

Se emplea el aparato representado en la **Figura 6.2_92**, desarrollado y diseñado por el Transport and Road Research Laboratory, cuyas características son:

- El péndulo propiamente tal, **Figura 6.2_93**, con zapata y su placa soporte debe tener una masa de 1500 ± 30 g. Su centro de gravedad estará situado en el eje del brazo, a una distancia de 411 ± 4 mm del centro de oscilación. El arco de circunferencia descrito por el borde de la zapata, con centro en el eje de suspensión, tendrá un radio de 508 mm. La zapata del péndulo ejercerá una fuerza de $24,52 \pm 0,98$ N sobre la superficie de ensayo y en su posición media de recorrido. La variación de la tensión del muelle sobre la zapata no será mayor de 216 N/m.
- La zapata de goma va pegada sobre una placa de aluminio, **Figura 6.2_94**, que comprende un casquillo para su fijación al pivote (F) del brazo del péndulo, formando un ángulo de 70° con el eje de este brazo y de manera tal que solamente la arista posterior de la goma quede en contacto con la superficie a medir, pudiendo girarla alrededor del pivote (F), recorriendo las desigualdades de la superficie de ensayo y manteniéndose en un plano normal al de oscilación del péndulo.

4. CARACTERÍSTICAS DE LA ZAPATA DE GOMA

Las dimensiones de la zapata de goma a emplear en las medidas de resistencia al deslizamiento serán, **Figura 6.2_95**, de 76,2 mm de longitud, 25,4 mm de ancho y 6,5 mm de espesor. La masa de conjunto zapata y placa soporte de aluminio será de 36 ± 7 g. Las zapatas estarán cortadas de una plancha de goma de 6,5 mm de espesor y con una edad mínima de fabricación de seis meses.

5. DISPOSITIVO DE NIVELACIÓN

El dispositivo de nivelación será del tipo tornillo (L), acoplado en cada uno de los tres puntos de apoyo del aparato, con un nivel de burbuja (M) para situar la columna del instrumento en posición vertical, **Figura 6.2_92**.

6. DISPOSITIVO DE DESPLAZAMIENTO VERTICAL

Un dispositivo que permita mover verticalmente el eje de suspensión del péndulo, **Figura 6.2_96**, de manera que la zapata mantenga contacto con la superficie a ensayar en una longitud entre 124 y 127 mm. El movimiento vertical de la cabeza del aparato, solidariamente con el brazo oscilante (D), escalas graduadas (K), aguja indicadora (I) y mecanismo de disparo (N), se efectuará por medio de una cremallera (C), fijada en la parte posterior de la columna vertical y de un piñón accionado por uno cualquiera de los mandos (B y B'), **Figura 6.2_96**. La cabeza quedará fijada por medio del tornillo de presión (A).

7. DISPOSITIVO DE DISPARO DEL BRAZO DEL PÉNDULO

Un dispositivo para sujetar y soltar el brazo del péndulo (N), **Figura 6.2_92**, de forma que éste caiga libremente desde su posición horizontal.

8. DISPOSITIVO DE MEDIDA

Un dispositivo consistente en una aguja, **Figura 6.2_92**, de masa 85 g y longitud 300 mm, equilibrada respecto a su centro de suspensión, para indicar, al final de su recorrido, la posición del brazo del péndulo sobre una escala circular (K) grabada sobre un pa-

nel. Un sistema de fricción del mecanismo de suspensión de la aguja que será regulable mediante los anillos de fricción roscados (E y E'), **Figura 6.2_97**, de manera tal que, con el brazo del péndulo moviéndose libremente desde su horizontal, la aguja sea arrastrada por la oscilación del brazo hasta un punto situado a 10 mm por debajo de la horizontal que pasa por el centro de oscilación, punto cero de la escala de medida.

6.2.8.4.4. MATERIAL AUXILIAR

9. REGLA GRADUADA

Una regla graduada, **Figura 6.2_98**, cuyas marcas estén separadas 127 mm, siendo la separación entre una marca exterior y la interior más próxima de 2,5 mm.

10. TERMÓMETRO

Un termómetro con graduación en grados Celsius y escala de - 10 a + 60 °C.

11. RECIPIENTES PARA AGUA

Dos recipientes de material plástico y tapón de rosca, conteniendo agua potable o destilada. Uno con capacidad de 10 litros y el otro con capacidad de 0,5 litros. El más pequeño llevará en el tapón un tubo de salida con orificio de unos 3 mm de diámetro.

12. CEPILLO

Un cepillo de cerdas de goma dura con longitud mayor de 2 cm, que pueda abarcar una superficie de barrido de 16 cm², para la limpieza de la superficie a medir.

13. CINTA MÉTRICA

Una cinta métrica de longitud igual o superior a 15 m para situar los puntos de medida.

14. CAJA DE HERRAMIENTAS

Caja para transportar las herramientas, zapatas, termómetro, regla, tiza, lapiceros, etc., elementos todos necesarios para efectuar las mediciones en terreno.

15. CAJA DE TRANSPORTE

Es recomendable contar con una caja para transportar el equipo de medida.

16. BANQUETA

Es recomendable contar con un asiento para el operador al realizar medidas en el campo.

6.2.8.4.5. CONDICIONES GENERALES

A. MONTAJE DEL APARATO

17. Se extrae el cuerpo principal del aparato de la caja de transporte y se coloca en posición de trabajo el pie posterior de la base, haciendo girar sobre el tornillo (J), **Figura 6.2_92**, y sujetándolo con el tornillo (H). Seguidamente se fija el brazo oscilante (D) en la cabeza del aparato mediante la tuerca de fijación (G).

18. En el brazo del péndulo y sobre el eje (F), se ajusta la zapata de goma, sujetándola con una golilla y un pasador. Las zapatas de goma nuevas deben ser acondicionadas antes de su empleo, realizando 10 disparos sobre la superficie testigo en condiciones secas.

Los disparos deben efectuarse preparando el ensayo tal como se indica en los puntos 22 a 34. Deberá cambiarse la zapata de goma con la que se efectúen las medidas cuando presente una superficie rozada superior a los 3,2 mm de ancho o un desgaste en la arista superior de 1,6 mm de alto, **Figura 6.2_ 95**.

19. Se nivela el aparato por medio de los tornillos (L), que van situados en cada uno de los pies de su base, y del nivel de burbuja (M) situado sobre la misma base, **Figura 6.2_92**.
20. A continuación, se eleva la cabeza del aparato, de forma tal que el brazo del péndulo oscile sin rozar la superficie a medir y se procede a comprobar el cero de la escala de medida. Para ello se lleva el brazo del péndulo a su posición horizontal hacia la derecha del aparato, quedando enganchado automáticamente en el mecanismo de disparo (N), **Figura 6.2_ 92**. Después se desplaza la aguja indicadora (I) hasta el tope (O) situado en la cabeza del aparato, de forma que quede paralela al eje del brazo del péndulo. Este tope, constituido por un tornillo, permite corregir el paralelismo entre la aguja y el brazo. Seguidamente, presionando el pulsador (N) se dispara el brazo del péndulo, que arrastrará la aguja indicadora solamente en su oscilación hacia delante (Ver Nota 1). Se anota la lectura señalada por la guía de la escala (K o K') del panel y se vuelve el brazo a su posición inicial de disparo (Ver Nota 2). La corrección de la lectura cero se realiza mediante el ajuste de los anillos de fricción (E y E'), **Figura 6.2_ 92 y 6.2_ 97**. Si la aguja sobrepasa el cero de la escala, la corrección exigirá aflojar los anillos de fricción (Ver Nota 3).

Nota 1 Es conveniente sujetar el aparato con una ligera presión de la mano izquierda sobre la parte superior de la columna vertical, cada vez que se efectúe un disparo del péndulo, con el propósito de evitar movimientos o vibraciones en su base.

Nota 2 Deberá recogerse el brazo oscilante en su recorrido de regreso antes de que pase por la posición vertical, con el propósito de evitar el arrastre de la aguja indicadora en la oscilación de vuelta y el choque contra el pavimento y, cuando se realizan medidas, evitar el roce de la zapata sobre la superficie de contacto y su consecuente deterioro, por lo que se debe pasar la zapata sin tocar la superficie de ensayo, ayudándose de la palanca de elevación (P).

Nota 3 En la comprobación del cero del aparato se harán los necesarios disparos y correcciones con los anillos, hasta que la aguja marque tres veces consecutivas la lectura cero.

B.SEGURIDAD

21. En la descripción de este método de ensayo no se abarcan todos los temas relacionados con seguridad y control de tránsito asociados con su uso, los cuales deberán cumplir con la normativa vigente. Es responsabilidad del usuario establecer las medidas de seguridad y condiciones de operación adecuadas para satisfacer la normativa vigente antes de comenzar a realizar las mediciones.

6.2.8.4.6. PROCEDIMIENTO

A.DESARROLLO EN TERRENO Y EN LUGARES DE MUESTREO

22. Se debe seleccionar el lugar a auscultar. Luego se procede a posicionar el equipo en forma longitudinal al camino, nivelándolo gracias a los tornillos que posee en sus tres apoyos guiándose por la burbuja que el equipo tiene.

23. Posteriormente, se debe limpiar la superficie sobre la cual pasará la zapata, asegurándose de que no queden partículas sueltas. En este instante se debe colocar la galga bajo la palanca de elevación, para mover el brazo en forma vertical de modo que roce ligeramente la superficie a auscultar. De este modo se retira la galga con lo que el brazo quedará presionando la superficie con cierta fuerza. Ahora se debe colocar la regla a modo de corroborar que al mover ligeramente hacia un lado y otro de la posición vertical del brazo, de tal forma que la zapata tome contacto por un borde y el otro a cada lado de las marcas de la regla graduada.
24. Una vez realizados los procedimientos anteriores se debe llevar el brazo a la posición horizontal y listo para obturarlo. Luego se moja la superficie que barrerá la zapata con abundante agua. Luego se obtura el botón de accionamiento y se suelta el brazo libremente.
25. Se debe registrar la temperatura del agua para cada punto de medición, cada vez que el recipiente se llene con agua nuevamente.
26. La aguja indicará el valor obtenido en el ensayo la que debe ser registrada.
27. En caso de que sea la primera medición del día se debe calentar previamente la zapata realizando el ensayo como mínimo 5 veces y sin mojar la superficie, antes de la realización de las mediciones.
28. Se realizarán 5 mediciones en cada punto, esto podrá extenderse si no se observa que los valores obtenidos fluctúan en un rango que no difiera en más de 5 puntos, de una determinación a otra, de lo contrario, se debe proceder a recalibrar el equipo, chequeando la calibración del "0", hasta lograr que esto ocurra procediéndose a efectuar la medición nuevamente; de lo contrario, deben detenerse las mediciones y llevar el equipo a un mantenimiento mayor.
29. Debe tenerse en cuenta que no se deben realizar mediciones con este equipo en presencia de lluvia debido a que es posible que los tornillos de calibración del "0" se mojen, imposibilitando al equipo poder calibrarlo y obteniéndose lecturas erróneas al realizar mediciones en estas condiciones.
30. Otro factor climático sobre el cual se deben tomar las medidas correspondientes es el viento ya que la aguja no tiene ningún sistema de fijación, más bien trabaja libremente y debido al viento esta altera su recorrido llevando a lecturas erróneas para la medición. En este caso, se debiera considerar la posibilidad de usar algún elemento que impida que el viento llegue directamente sobre el equipo.
31. Para efectos de estudios el equipo puede ser posicionado en cualquier dirección ya sea transversal o en algún ángulo determinado según sea el sentido del tránsito.
32. Es así como, en los pavimentos con tratamientos de texturado, cepillado o ranurado, es conveniente posicionar el péndulo en 20° respecto del desplazamiento de los vehículos.
33. Del mismo modo, si las combinaciones de pendiente y peralte dificultan la nivelación del equipo, éste debe ser dispuesto en un ángulo tal que permita realizarse la medición.
34. Ahora bien, las condiciones de temperatura de la superficie del pavimento deben encontrarse en un rango de 5°C a 40°C, ya que este efecto altera las mediciones. Esto inhabilita la opción de la determinación de este indicador en pavimentos con escarcha o nieve en su superficie, excepto que se trate de algún estudio en particular.

B.PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

35. El péndulo una vez montado, como se indica en “Montaje del Aparato”, se coloca en el punto de ensayo elegido de modo que la vertical del centro de la zapata coincida con el punto marcado, y que la dirección de barrido sea la elegida. Seguidamente se procede a su nivelación tal como se especifica en 19 (Ver Nota 4).

Comprobando el cero del aparato como se indica en el punto 20, se ajusta la altura de la cabeza del péndulo de forma que la zapata de goma en su contacto sobre la superficie del pavimento, recorra una longitud entre 124 y 127 mm. Se deja el brazo del péndulo (D) libre y en su vertical accionando la palanca de elevación (P), con lo que se elevará la zapata de goma. Se baja entonces la cabeza del aparato, sin mover el brazo del péndulo de su posición vertical, hasta que la zapata justamente toque la superficie a medir. Se fija ahora la cabeza del aparato. Se hace oscilar en forma manual el brazo del péndulo hasta que la zapata toque justamente los bordes de la superficie de ensayo, primero a un lado y luego al otro de la vertical.

La longitud de rozamiento será la distancia entre los dos bordes de contacto S y S', **Figura 6.2_93**, en el recorrido de la zapata sobre la superficie a medir. La longitud de rozamiento correcta se comprueba usando la regla graduada, **Figura 6.2_98**, descrita en el punto 9. Todo roce de la zapata al moverse a través de la superficie de contacto deberá ser siempre evitado usando la palanca de elevación (P).

Siempre que sea preciso, la corrección de la longitud de rozamiento se efectuará mediante una ligera elevación o descenso vertical de la cabeza del péndulo.

Nota 4: Cuando el péndulo no haya sido utilizado en las ocho horas anteriores a un ensayo, antes de efectuar cualquier serie de medidas se realizarán cinco disparos sobre una zona de pavimento sometida al tránsito.

36. Una vez montado el aparato, comprobada la medida del cero y controlada la longitud de rozamiento de la zapata, se coloca el brazo del péndulo y la aguja indicadora en su posición correcta de disparo.
37. La superficie de pavimento a ensayar se limpia con el cepillo que se indica en 12 asegurándose que quede libre de partículas sueltas.
38. Antes de efectuar las medidas de ensayo, se humedece la zapata con abundante agua limpia y se moja la superficie del pavimento, extendiendo el agua sobre el área de contacto ayudándose con el cepillo.
39. Se procede entonces a la realización de las medidas correspondientes, dejando caer libremente desde su posición de disparo el brazo del péndulo que arrastra la aguja, anotándose la lectura marcada por ésta, en la escala (K) y redondeando al número entero más próximo.

Después de cada disparo y medida, el brazo del péndulo y la aguja se vuelven a su posición de disparo. La medida se repite cuatro veces sobre cada punto de ensayo y operando siempre en las mismas condiciones, volviendo a mojar con agua a la temperatura ambiente la superficie de ensayo antes de cada disparo. Si las lecturas de las cuatro medidas no difieren en más de tres unidades, se anotan los valores medidos como valor efectivo de la lectura en el punto ensayado.

Si la diferencia entre las 4 lecturas es mayor de 3 unidades BPN (British Pendulum Number), se continua realizando medidas hasta que tres consecutivas den la misma lectura, en cuyo caso, se toma ésta última secuencia como valor efectivo de las lecturas en el punto ensayado.

40. Se mide la temperatura ambiente en el punto de ensayo, colocando el termómetro próximo sobre el pavimento y a la sombra. Asimismo se anota la temperatura del agua, cuyo recipiente debe estar a la intemperie durante la ejecución del ensayo.
41. Después de un determinado número de mediciones efectuadas con el péndulo, 5 a 6 puntos de ensayo, se debe realizar una nueva comprobación del cero.

Tabla 6.2_84. REGISTRO DE MEDICIONES CON PÉNDULO BRITÁNICO

Proyecto			Fecha				Operador
Km	Pista	T(°C)	Registros (BPN)				Observaciones
			1	2	3	4	

C.PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN

Deben distinguirse los controles de tipo receptivos y los de estudio, esto debido a que en ambos existen consideraciones especiales.

Con respecto a la cantidad de puntos a auscultar, ésta dependerá de la longitud del tramo, de los sectores homogéneos y del estudio que se quiera efectuar.

Este indicador deberá cumplir con los mínimos exigidos en todo el ancho de la pista aunque, para efectos de recepción, se determinará como espacio muestral prioritario el sector de las huellas, principalmente la huella externa o derecha según el desplazamiento de los vehículos.

Para el caso de la realización de estudios, se aconseja la siguiente metodología para la obtención de la fricción del sector experimental. Se debe realizar una inspección visual del lugar con el fin de determinar los sectores uniformes. Si el tramo experimental es mayor a 5 km se recomienda realizar 4 mediciones por km/pista, si es menor que 5 km se recomienda un punto cada 100 m; cabe señalar que éstas son sólo recomendaciones y para efectos de estudio puede variar la densidad de puntos a auscultar.

Para los controles de tipos receptivo, en contratos tradicionales y concesionados en vías interurbanas, se deberán tomar 10 puntos por km/pista posicionando el péndulo en la huella derecha de la pista. Por su parte, en proyectos urbanos, deberá tomarse 20 puntos por Km./pista.

Así se determina el valor de la fricción en este punto. Se hace hincapié que este parámetro es adimensional, por lo que se adopta en este caso como unidad la característica del equipo con que se controla, en este caso es BPN, "British Pendulum Number", cuya traducción al castellano es "Número de Péndulo Británico" y con que se identificará el valor de la fricción obtenido con este equipo.

6.2.8.4.7. CÁLCULOS

42. BPN, son las siglas correspondientes a British Pendulum Number (Número de Péndulo Británico). Esta es la unidad en que se mide el coeficiente de roce del pavimento, cuyo rango va desde 0 a 100. El resultado del ensayo de resistencia al deslizamiento se expresa en tanto por uno, en forma de:

$$- \text{ Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD)} = \frac{\text{Lectura efectiva de BPN}}{100}$$

43. Las medidas efectuadas sobre pavimentos están siempre afectadas por las variaciones de temperatura de la zapata y de la superficie ensayada. La uniformidad de las medidas a realizar, bajo cualquier condición climática, exige una corrección del coeficiente obtenido mediante el gráfico de la **Figura 6.2_99**, para expresar los resultados a 20 °C. Los valores obtenidos se informan con dos decimales.

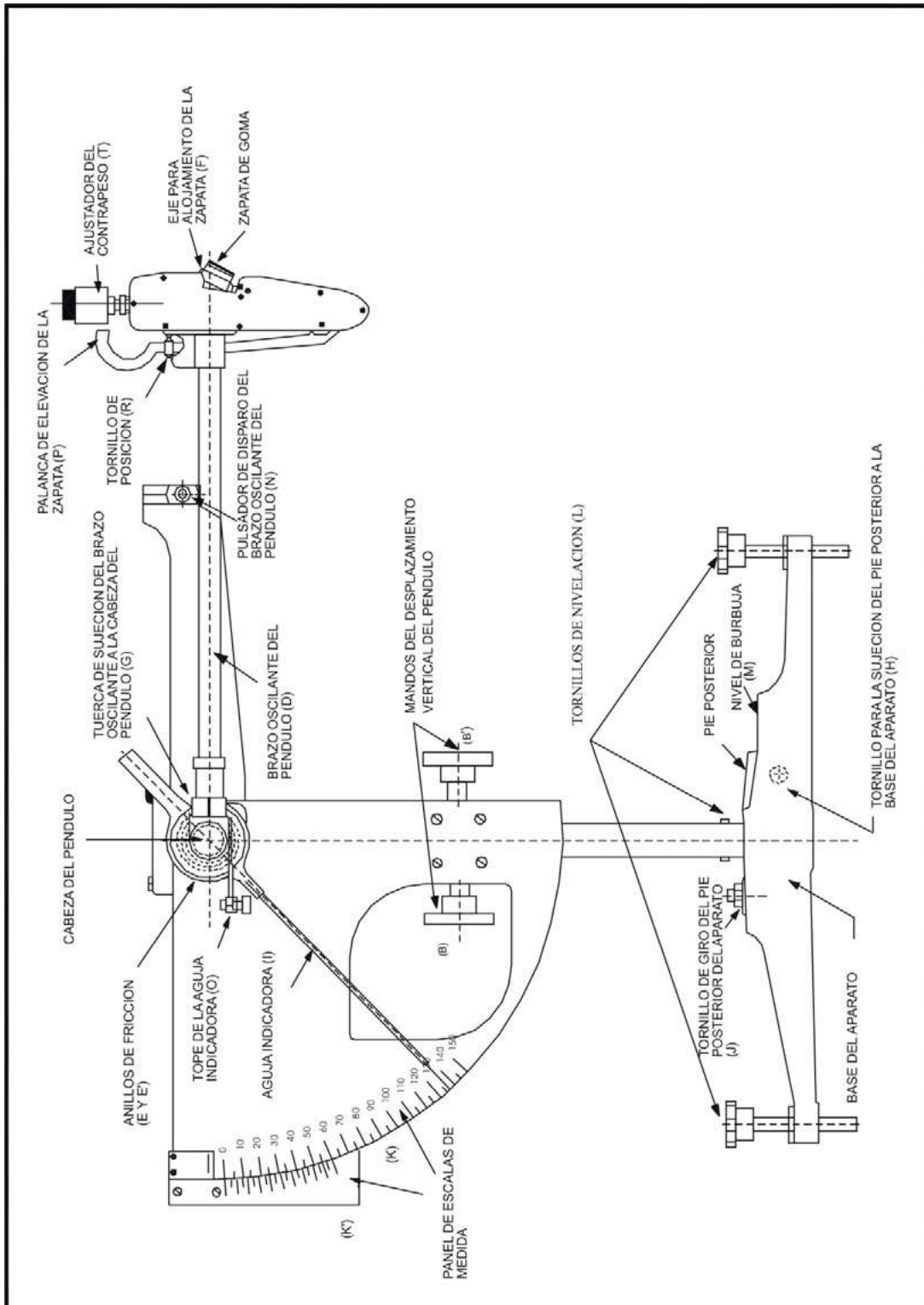


Figura 6.2_92. PÉNDULO DEL TRRL.

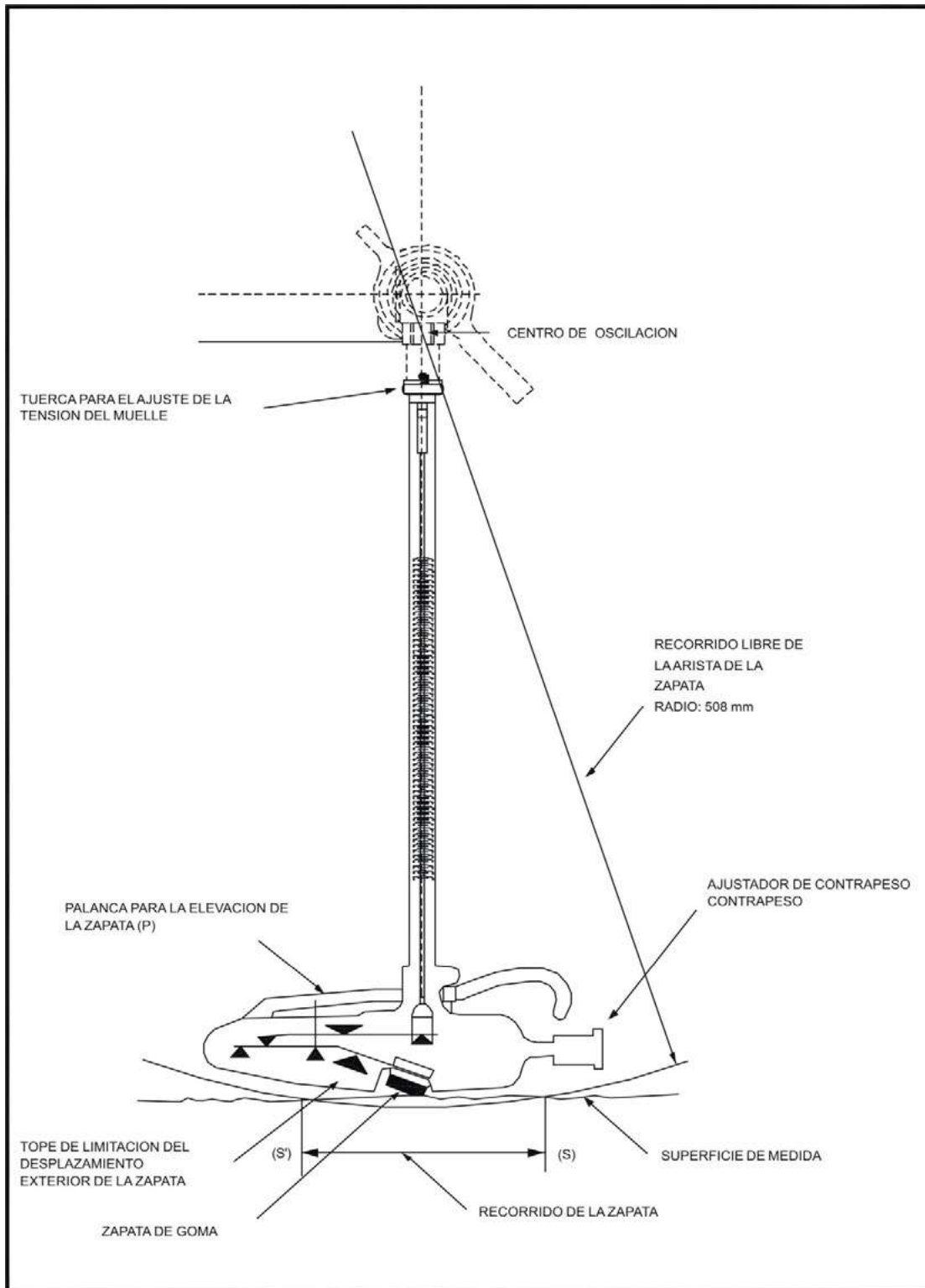


Figura 6.2_93. DETALLE DEL BRAZO DEL PÉNDULO.

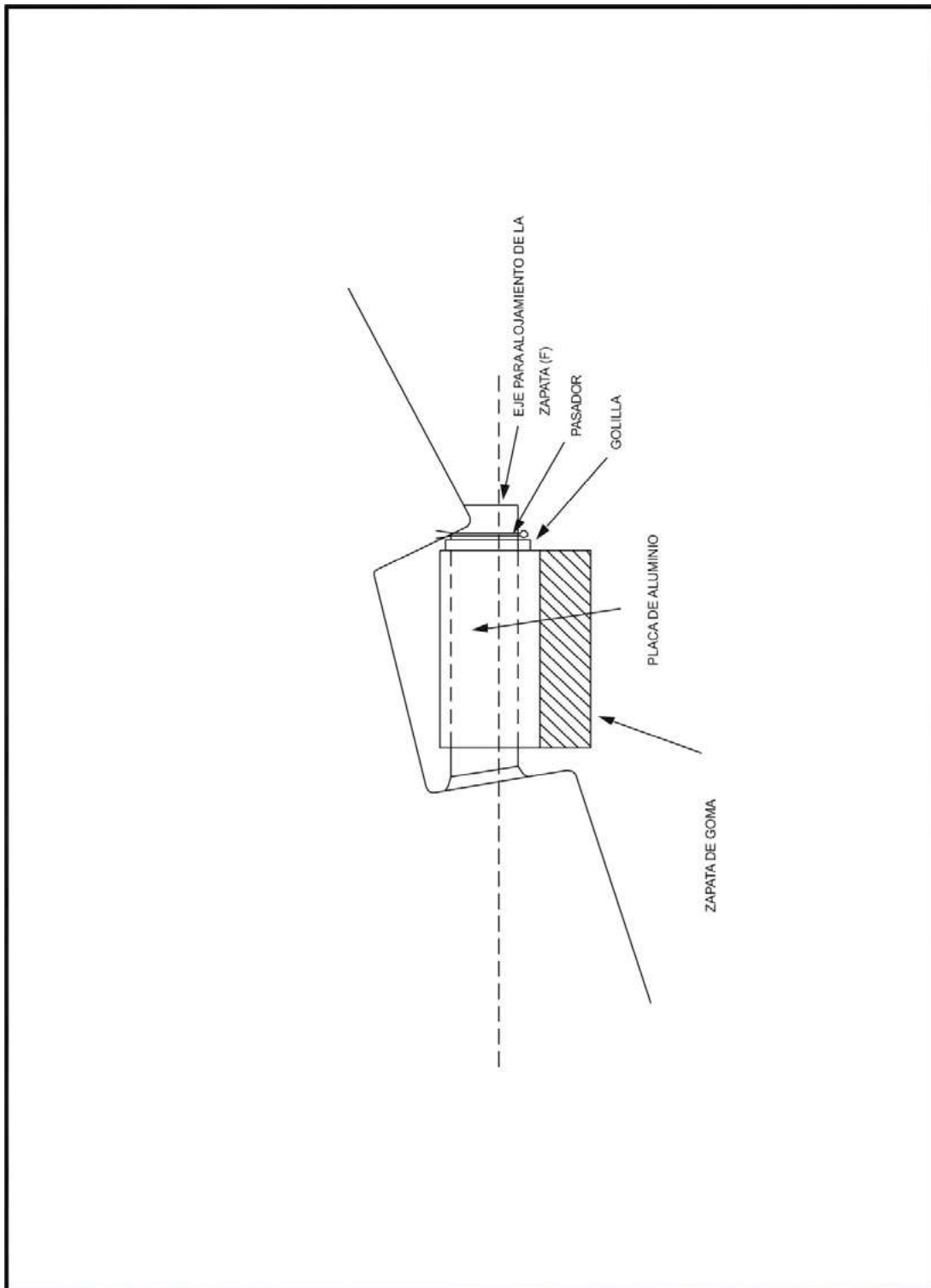


Figura 6.2_94. DETALLE DE LA DISPOSICIÓN DE LA ZAPATA DE GOMA.

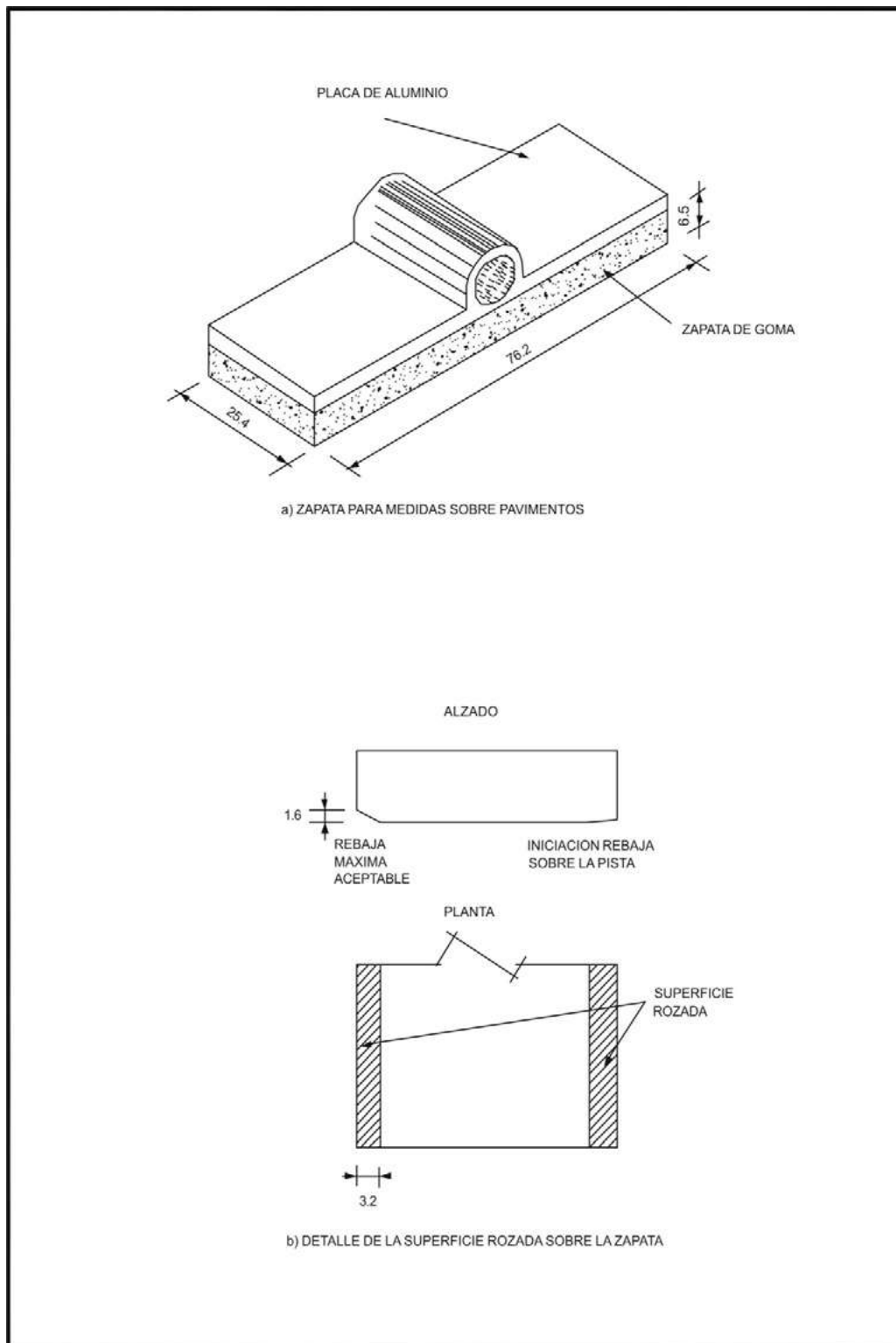


Figura 6.2_95. ZAPATA DE GOMA.

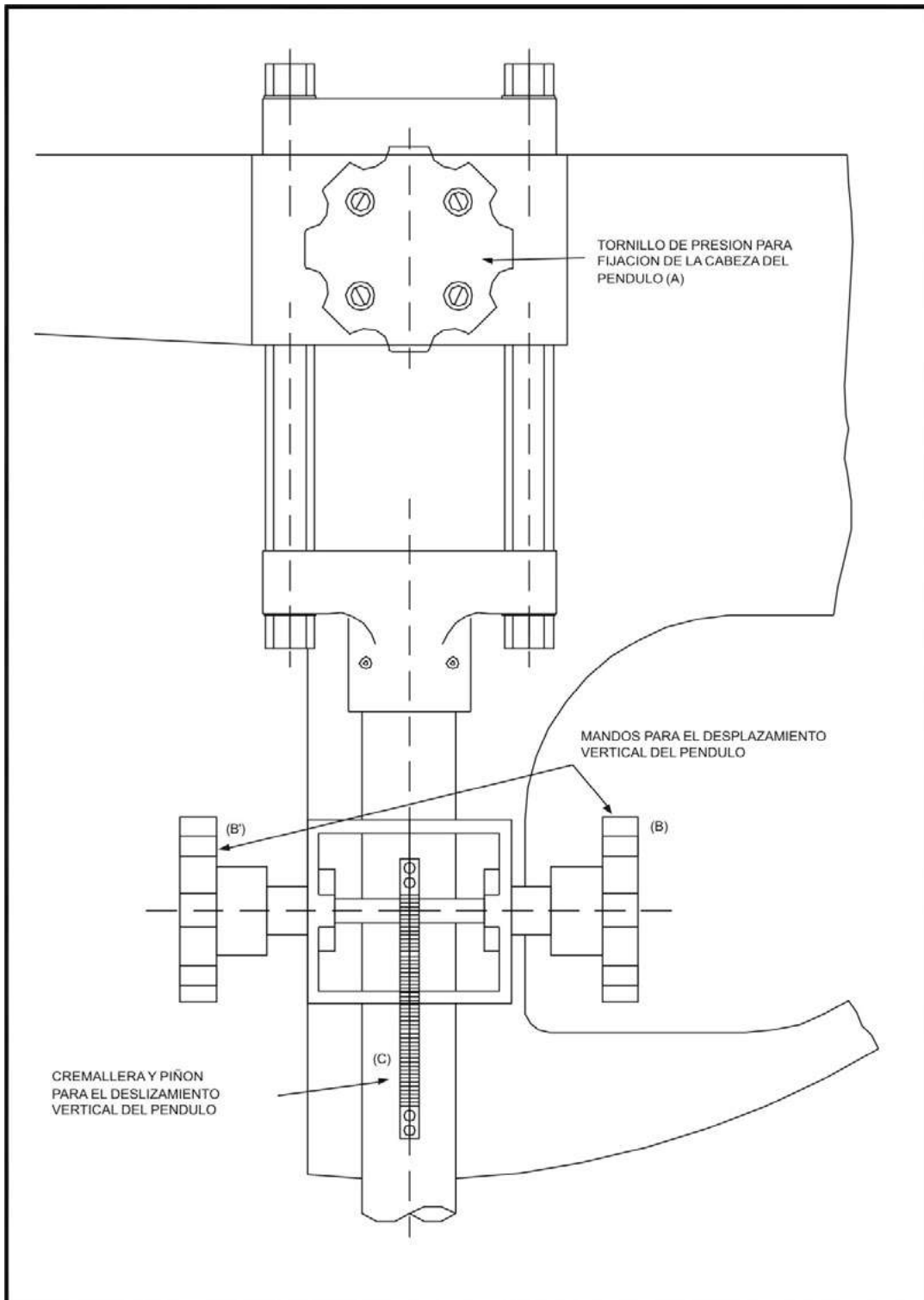


Figura 6.2_96. DETALLE DEL DISPOSITIVO DE DESPLAZAMIENTO VERTICAL DEL PÉNDULO

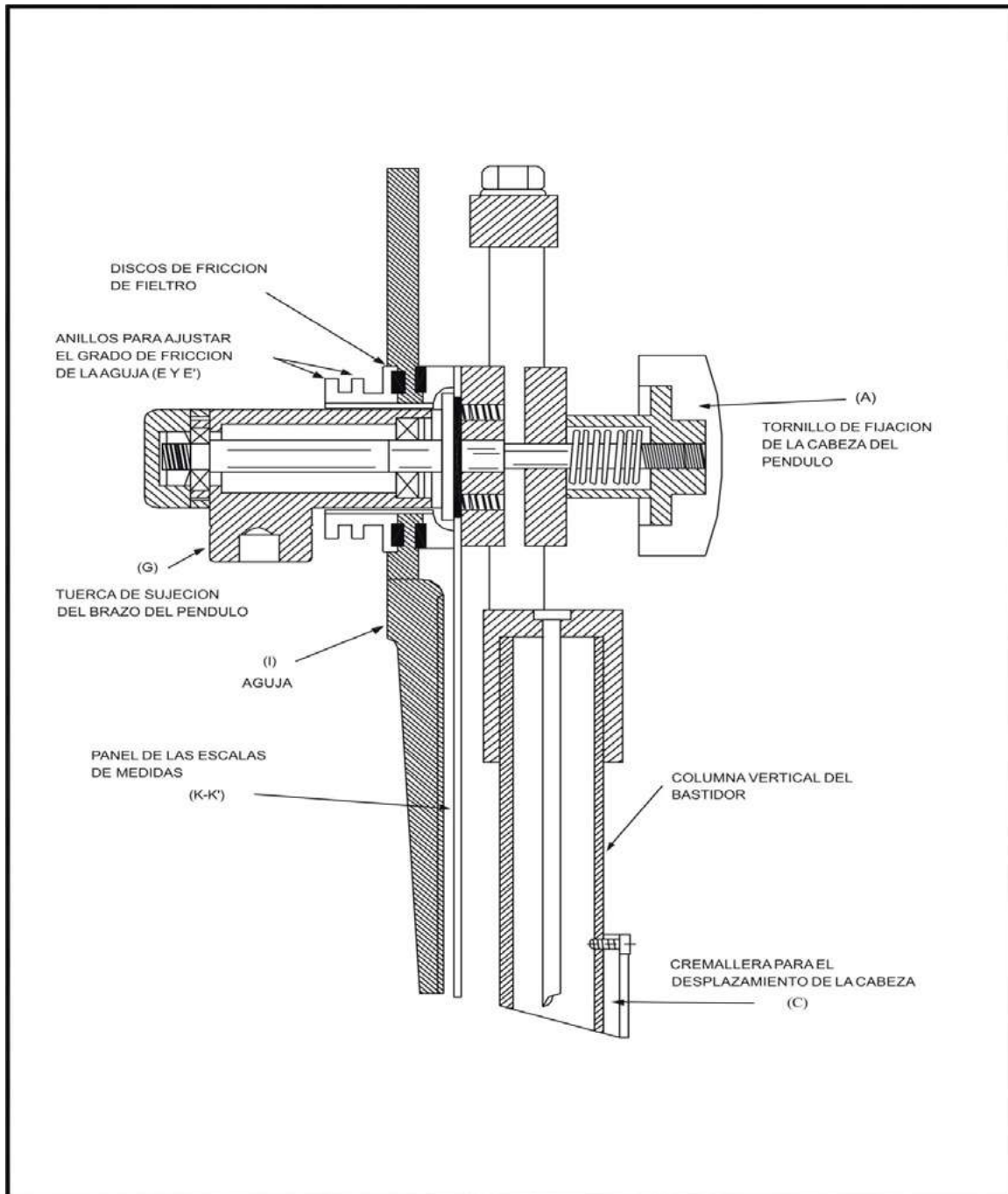


Figura 6.2_97. DETALLE DEL MECANISMO DE SUSPENSIÓN DEL PÉNDULO.

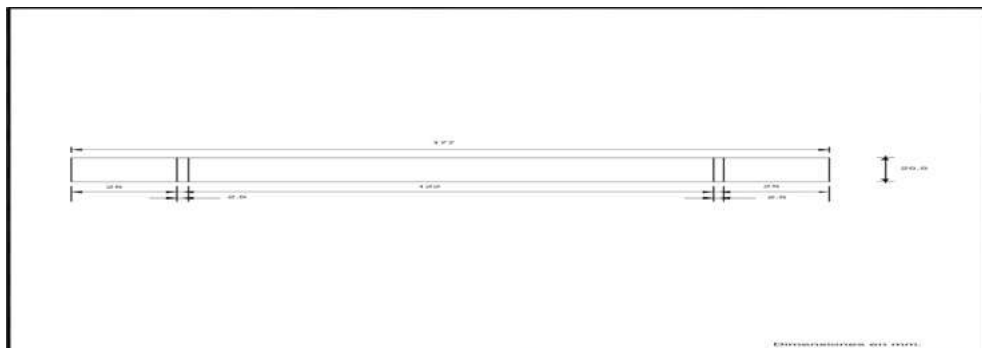


Figura 6.2_98. REGLA GRADUADA PARA AJUSTAR LA LONGITUD DE MEDIDA SOBRE LA SUPERFICIE DE ENSAYO

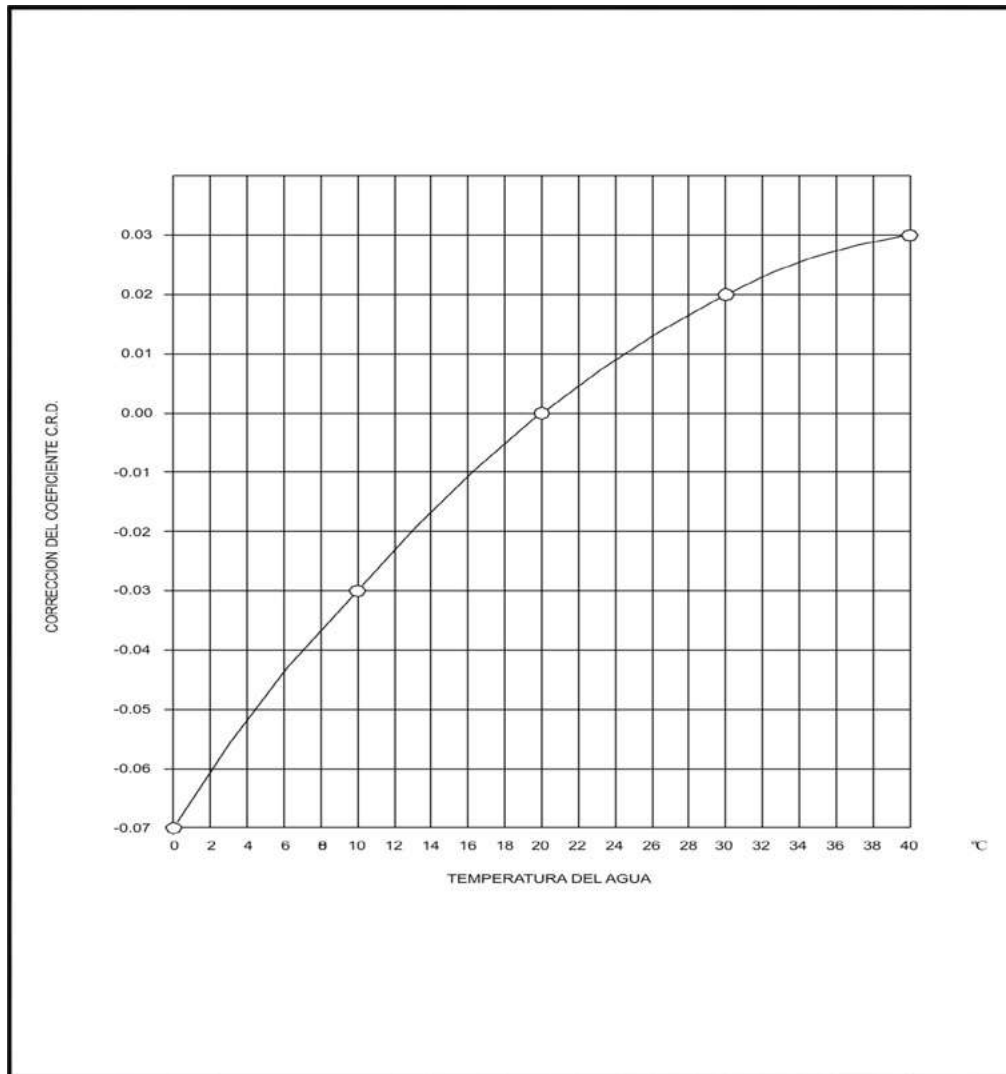


Figura 6.2_99. CORRECCIÓN A APLICAR AL COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO A DISTINTAS TEMPERATURAS PARA OBTENER EL VALOR CORRESPONDIENTE A 20 AC.

SECCION 6.2.8.5.

MÉTODO PARA DETERMINAR LA TEXTURA SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO MEDIANTE ENSAYO DEL CÍRCULO DE ARENA (ASTM E 965)

6.2.8.5.1. OBJETO

Este método, llamado también ensayo del círculo de arena, describe el procedimiento para determinar la profundidad de la macrotextura de la superficie del pavimento, mediante la aplicación de un volumen conocido de material y la subsecuente medición del área total cubierta por éste. El método está sólo pensado para obtener un valor promedio de la profundidad de textura y no se considera sensible a la microtextura de la superficie del pavimento.

Los pavimentos con importante nivel de textura superficial permitirán un contacto más eficiente (en término de área de contacto) entre neumático y pavimento.

6.2.8.5.2. SIGNIFICADO Y USO

Este método es adecuado en ensayos in situ para determinar el promedio de profundidad de macrotextura de una superficie de pavimento. El conocimiento de la profundidad de macrotextura del pavimento sirve como herramienta para caracterizar la textura de la superficie. Cuando es utilizado en conjunto con otros ensayos, los valores de profundidad de macrotextura derivados de este método pueden ser utilizados para determinar las capacidades de resistencia al deslizamiento del pavimento y lo adecuado de los materiales o técnicas de acabado utilizadas.

Cuando es utilizado con otros ensayos, se debe tener cuidado que todos los ensayos son aplicados en el mismo lugar. Producto del uso de la información obtenida mediante este método pueden resultar mejoramientos a las prácticas de acabado y programas de mantención.

Las mediciones de profundidad de textura obtenidas utilizando este método están influenciadas por las características de macrotextura del pavimento y no significativamente afectadas por la microtextura. La forma, tamaño y distribución de los áridos de la capa de rodadura son cualidades no abordadas por este método.

La superficie de pavimento a medir mediante este método debe estar seca y libre de suciedad o material suelto que, bajo tránsito normal, será removido.

6.2.8.5.3. DEFINICIONES

A. MACROTEXTURA DEL PAVIMENTO

Desviaciones de la superficie del pavimento con respecto a una superficie plana con las dimensiones características de longitud de onda y amplitud desde 0,5 mm hasta aquellas que no afecten la interacción entre el neumático y el pavimento.

B.MEGATEXTURA DEL PAVIMENTO

Desviaciones de la superficie del pavimento con respecto a una superficie plana con las dimensiones características de longitud de onda de 50mm a 500mm y amplitud de 0,1mm a 50 mm.

C.MICROTEXTURA DEL PAVIMENTO

Desviaciones de la superficie del pavimento con respecto a una superficie plana con las dimensiones características de longitud de onda de 0,0 mm a 0,5 mm y amplitud de 0,001 mm a 0,5 mm.

6.2.8.5.4. EQUIPO Y MATERIALES

Los elementos esenciales para la realización del ensayo que se muestran en la **Figura 6.2_ 100**, consisten en los siguientes materiales y equipos:

- Se debe contar con arenas normalizadas obtenidas mediante la preparación de éstas en laboratorio, debido a que deben ser lavadas, limpiadas, secadas y tamizadas, obteniéndose principalmente dos tipos de arenas.
- Por un lado se obtiene la arena tipo 80/100 que significa que pasa por el tamiz N° 80 (0,18 mm) y es retenida por el tamiz N° 100 (0,15 mm), y la arena tipo 100/200 cuya arena pasa por el tamiz N° 100 (0,15 mm) y es retenida por el tamiz N° 200 (0,075 mm). Como se menciona anteriormente esta arena debe estar libre de impurezas y debe encontrarse seca al momento de desarrollar el ensayo.
- Cilindro contenedor de material, con un volumen interno predeterminado de al menos 25.000 mm³, para ser utilizado para determinar el volumen de material esparcido.
- Disco para esparcir, plano y rígido, de 25 mm de espesor y 60 a 75 mm de diámetro, utilizado para esparcir el material. La parte inferior del disco debe ser cubierta por goma lisa y su parte superior debe contar con una manilla que facilite su agarre.
- Escobillas, una de cerdas duras y otra de cerdas blandas, que serán utilizadas para limpiar la superficie de ensayo.
- Caja protectora de viento, pantalla adecuada que evite las turbulencias de viento ocasionadas por el tránsito durante el ensayo.
- Regla, de al menos 300 mm de longitud con subdivisiones al milímetro.
- Balanza, se recomienda con precisión a 0,1 gramos para asegurarse que el material utilizado en el ensayo es igual en masa y volumen.

6.2.8.5.5. CONDICIONES GENERALES

A.CALIBRACIÓN

En este equipo se requiere especial cuidado con la limpieza de la arena y con los elementos graduados antes descritos a fin de no alterar las mediciones obtenidas. Por lo tanto, la calibración en este caso está referida al cumplimiento estricto de las graduaciones tanto de arena y de recipientes como de elementos de medición que intervienen en el desarrollo del ensayo.

B.SEGURIDAD

En la descripción de este método de ensayo no se abarcan todos los temas relacionados con seguridad, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario establecer las medidas de seguridad y control de tránsito apropiado de acuerdo a la normativa vigente antes de la puesta en práctica del ensayo.

El personal que realiza el ensayo, como todos los equipos a su cargo, deben cumplir con las leyes vigentes. No obstante, lo anterior se recomienda tomar precauciones adicionales a las impuestas por la ley, para asegurar en todo momento una máxima seguridad del personal a cargo de las mediciones y de los vehículos que transitan por la vía donde se realizarán los ensayos.

6.2.8.5.6. PROCEDIMIENTO

A.ÁREA DE MUESTRA

Inspeccione la superficie del pavimento a ser evaluada y seleccione un área seca y homogénea que no tenga singularidades tales como grietas o juntas. Limpie completamente la superficie utilizando las escobillas para remover todos los residuos o material suelto en la superficie. Coloque la caja protectora para viento alrededor del área a ensayar.

B.MATERIAL DE MUESTRA

Llene el cilindro de volumen conocido con material seco y golpee suavemente la base de éste mientras lo llena. Agregue más material hasta llenar el cilindro hasta el tope, y posteriormente enráselo con una regla. Si dispone de una balanza de laboratorio, determine la masa de material dentro del cilindro y procure utilizar esta cantidad en cada uno de los ensayos.

C.MEDIDA DEL ENSAYO

Vacíe el volumen o masa de material sobre la superficie limpia dentro del área protegida al viento. Cuidadosamente esparza el material en forma circular con el disco plano, utilizando su lado de goma para estos efectos, llenando las cavidades de la superficie a ras con las crestas de los áridos de la capa de rodadura. Mida y registre el diámetro del área cubierta por el material tomando cinco medidas igualmente espaciadas sobre el círculo. Calcule y registre el promedio de las cinco medidas.

- a. Para superficies muy lisas donde el diámetro del parche de material esparcido es mayor a 305 mm, es recomendable reducir a la mitad el volumen de material a utilizar.

6.2.8.5.7. CÁLCULOS

Volumen del cilindro, calcule el volumen interno del cilindro como:

$$V = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h}{4}$$

Donde:

V: Volumen interno del cilindro (mm³).

d: Diámetro interno del cilindro (mm³).

h: Altura del cilindro (mm)

2. Promedio de profundidad de macrotextura del pavimento, calcule el promedio de profundidad de macrotextura usando la siguiente ecuación:

$$MTD = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2}$$

Donde:

MTD: Profundidad media macrotextura (mm).

V: Volumen de arena utilizada (mm³).

D: Diámetro promedio del área cubierta por la arena (mm)

6.2.8.5.8. INFORME

El informe de cada superficie de pavimento evaluada debe contener la siguiente información:

- a) Ubicación e identificación de la superficie evaluada y los puntos ensayados.
- b) Fecha.
- c) Volumen de material utilizado en cada ensayo realizado, mm³.
- d) Número de mediciones realizadas en el sector.
- e) Diámetro promedio del área cubierta con material, mm, para cada ensayo.
- f) Promedio de profundidad de textura, mm, para cada ensayo.
- g) Promedio de profundidad de textura, mm, para el total de la superficie evaluada.

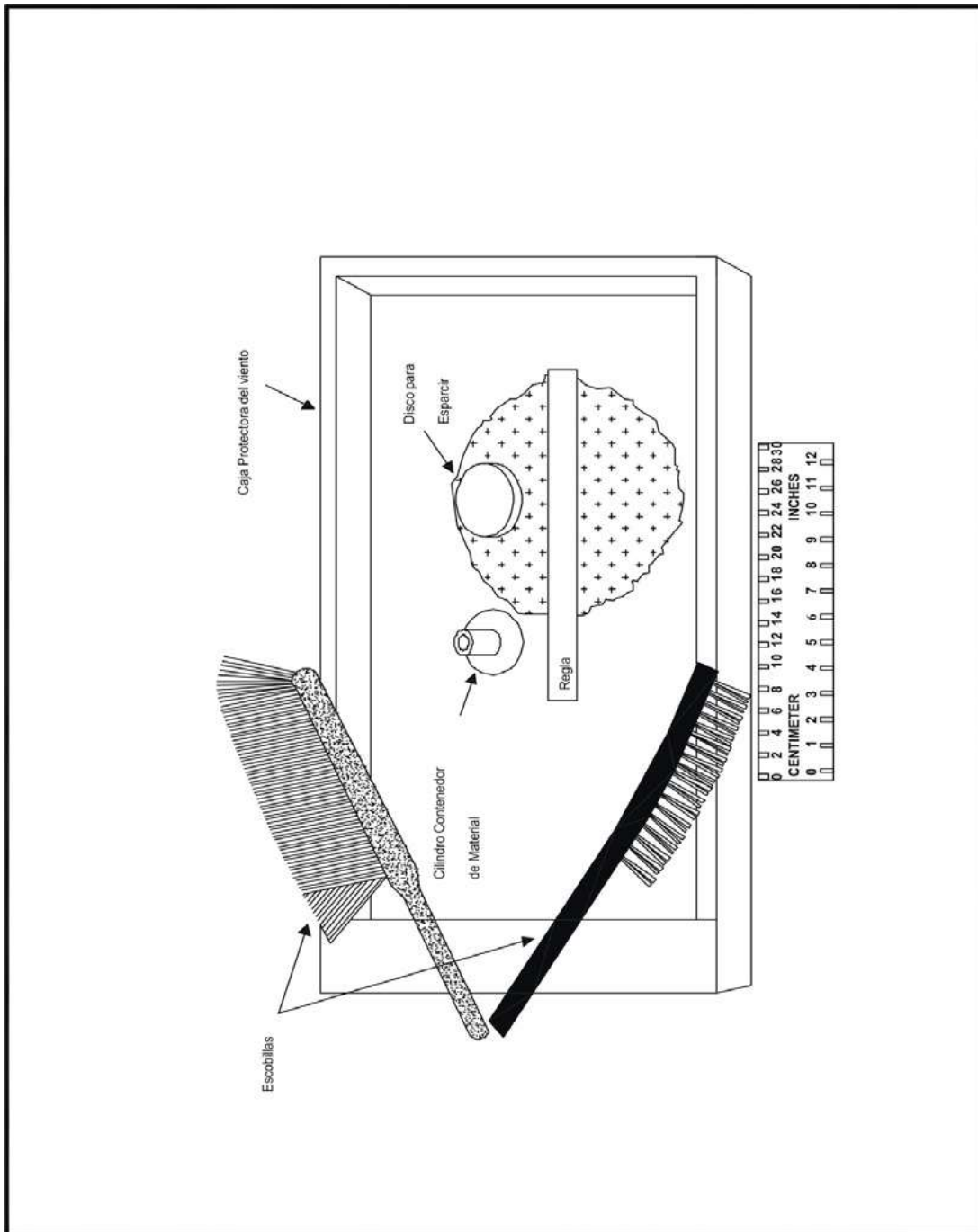


Figura 6.2_100. APARATO PARA MEDIR PROFUNDIDAD DE MACROTEXTURA DE LA SUPERFICIE DEL PAVIMENTO.

SECCION 6.2.8.6.

MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN TRANSVERSAL DEL PAVIMENTO CON SCRIM (NTL 336)

6.2.8.6.1. OBJETO

La fricción es una característica de la superficie de las carreteras independiente del tipo de pavimento y que se enmarca en los aspectos de seguridad que ellas ofrecen a los usuarios, que las circulan.

La medición descrita en esta especificación está basada en el uso del equipo SCRIM, "Sideway Force Coefficient Routine Investigation Machine" y corresponde a un ensayo de tipo continuo para evaluar el SFC "Sideway Force Coefficient", coeficiente de roce transversal.

6.2.8.6.2. DEFINICIONES

A. RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

Fuerza que se desarrolle a lo largo de la superficie de un pavimento, cuando una rueda está frenada o impedida de girar. Comúnmente la resistencia al deslizamiento es entendida como la propiedad de una superficie que impide el deslizamiento de un cuerpo sobre ella.

B. COEFICIENTE DE FRICCIÓN DINÁMICO

Corresponde a la razón entre la resistencia al deslizamiento y la fuerza normal a la superficie donde el cuerpo desliza.

C. SECTOR HOMOGÉNEO

Corresponde a un pavimento de estructuración uniforme y que no es dividido por alguna singularidad.

D. COEFICIENTE DE ROCE TRANSVERSAL

Este coeficiente nace del principio de medición de los equipos de rueda desviada. Esto debido a que estos equipos poseen una rueda que gira libremente pero con una desviación respecto del sentido de desplazamiento del vehículo lo que genera la aparición de fuerzas normales en dicha rueda, constituyéndose en el coeficiente de fricción, pero en esta oportunidad, de tipo transversal.

Nota 1: Se asumirán los siguientes conceptos como sinónimos: coeficiente de fricción, coeficiente de roce, coeficiente de resistencia al deslizamiento, coeficiente de resbalamiento; los que podrán acompañarse de alguna característica en particular, dependiendo del equipo utilizado o posición de los equipos al momento de determinar este parámetro (entre otros, de tipo longitudinal, transversal, etc.)

6.2.8.6.3. EQUIPOS Y MATERIALES

El nombre del equipo denominado SCRM “Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine” (Máquina de Investigación Rutinaria del Coeficiente de Fuerzas Laterales), es un equipo instalado sobre un camión que consta de diferentes componentes. La parte más importante se concentra en el equipo de determinación de fuerzas transversales, el que está compuesto de una rueda oblicua desviada en 20 grados respecto del desplazamiento del vehículo, la que a su vez posee un neumático liso con una presión de inflado de 50 psi.

Esta rueda a su vez presiona la superficie del pavimento gracias a un sistema independiente de sujeción, la que tiene una fuerza de 200 kgf. Dicha rueda posee un elemento detector en el eje del tipo Strain-Gauges, que actúa como transductor de la fuerza transversal producida en la rueda, señal que es llevada a través de conexiones eléctricas al computador central del equipo que se ubica en la cabina. Por lo tanto, de la relación entre la fuerza desarrollada normal al plano de la rueda de ensayo y la carga sobre ésta, se obtiene el llamado coeficiente de fricción. La resiliencia del neumático de ensayo utilizado será de $46 \pm 3\%$ a 20 °C, medido con resilómetro Lupke.

La rueda de ensayo gira libremente sobre la superficie del pavimento mojado debido a que el ensayo debe desarrollarse en condiciones adversas, es decir, sobre superficies húmedas. Esto se logra con un sistema de boquillas que posee el equipo y que anteceden a la pasada de la rueda de ensayo.

El agua proviene de un estanque de almacenamiento que tiene el camión, con capacidad para 5.000 litros de agua. El agua llega a las boquillas mediante bombas que permiten entregar una presión constante, de modo que el caudal evacuado sea también constante. Un sistema complementario considera una segunda boquilla que funciona producto del peso que ejerce el agua en el estanque, hace que el agua caiga por simple gravedad. Cabe considerar que las boquillas tienen diferentes dimensiones, esto debido a que el caudal de evacuación que se requiere en ambos casos debe ser el mismo. El sistema de agua por gravitación se utilizará sólo en caso que el sistema apoyado por bombas falle. El agua utilizada debe estar limpia, libre de desechos orgánicos que afecten la medición.

El sistema de almacenamiento de datos permitirá que, dependiendo de la velocidad de operación del equipo, sea posible registrar al menos 16 lecturas por metro de recorrido, grabando automáticamente el valor medio de estas lecturas. El sistema de almacenamiento se hará en cualquier medio magnético que permita esta cantidad de información. También se registran las temperaturas de ambiente y de la superficie del pavimento mediante sensores de temperatura, además de la velocidad promedio en cada subtramo y kilometraje asociado a la medición (distancia acumulada).

Otro elemento importante a considerar es la tabla de calibración de la rueda de ensayo cuyo procedimiento de uso se explicará en el punto calibración del equipo.

6.2.8.6.4. CONDICIONES GENERALES

A. CALIBRACIÓN Y OPERACIÓN DEL EQUIPO

El sistema de calibración consiste, básicamente, en el correcto funcionamiento del elemento sensor (ubicado en el eje de dicha rueda) de las fuerzas normales que se generan por la desviación de la rueda de ensayo.

Para ello, se cuenta con una tabla que posee un sistema de sustentación de la rueda de ensayo, que a su vez tiene una conexión a través de transductores al computador central ubicado en la cabina del camión.

De esta forma, en el computador se selecciona, en el menú, la opción de calibración de sensores. Luego se comenzará a aplicar diferencialmente fuerzas predefinidas, normales a la rueda de ensayo.

Para ello, cada vez que se logre alcanzar un punto predefinido de fuerza, el computador almacenará esa información, registrando también la constante eléctrica asociada para cada nivel de fuerza ejercida.

Así se deberá obtener una curva lineal que permita deducir que el sensor se encuentra funcionando correctamente.

Un elemento que debe ser calibrado de igual manera, es el correspondiente al sistema de distanciómetro u odómetro del equipo.

El procedimiento consiste en predefinir una longitud patrón de 1.000 metros, los que deben ser marcados al inicio y al final con cualquier elemento, conos, marcas sobre la superficie u otros.

Para esto el software debe estar preparado para iniciar esta calibración, posicionando un neumático sobre la marca de inicio, procediendo a recorrer la distancia predefinida. Cabe señalar que debe quedar registrado en el computador, el inicio y fin del tramo, obteniéndose la constante eléctrica para los pulsos obtenidos por el odómetro en esta distancia.

6.2.8.6.5. PROCEDIMIENTO

A. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

La velocidad de operación del equipo podrá ser a 30, 50 y 70 km/h \pm 10 km/h, lo que se definirá previamente al desarrollo del ensayo. Estas velocidades están asociadas al tipo de evaluación que se efectuará, ya sea en controles receptivos o estudios. Si la velocidad del vehículo se desvía de la velocidad asociada al tipo de evaluación, se debe aplicar una corrección.

Comúnmente en carreteras se utiliza una velocidad de 50 km/h.

La medición deberá ser realizada bajo condiciones controladas, es decir en la misma época del año, tomando registros de temperaturas (ambiente y pavimento), registrando la velocidad, y verificando siempre la condición y estado de los componentes del sistema de medición del equipo.

El equipo se ubicará 500 m antes del punto de inicio de la medición durante el cual la rueda de ensayo irá en contacto con el pavimento, a modo de calentar el neumático y prepararlo para la medición. Esto se realizará cada día antes del inicio de la primera medición, o cada vez que el neumático de ensayo sea cambiado. También se realizará esto cuando la rueda ha tenido una detención en la medición por más de 3 horas.

Se deberá cerciorar que el estanque de agua tenga la cantidad suficiente para desarrollar el ensayo que se está programando, así como tener encendido el computador en el cual previamente se ha seleccionado el menú de captura de datos.

Procediendo el operador a bajar la rueda de ensayo desde la cabina, gracias a un mecanismo automático que se activa con un interruptor, se le solicita al conductor llegue a la velocidad de ensayo predeterminada en el menor tiempo posible para luego mantenerla constante durante el desarrollo de la medición.

Es importante chequear visualmente, a través de los espejos del camión, que con la bajada del neumático de ensayo, el agua salga por la boquilla correspondiente.

Una vez que el neumático tome contacto con el pavimento, el computador comenzará a registrar los valores correspondientes, con lo cual el operador presionará la tecla correspondiente al inicio de la medición para que el software adquiera los datos.

Durante el desarrollo de la medición, el software deberá permitir al operador ingresar puntos singulares de la medición, así como comentarios que el operador desee ingresar.

Una vez llegado al punto de finalización de la medición, el operador ingresará la identificación de éste en el computador y, posteriormente, procederá a levantar la rueda de ensayo desde el interior de la cabina.

B.PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN

Para efectos de control receptivos y de explotación se procederá a procesar la información determinada cada 200 metros. En dicho proceso, deberán quedar establecidos los inicios y finales de los sectores homogéneos medidos. De igual forma, se registrará la distancia acumulada para cada tramo.

En el caso de las mediciones de estudio o de investigación de los procesos podrán llevarse los mínimos deseables a fin de evaluar con mayor acuciosidad el sector auscultado.

Los valores obtenidos corresponden al promedio obtenido en cada tramo del proceso en milímetros, siendo este valor representativo de la textura superficial correspondiente.

SECCION 6.2.8.7.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL AHUELLAMIENTO

6.2.8.7.1. OBJETO

El ahuellamiento es un fenómeno que afecta a los pavimentos asfálticos que se manifiesta como una depresión longitudinal en la sección transversal y que de preferencia, se localiza en las zonas del pavimento por donde circula la mayor parte del tránsito (huellas).

Geoméricamente se define como la máxima depresión por huella en el sentido transversal al camino, tal como se ilustra en la siguiente Figura:

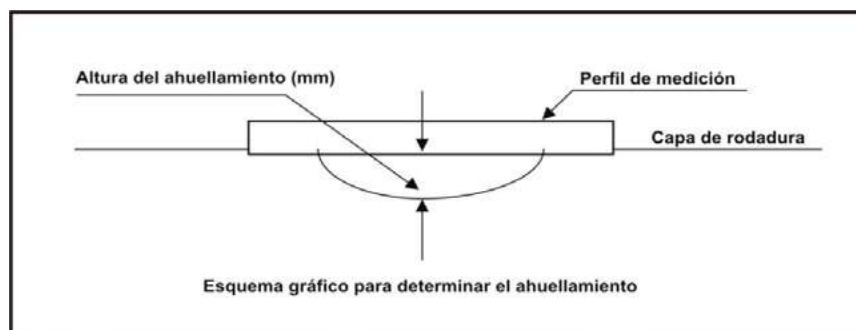


Figura 6.2_101. ESQUEMA GRÁFICO PARA DETERMINAR EL AHUELLAMIENTO

6.2.8.7.2. EQUIPOS Y MATERIALES

Existen diversos equipos para determinar el ahuellamiento; dependiendo de sus características se suelen clasificar como equipos de alto y bajo rendimiento.

A.EQUIPOS DE ALTO RENDIMIENTO

Los principales equipos de alto rendimientos son el Perfilómetro Láser y el Perfilómetro Óptico.

B.EQUIPOS DE BAJO RENDIMIENTO

Los equipos de bajo rendimiento más característicos son el Perfilógrafo Transversal, la toma de perfiles por métodos manuales con reglas graduadas y los Perfilómetros portátiles.

6.2.8.7.3. CONDICIONES GENERALES

A.CALIBRACIÓN Y OPERACIÓN DEL EQUIPO

Los procedimientos de calibración y operación de los equipos dependen de las indicaciones de los respectivos fabricantes.

6.2.8.7.4. PROCEDIMIENTO

Para fines de Autocontrol, el Contratista deberá utilizar alguno de los sistemas mencionados en "Equipos y Materiales"; alternativamente podrá emplear otro tipo de equipo, siempre que esté debidamente calibrado.

Para fines de recepción de obras se debe determinar el ahuellamiento mediante perfilógrafos transversales, perfiles y reglas graduadas o perfilómetros portátiles.

Los procedimientos a seguir al utilizar unos u otros de estos equipos son los que se indican a continuación.

A.PERFILES Y REGLAS GRADUADAS

Un perfil metálico indeformable, de sección rectangular (ancho mínimo 20 mm y altura mínima 30 mm), de al menos 1,5 m de largo, se coloca en forma transversal y en 90° respecto al eje de la pista, desde uno de los bordes hacia el centro (ver figura). Luego se desliza una escuadra, regla o cuña metálica debidamente graduada al milímetro por debajo de este perfil, determinando y registrando la profundidad máxima que alcanza la depresión (ahuellamiento). El procedimiento se debe realizar en las dos huellas de una pista.

Nota 1: La regla, escuadra o cuña deberá permitir medir ahuellamientos en el rango de 1 a 20 mm.

B.PERFILÓGRAFO TRANSVERSAL

Consiste en extender el perfilógrafo sobre la calzada formando un ángulo de 90° respecto al eje de la pista; se obtiene gráficamente, un perfil o sección transversal de la pista el que sirve para determinar la deformación máxima por huella, valor que corresponde al ahuellamiento.

C.PERFILÓMETRO PORTÁTIL

Es un instrumento operado manualmente, capaz de medir el perfil o sección transversal de una pista mediante un sistema de inclinómetro - odómetro, extensómetro odómetro u otro mecanismo similar. Para fines receptivos se debe generar un registro de al menos 10 puntos por pista, en base al cual se determina el ahuellamiento máximo en la pista auscultada.

D.PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN

Cualquiera fuere el método utilizado para determinar el ahuellamiento con fines receptivos, efectúe una medida al menos cada 200 metros lineales, por cada huella y por pista; registre como el ahuellamiento representativo el mayor valor medido para las dos huellas. Las medidas se deben informar con la precisión al mm. No mida el ahuellamiento en singularidades, tales como puentes, badenes, tapas de alcantarilla u otras, las que alteran localmente el perfil transversal de la pista.

6.2.8.7.5. INFORME

El encabezado del informe correspondiente debe contener al menos los siguientes antecedentes:

- a) Nombre del contrato.
- b) Departamento.

- c) Número y fecha de la Resolución que adjudicó el contrato.
- d) Nombre de la empresa contratista.
- e) Identificación del tramo o sector en que se hicieron las mediciones.
- f) Número de la pista.
- g) Fecha de la medición.

En la **Figura 6.2_102** se presenta un formulario tipo que define la forma en que debe presentarse el Informe. Para llenarlo se debe proceder como sigue:

- a) En la primera columna anote el kilometraje en que se realizó la medición.
- b) En la segunda y tercera columnas, registre los ahuellamientos medidos, expresados en mm, correspondientes a las huellas externas e internas, respectivamente.
- c) En la cuarta columna, registre el ahuellamiento máximo medido (mm) y que corresponde al mayor de los valores anotados en las dos columnas anteriores.
- d) En la quinta columna, encabezada por la palabra “topónimo” identifique la singularidad detectada, la que servirá de antecedente o referencia a quien evalúe la información.

Nombre del Contrato: _____				
Departamento: _____				
Rol y Código del Camino: _____				
Resolución: _____				
Contratista: _____				
Tramo: _____				
Pista N°: _____				
Fecha de Medición: _____				
Dm.	Ahuellamiento (mm)		Ahuellamiento máx. (mm)	Topónimo
	Huella externa	Huella interna		
OBSERVACIONES:				
Entidad a cargo del control:				
Profesional responsable del control:				
_____ FIRMA				

Figura 6.2_102. FORMULARIO TIPO DE INFORME DE CONTROL DE AHUELLAMIENTO

CAPITULO 6.2.9.

ENSAYOS PARA LA EVALUACIÓN DE CONDICIONES ESTRUCTURALES DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

SECCION 6.2.9.1. | MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE TESTIGOS

6.2.9.1.1. OBJETO

Este método define los procedimientos para la extracción de muestras por aserrado, tanto en pavimentos terminados como en obras estructurales. El propósito es, en general, la recepción de las obras, pues los ensayos de las muestras permiten verificar el cumplimiento de las especificaciones, lo que asegura en la mayor medida posible, la calidad y duración de las obras contratadas, minimizando los costos de mantenimiento.

El procedimiento establece la forma como deben extraerse muestras cilíndricas de pavimentos de hormigón y asfalto (base asfáltica, capa intermedia y capa asfáltica) así como de estructuras, tales como puentes, obras de arte, soleras y muros de contención, entre otros.

6.2.9.1.2. DEFINICIONES

A. TESTIGO

Muestra cilíndrica aserrada, extraída de pavimentos terminados y/o de elementos de hormigón estructural, cuyo fin es verificar que los diferentes parámetros de diseño (densidad, espesor, resistencia, etc.) cumplan con las especificaciones de la obra.

B. BROCA

Dispositivo metálico construido en acero, de forma tubular, con corona de corte diamantada y habitualmente refrigerado por agua, que se emplea para cortar testigos. Existen de diferentes diámetros y longitudes, para diversos usos y requerimientos.

C. TESTIGOS DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Las muestras de pavimentos asfálticos están destinadas principalmente, a determinar la densidad y el espesor, con el objetivo de verificar el cumplimiento de las especificaciones de diseño. También, en muchas ocasiones sirven para determinar adicionalmente, el contenido porcentual de asfalto, por medio del ensayo de extracción.

D. TESTIGOS DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

Las muestras de pavimentos de hormigón se emplean principalmente para verificar el espesor de las losas y en menor grado, para determinar resistencias cuando los ensayos realizados en muestras de hormigón fresco, resultan insuficientes para una debida evaluación estadística de la obra. También se utilizan para comprobar la calidad final cuando se han registrado deficiencias durante la construcción.

E. TESTIGOS DE HORMIGONES ESTRUCTURALES

En hormigones estructurales, las muestras se ocupan principalmente para determinar espesores y en algunos casos para evaluar la resistencia estructural del hormigón cuando se han registrado deficiencias durante la construcción.

6.2.9.1.3. EQUIPOS Y MATERIALES

Existen dos categorías de equipos para la extracción de testigos (testigueras), los que se diferencian por su peso, potencia, rendimiento y maniobrabilidad.

A.EQUIPOS DE ALTO RENDIMIENTO

Corresponden a las testigueras de gran peso y potencia, montadas sobre un carro para transporte y que incluyen un sistema hidráulico con dispositivo de fijación, los que se adosan a la superficie para darle al equipo la adecuada estabilidad. Disponen de una bomba y un estanque de agua, lo que les da gran autonomía, permitiendo una alta velocidad y calidad de corte. Es conveniente que estas testigueras cuenten con un sistema para el control de la presión de corte que se está aplicando.

B.EQUIPOS DE BAJO RENDIMIENTO

Son equipos portátiles para extraer testigos, que se utilizan preferentemente en estructuras, dada su gran versatilidad, pues son lo suficientemente pequeños y livianos para moverlos e instalarlos con relativa facilidad en el lugar requerido (ver **Figura 6.2_92**); pueden ser accionados por un motor a explosión o un motor eléctrico. La desventaja de estas testigueras radica en que cortan con menor velocidad y calidad que los de alto rendimiento, debido a su menor potencia y menor estabilidad por el bajo peso y sistema de fijación.

6.2.9.1.4. CONDICIONES GENERALES

A.OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS

Los equipos deberán operarse según las indicaciones de los respectivos fabricantes, sin perjuicio de lo cual, el trabajo deberá ajustarse a las disposiciones de seguridad y prevención de riesgos vigentes.

6.2.9.1.5. PROCEDIMIENTO

Antes de extraer un testigo del pavimento verifique que se encuentre limpio y despejado. Localice el equipo a no menos de 60 cm de los bordes de la pista, siendo preferible colocarlo dentro del tercio central de ella.

En estructuras analice la posición en que conviene extraer el testigo, para que sea representativo del elemento que se pretende controlar; además, determine la posible posición de las enfierraduras, de manera que la extracción no implique debilitar la sección.

Para que la extracción de un testigo resulte eficiente es indispensable tener presente las siguientes consideraciones:

A.BROCAS

Las brocas deben ser las adecuadas respecto a calidad y dimensiones para el tipo de trabajo a realizar y deben encontrarse en buenas condiciones. Normalmente para pavimentos de hormigón se usan brocas de 6 pulgadas (150 mm) de diámetro y para pavimentos de asfalto de 4 pulgadas (100 mm).

B.AGUA

La presión del agua debe ser suficiente para una adecuada refrigeración, la que incide en una buena operación y en la vida útil de la broca.

C.PRESIÓN DE CORTE

La presión de corte aplicada debe concordar con la capacidad del equipo empleado.

D.POSICIONAMIENTO DEL EQUIPO

El equipo deberá asentarse sobre la superficie de forma que la broca se apoye perpendicularmente sobre ella y los dispositivos de fijación aseguren la estabilidad durante la extracción.

E.VELOCIDAD DE CORTE

Inicie el corte a baja velocidad y presión moderada, hasta que los dientes de la broca hayan penetrado en el elemento a muestrear. Una vez alcanzada esa condición, aumente la velocidad y la presión hasta los niveles normales para un adecuado rendimiento; mantenga esos niveles constantes durante todo el tiempo que tome la extracción de manera de asegurar una geometría uniforme en el testigo.

F.TESTIGOS EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

En las extracciones en pavimentos asfálticos, verifique que la temperatura superficial no sea demasiado alta, para evitar que el testigo se disgregue durante la operación.

G.IDENTIFICACIÓN

Los testigos extraídos deben identificarse claramente de acuerdo a un código de registro que incluya al menos un número correlativo, el kilometraje y la pista; para marcar utilice pintura u otro producto de marcación indeleble.

H.EMBALAJE

Deposite los testigos, previamente marcados e identificados, en bolsas de polietileno de alta densidad, debidamente embalados para evitar que se alteren sus propiedades durante el traslado al laboratorio o sala de ensayos.

I.ALMACENAMIENTO

Almacene los testigos de capas asfálticas en lugares apropiados, sin luz solar directa, temperatura ambiental entre 10° y 30° C y sin condensación, a objeto de mantener inalterada su condición original hasta el momento del ensayo.

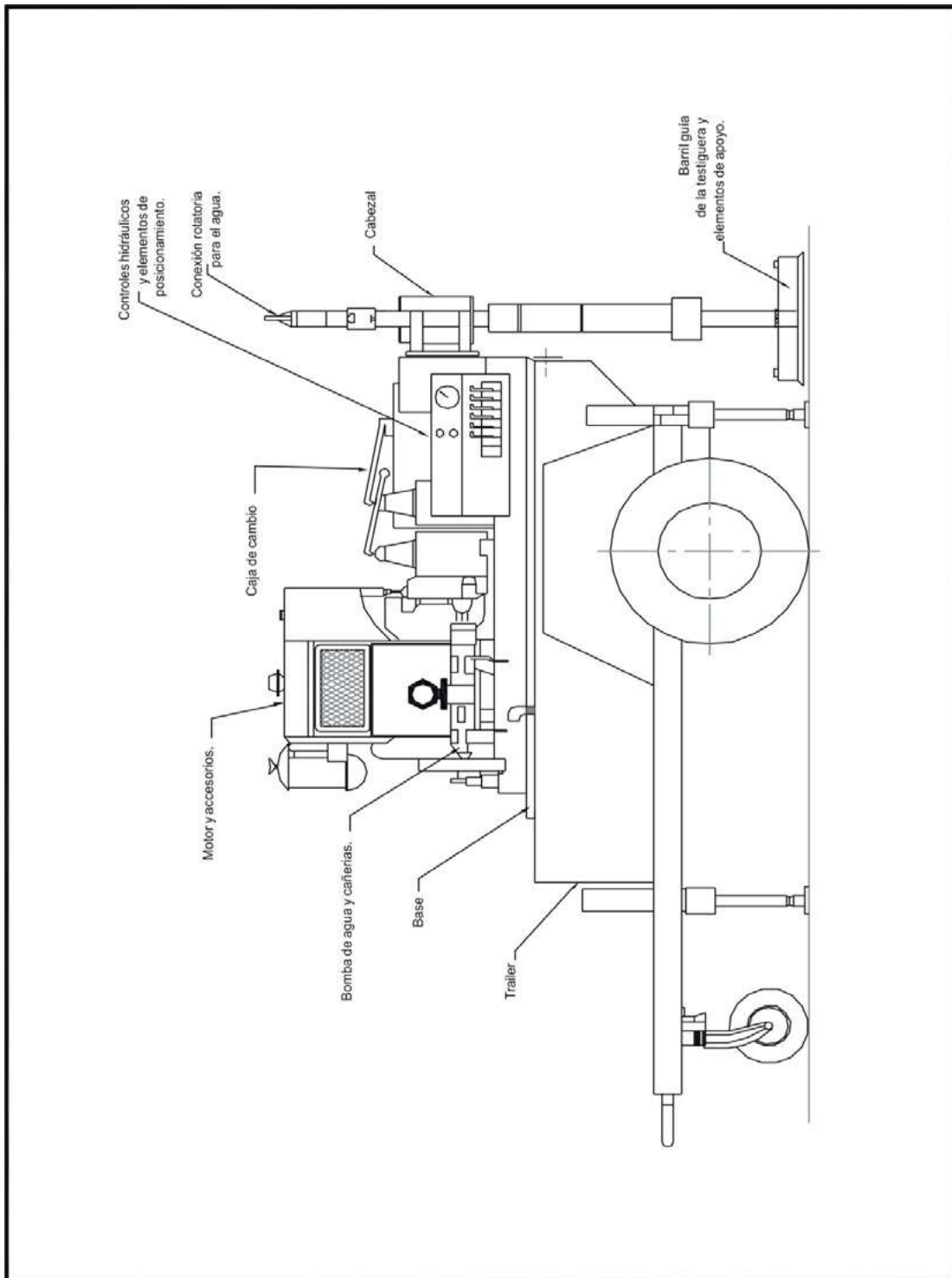


Figura 6.2_103. ESQUEMA GENERAL DE UNA TESTIGUERA DE ALTO RENDIMIENTO

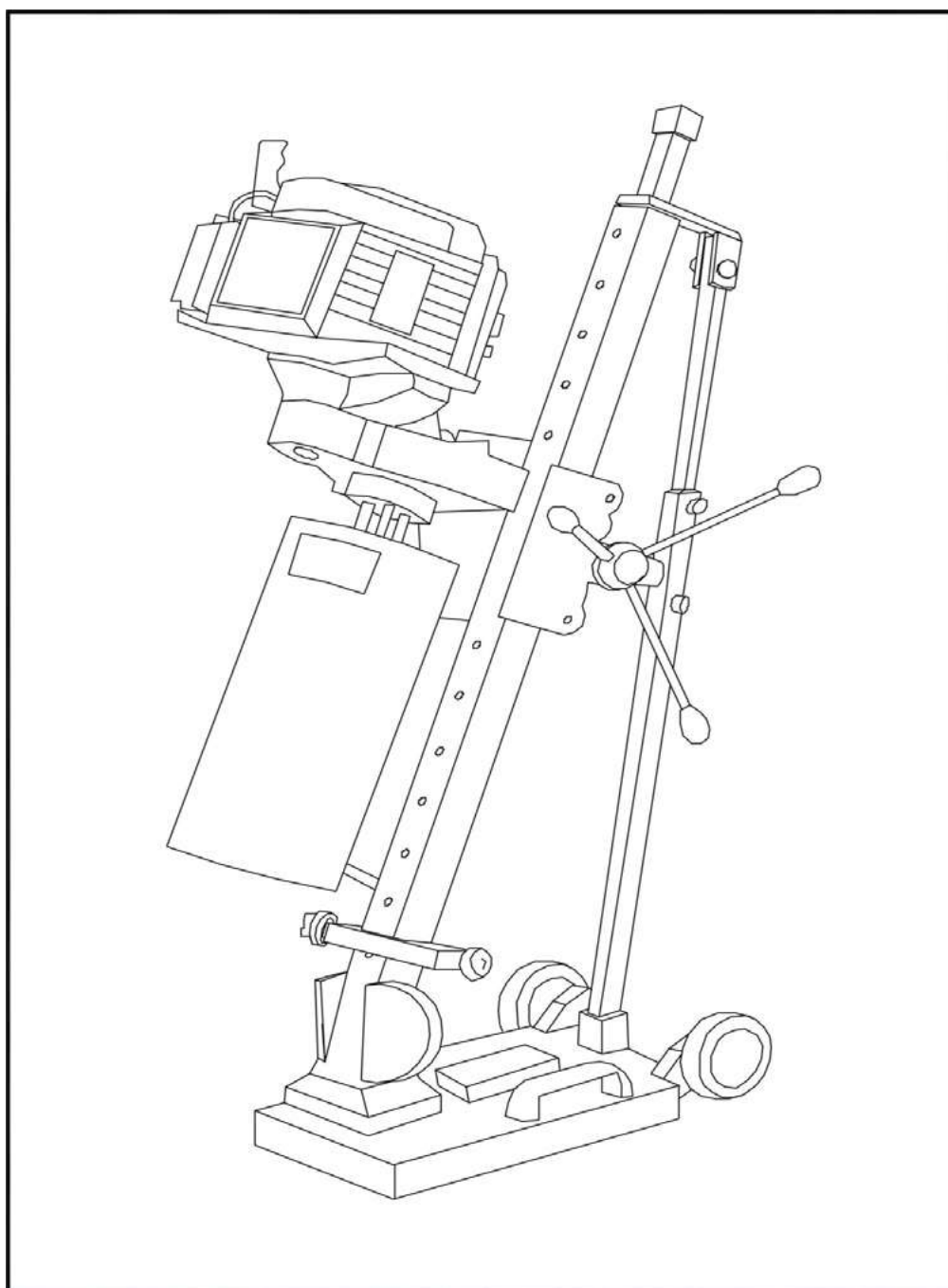


Figura 6.2_104. TESTIGUERA PORTÁTIL

SECCION 6.2.9.2.

MÉTODO NUCLEAR PARA DETERMINAR IN SITU LA DENSIDAD DE SUELOS (MEDICIÓN SUPERFICIAL) (AASHTO T238)

6.2.9.2.1. OBJETO

Este método describe los procedimientos para determinar la densidad in situ de suelos y áridos mediante un equipo nuclear. En general, la densidad total o densidad húmeda del material bajo ensayo se determina colocando una fuente gamma y un detector gamma instalado sobre, dentro o adyacente al material a medir. Estas variaciones en la geometría del ensayo se presentan como retrodispersión, transmisión directa o separación por colchón de aire respectivamente. La intensidad de la radiación detectada depende, en parte, de la densidad del material bajo ensayo; la lectura de la intensidad de la radiación se transforma a densidad húmeda por una curva de calibración apropiada.

Debe destacarse que la densidad determinada por este método no es, necesariamente, el promedio de las densidades existentes en el interior del volumen envuelto en la medición y que el equipo utiliza materiales radiactivos que pueden ser peligrosos para la salud de los operadores, a menos que se tomen las precauciones adecuadas.

1.DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD

El método permite determinar la densidad total o densidad húmeda de suelos y áridos in situ, por la atenuación de los rayos gamma cuando la fuente gamma y el detector gamma, o ambos, permanecen en o cerca de la superficie. Los procedimientos que se describen son normalmente satisfactorios para determinaciones en espesores de aproximadamente 50 a 300 mm, dependiendo del tipo de geometría usado en el ensayo. Se presentan tres métodos que son los siguientes:

- Método A Retrodispersión.
- Método B Transmisión Directa.
- Método C Colchón de aire.

2.SIGNIFICADO

Los procedimientos que se describen son útiles como técnicas no destructivas rápidas para la determinación in situ de la densidad húmeda de suelos y áridos. Las hipótesis fundamentales, inherentes al método, son que la dispersión de Compton es la interacción dominante y que el material bajo ensayo es homogéneo.

3. Son ensayos muy convenientes para la aceptación y control de suelos y agregados pétreos para la construcción, así como también para la investigación y desarrollo. Los resultados pueden verse afectados por la composición química, la heterogeneidad de la muestra y la textura de la superficie del material ensayado. Las técnicas además demuestran una predisposición especial donde el aparato es más sensible a ciertas regiones del material bajo ensayo.

6.2.9.2.2. CONDICIONES GENERALES

A. CALIBRACIÓN

4. Curvas de Calibración

Las Curvas de Calibración se establecen determinando la razón de conteo nuclear de cada uno de varios materiales diferentes de densidades conocidas, trazando la razón de conteo versus cada densidad y ajustando una curva por los puntos resultantes. La razón de los conteos nucleares debe determinarse promediando un mínimo de 4 períodos de medición de por lo menos 1 min. cada uno. El método usado para establecer la curva debe ser el mismo que se va a usar para determinar la densidad. La densidad de los materiales usados para establecer la curva de calibración debe ser uniforme y variar dentro de un rango que incluye la densidad de los materiales que se ensayarán.

Las Curvas de Calibración pueden definirse en base a lo siguiente:

- a) Bloques de densidad conocida. Los materiales considerados satisfactorios para usar en bloques incluyen el granito, aluminio, magnesio con aluminio laminado, caliza y magnesio. Para transmisión directa debe perforarse un hoyo en los bloques con las tolerancias de dimensión dadas en 9 d).

Nota 1: Debido al efecto de las diferentes composiciones químicas, las curvas de calibración pueden no ser aplicables a materiales no representados al establecerlas.

Los bloques metálicos son adecuados sólo para determinar la forma y pendiente de la curva de calibración. La correcta localización de la curva debe ser determinada por ensayos sobre bloques o materiales de composición similar a la encontrada en el campo del ensayo.

- b) Contenedores de suelo - árido compactado a densidades conocidas.

Nota 2: El uso de los bloques es ventajoso porque son durables y proporcionan referencias de densidad estables. Los bloques y contenedores preparados deben ser suficientemente grandes para no cambiar la razón de conteos observados si se aumenta cualquier dimensión. Las dimensiones mínimas de los bloques deben ser 300 mm de ancho por 350 mm de profundidad por 600 mm de largo.

Los contenedores preparados deben ser bastante amplios para permitir la rotación del medidor en 90°. Las dimensiones mínimas para los contenedores de muestreo de suelos deben ser de 600 mm de ancho por 600 mm de largo por 350 mm de profundidad. Para calibración en retrodispersión solamente, es adecuada una profundidad de no menos de 150 mm.

5. Control de las Curvas de Calibración

Las Curvas de Calibración para instrumentos recién adquiridos deben controlarse. También deben efectuarse controles si por cualquiera razón los resultados de ensayos de rutina se estiman inexactos. Para el método de retrodispersión, las curvas de calibración deben controlarse también para ensayos en materiales ensayados previamente, y que pueden tener composiciones químicas diferentes.

Las Curvas de Calibración pueden ser controladas en bloques (Numeral 1. Paso a) y o contenedores preparados (Numeral 1. Paso b).

6. Ajuste de la Curva de Calibración.

- a) Cuando use bloques o contenedores de materiales preparados de densidad conocida para chequear la calibración, trace la razón de conteo versus cada densidad conocida descrita en 4. Si los puntos no caen en las Curvas de Calibración establecidas previamente, reemplace la curva de calibración original por una curva paralela por los puntos trazados. Cuando use cono de arena, globo de agua u otro método para controlar la calibración, compare el promedio de por lo menos 5 posiciones de un ensayo nuclear y un ensayo con cono de arena u otro método, en exactamente la misma ubicación en cada área y proceda a ajustar la curva de calibración como sigue:
- b) Si la densidad de cada uno de los ensayos de comparación determinados por el cono de arena, u otro método, varía en menos de 80 kg/m^3 de la densidad determinada por el método nuclear y si el promedio de todos los ensayos de cono de arena, etc., difiere menos de 32 kg/m^3 del promedio de todos los ensayos nucleares correspondientes, no es necesario hacer ajustes a la curva de calibración.
- c) Si el promedio de todas las determinaciones de densidad por el cono de arena, u otro método está a más de 32 kg/m^3 por encima o debajo del promedio de todos los ensayos nucleares correspondientes, los ensayos nucleares subsiguientes deben ser ajustados en el monto de la diferencia de los promedios.
- d) El promedio de diferencias obtenido puede ser usado para trazar una curva de calibración corregida, que será paralela a la curva de calibración original y desplazada en la cantidad y dirección determinada en b).

Nota 3: Ajustar Curvas de Calibración es una tarea compleja y debe ser ejecutada sólo por aquellos que tengan conocimiento en este campo.

6.2.9.2.3. PRECISIÓN

- a) Cualquier equipo que se use ajustándose a los procedimientos que se describen en este método deberá satisfacer estos requerimientos para la precisión del sistema.
- b) La precisión del sistema está determinada por la gradiente de la curva de calibración y la desviación estadística de las señales (rayos gamma detectados) en cuentas por minuto (cpm):

$$P = S / m$$

Donde:

P: Precisión.

S: Desviación normal, (cpm).

m: Gradiente, (cpm/kg/m³).

- c) Determine la pendiente de la curva de calibración en el punto 1.760 kg/m^3 en cuentas por minuto por kg/m^3 . Determine la desviación normal de 10 lecturas repetitivas de 1 min. cada una (sin mover el medidor después de la primera medición) tomadas en un material que tenga una densidad de $1.760 \pm 80 \text{ (kg/m}^3)$. El valor de P deberá ser menor que 20 kg/m^3 .

6.2.9.2.4. PROCEDIMIENTO

A.PROCEDIMIENTO A, RETRODISPERSIÓN

7.Equipo

- a) Fuente gamma; deberá ser una fuente de isótopos radiactivos encapsulada y sellada.
- b) Detector gamma; puede ser de cualquier tipo adecuado.
- c) Dispositivo de lectura; puede ser un escalar adecuado. Normalmente el dispositivo de lectura contiene la fuente de alto voltaje necesario para operar el detector y una fuente de bajo voltaje para operar el dispositivo de la lectura y los equipos accesorios.
- d) Caja; la fuente, el detector, el dispositivo de lectura, la fuente de poder deberán estar en cajas de construcción sólida, a prueba de humedad y polvo.

Nota 4: La fuente gamma, el detector, el dispositivo de lectura y la fuente de poder pueden estar en cajas separadas, o combinadas e integradas con un sistema de medición nuclear de la humedad.

- e) Patrón de referencia; de densidad uniforme e invariable, que será provisto con cada medidor con el propósito de controlar la operación del equipo, la cuenta ambiental y para establecer condiciones para determinar la reproducibilidad de las cuentas.
- f) Equipo para la preparación del terreno; puede usarse una placa de acero, plana u otras herramientas adecuadas para emparejar el terreno a las condiciones requeridas.

8.Normalización

- a) Se requiere normalizar el equipo en un patrón de referencia al inicio de cada día de uso y cuando las mediciones de los ensayos sean sospechosos.
- b) Emplee un tiempo de estabilización para el equipo de acuerdo a las instrucciones del fabricante.
- c) Tome por lo menos 4 lecturas repetitivas de por lo menos 1 minuto cada una con el medidor sobre el patrón de referencia. Esto constituye un control de normalización.
- d) Si el promedio de las 4 lecturas repetitivas está fuera de los límites puestos por la ecuación siguiente, repita el ensayo de normalización. Si el segundo control de normalización satisface esa ecuación, considere que el equipo está en condiciones satisfactorias; si este segundo control no satisface la ecuación, chequee la calibración (numeral 1). Si el chequeo de calibración muestra que no hay cambios significativos en la curva de calibración, establezca un nuevo conteo de referencia N_0 . Si el chequeo de calibración muestra que hay una diferencia significativa en la curva de calibración, repare y recalibre el instrumento.

$$N_s = N_0 \pm 1,96 \sqrt{N_0}$$

Donde:

N_s : Cuenta medida al controlar la operación del instrumento sobre el patrón de referencia.

N_o : Cuenta establecida previamente en el patrón de referencia (promedio de 10 lecturas repetitivas).

9.Procedimiento

a) Seleccione un lugar de ensayo donde el medidor en posición de ensayo esté por lo menos a 150 mm de distancia de cualquier proyección vertical.

b) Prepare el sitio de ensayo de la siguiente manera:

- Remueva todo el material suelto y disgregado y cualquier material adicional si es necesario para dejar expuesta la parte superior del material a ensayar.

Nota 5: En la determinación, el corrector de afinamiento debiera considerarse por la profundidad a la cual el medidor ha sido instalado.

- Prepare un área horizontal de tamaño suficiente para acomodar el medidor, aplanándola hasta dejarla lisa de modo de obtener el máximo contacto entre el medidor y el área que se va a ensayar.
- El máximo hueco debajo del medidor no excederá de 3 mm. Use finos del lugar o arena fina para llenar estos huecos y empareje la superficie con una placa rígida u otra herramienta adecuada.

Nota 6: La colocación del medidor en la superficie del material a ensayar es crítica para la exitosa determinación de la densidad. La condición óptima es el contacto total entre la superficie del medidor y la del material ensayado. Esto no es posible en todos los casos y para corregir irregularidades de la superficie use arena o material similar como filler si es necesario. El espesor del relleno no debe exceder de 3 mm y el área total rellenada no debiera exceder del 10% del área de la base del medidor. Pueden requerirse varios intentos de colocación para lograr estas condiciones.

c) Proceda en el ensayo de la siguiente manera:

- Asiente el medidor firmemente
- Mantenga toda otra fuente radiactiva lejos del medidor para evitar que afecte las medidas.
- Emplee un tiempo de estabilización para el equipo de acuerdo a las instrucciones del fabricante.
- Haga y anote una o más lecturas de 1 min.
- Determine la densidad húmeda in situ usando la curva de calibración previamente establecida.

6.2.9.2.5. PROCEDIMIENTO B, TRANSMISIÓN DIRECTA

10. Equipos

El sistema de Transmisión Directa consta básicamente de las unidades que se indican a continuación y aun cuando los detalles exactos de construcción del aparato pueden variar, corresponden a los requerimientos generales descritos en 6 además de lo siguiente:

- a) Tanto la fuente gamma como el detector pueden ser alojados en una sonda para insertar en un agujero hecho con anterioridad en el material que se va a ensayar. La sonda deberá marcarse en incrementos de 50 mm para ensayos con profundidades de sonda de 50 a 300 mm. La sonda deberá estar construida de manera que cuando se mueva manualmente a la marca de profundidad deseada se sujete firmemente en esa posición.
- b) La caja, la fuente, el detector, el dispositivo de lectura y la fuente de poder, deben estar dentro de cajas de construcción sólida, a prueba del polvo y la humedad.
- c) Guía destinada a perforar un agujero normal a la superficie preparada.
- d) Un dispositivo para perforar, como un taladro o varilla que tenga un diámetro nominal igual o ligeramente mayor que la sonda, pero que no exceda el diámetro de ella en más de 3 mm de manera que permita construir un orificio en el material a ensayar para acomodar la sonda.

11. Normalización

- a) Normalice el equipo en un patrón de referencia, al inicio de cada día de uso y cuando las medidas de los ensayos sean poco confiables.
- b) Emplee un tiempo de estabilización para el equipo de acuerdo a las instrucciones del fabricante.
- c) Con el medidor sobre el patrón de referencia suministrado por el fabricante y la sonda en la posición prescrita por el fabricante para medir la cuenta de referencia, tome por lo menos 4 lecturas repetitivas de por lo menos 1 min. cada una; esto constituye un control de la normalización.
- d) Si el promedio de las 4 lecturas repetitivas resulta fuera de los límites que impone la ecuación que se incluye en 7d), repita el control de normalización. Si el segundo control de normalización satisface esa ecuación, considere que el equipo está en condiciones satisfactorias de operación. En caso contrario, cheque la calibración; si el chequeo de calibración muestra que no hay cambios significativos en la curva de calibración, un nuevo conteo de referencia "No 0" debería establecerse. Si el chequeo de calibración muestra que hay una significativa diferencia en la curva de calibración, el instrumento deberá repararse y recalibrarse.

12. Procedimiento

- a) Seleccione un lugar donde el medidor en posición de ensayo quede por lo menos 150 mm lejos de cualquier proyección vertical.
- b) Prepare el sitio del ensayo de la siguiente manera:
 - Remueva todo el material suelto y perturbado y el material adicional que sea necesario para despejar la superficie del material que se va a ensayar.

- Prepare un área horizontal de tamaño suficiente para acomodar el medidor, aplanando el área de modo de obtener el máximo contacto entre el medidor y el material que se va a ensayar.
 - El máximo hueco debajo del medidor no excederá de 3 mm. Use finos del lugar o arena fina para llenar estos huecos y alise la superficie con una placa rígida u otra herramienta adecuada.
 - El espesor del relleno no excederá de 3 mm aproximadamente.
 - Haga un agujero perpendicular a la superficie preparada usando la guía y el dispositivo para agujerear. La perforación debe ser de tal profundidad y alineación que la inserción de la sonda no obligue al medidor a inclinarse con respecto al plano del área preparada.
- c) Proceda con el ensayo de la siguiente manera:
- Incline el medidor y extienda la sonda en la posición requerida para la profundidad deseada del ensayo.
 - Inserte la sonda en el agujero.
 - Asiente el medidor firmemente haciéndolo rotar sobre la sonda con un movimiento hacia atrás y adelante.
 - Presione suavemente el medidor en la dirección que lleve el lado de la sonda que encara el centro del medidor, de modo que la sonda quede en íntimo contacto con la pared del agujero.
 - Mantenga todas las otras fuentes radiactivas lejos del medidor para evitar que afecten las mediciones.
 - Prepare el equipo de acuerdo a las instrucciones del fabricante.
 - Ejecute y anote una o más lecturas de un minuto.
 - Determine la densidad húmeda in situ usando la curva de calibración establecida previamente.

6.2.9.2.6. PROCEDIMIENTO C, COLCHÓN DE AIRE

13.Equipos

Debe contar con todos los aparatos descritos en 6 y 9. Además deberá disponerse de soportes o espaciadores, para sostener el medidor con el máximo intervalo de aire sobre el material que se está ensayando. Los soportes deben ser diseñados para sostener el medidor a la altura óptima sin tapar la base del medidor. La **Figura A0902_1** muestra un soporte típico para colchón de aire. No es el único elemento que da resultados satisfactorios; existen otros sistemas que sostienen el medidor al óptimo colchón de aire sin tapar la base del medidor que también son satisfactorios.

Nota 7: Las curvas de calibración para colchón de aire y el óptimo colchón de aire pueden ser suministrados para cada medidor por el fabricante y pueden ser fácilmente chequeados por el usuario.

14. Determinación del colchón de aire óptimo

Para determinar el colchón óptimo de aire a usar en este procedimiento, ajústese a lo que sigue:

- a) Use 3 o más áreas diferentes para hacer las determinaciones. Estas áreas pueden ser bloques o contenedores preparados de suelo compactado o árido. La densidad de los materiales en las áreas seleccionadas variará a través de un rango que incluya las densidades de los materiales que se va a ensayar.
- b) Coloque el medidor sobre el área a ensayar, sostenga el medidor con bloques colocados en las esquinas de modo que no obstruyan el espacio entre la base del medidor y la superficie a ensayar.
- c) Lea y anote 2 lecturas de 1 min., en cuentas por minuto y calcule el promedio de las lecturas.
- d) Agregando bloques adicionales, aumente el intervalo de aire en 5 mm. Tome, anote y promedie 2 lecturas adicionales de 1 min.
- e) Continúe aumentando el intervalo de aire en 5 mm cada vez y calculando los promedios para cada intervalo hasta que haya un descenso en las cuentas por minuto con un incremento del colchón de aire.
- f) En una escala aritmética trace las cuentas por minuto versus los intervalos de aire (en mm) y dibuje una curva suave por los puntos resultantes. Anote el máximo colchón de aire determinado en lo alto de la curva.
- g) Repita el procedimiento desde b) hasta f) en dos o más áreas adicionales de materiales de diferentes densidades y anote el máximo colchón de aire para cada área.
- h) Calcule el promedio de los máximos colchones de aire determinados en todas las áreas; ese será el intervalo de aire óptimo. Use este óptimo para establecer la curva de calibración para el procedimiento y para la determinación de densidades por este método.

15. Normalización

- a) Normalice el equipo en un patrón de referencia al inicio de cada día y cuando las medidas de los ensayos sean poco confiables.
- b) Emplee un tiempo de estabilización para el equipo según las instrucciones del fabricante.
- c) Haga por lo menos 4 lecturas repetitivas de por lo menos 1 min. cada una con el medidor en el patrón de referencia, lo que constituye un control de normalización.

Nota 8: La cuenta de referencia determinada en 14 c) no se usa en la determinación de densidades, por el método del colchón de aire. El propósito del chequeo de la cuenta de referencia es chequear si el equipo está en condiciones satisfactorias de operación.

- d) Si el promedio de 4 lecturas repetitivas resulta fuera de los límites que impone la ecuación que se incluye en 7d), repita el control de normalización. Si el segundo control de referencia satisface esa ecuación, considere que el equipo está en condiciones satisfactorias de operación; en caso contrario, chequee

la calibración (4). Si el chequeo de la calibración muestra que no hay cambios significativos en la curva de calibración, debe establecerse un nuevo conteo No de referencia. Si el chequeo de la calibración muestra que hay una diferencia significativa en la curva de calibración, el instrumento debe ser reparado y recalibrado.

16. Procedimiento

- a) Seleccione un lugar de ensayo donde el medidor, en posición de ensayo quede por lo menos a 150 mm de cualquier proyección vertical. Aplane el área suficiente para acomodar el medidor y el soporte.
- b) Prepare el lugar de ensayo de la siguiente manera:
 - Remueva todo el material suelto y perturbado y todo el material adicional necesario para dejar libre la superficie de material a ensayar.
 - Prepare un área horizontal, suficiente en tamaño para acomodar el medidor y el soporte, aplanando el área hasta dejarla lisa, para obtener el máximo contacto entre el medidor y el material que se va a ensayar.
 - El máximo hueco debajo del medidor no excederá de 3 mm aproximadamente. Use finos del lugar o arena fina para llenar estos huecos y alise la superficie con una placa rígida o alguna herramienta adecuada.

Nota 9: El método del colchón de aire requiere tomar una o más lecturas en la posición de retrodispersión y en la del colchón de aire. La colocación del medidor en la superficie del material a ensayar es crítica para la exitosa determinación de la densidad. La condición óptima es el contacto total entre la superficie inferior del cabezal y la superficie del material a ensayar. Esto no es posible en todos los casos y para corregir las irregularidades de la superficie use arena o filler si es necesario. El espesor del filler no debe exceder de 3 mm y el área total rellena no debe exceder del 10% del área inferior del medidor. Varias posiciones de ensayo deben probarse para lograr estas condiciones.

- c) Proceda con el ensayo de la siguiente manera:
 - Asiente el medidor firmemente.
 - Mantenga todas las otras fuentes radiactivas lejos del medidor para evitar que afecten las mediciones y las lecturas.
 - Emplee un tiempo de estabilización para el equipo de acuerdo a las instrucciones del fabricante.
 - Lea y anote una o más lecturas de 1 minuto en la posición de retrodispersión.
 - Coloque el soporte, puesto en el óptimo colchón de aire, en el sitio del ensayo y ponga el medidor en el soporte de modo que el medidor quede en el mismo sitio usado para la lectura de retrodispersión. Cuando se usa una transmisión directa, coloque la sonda en la posición de retrodispersión para esta lectura.
 - Tome el mismo número de lecturas de 1 min. en la posición de colchón de aire así como también en la posición de retrodispersión (15 c) párrafo 4).

- Determine la razón del colchón de aire dividiendo las cuentas por minuto obtenidas en la posición con colchón de aire por las cuentas por minuto obtenidas en la posición de retrodispersión.
- Determine la densidad húmeda in situ usando la curva de calibración aplicable establecida previamente.

Nota 10: La razón del colchón de aire puede ser determinada dividiendo las cuentas por minuto obtenidas en la posición de retrodispersión por las cuentas por minuto obtenidas en la posición de colchón de aire, o viceversa. Cualquiera razón que se use, también debe usarse una Curva de Calibración empleando la misma razón.

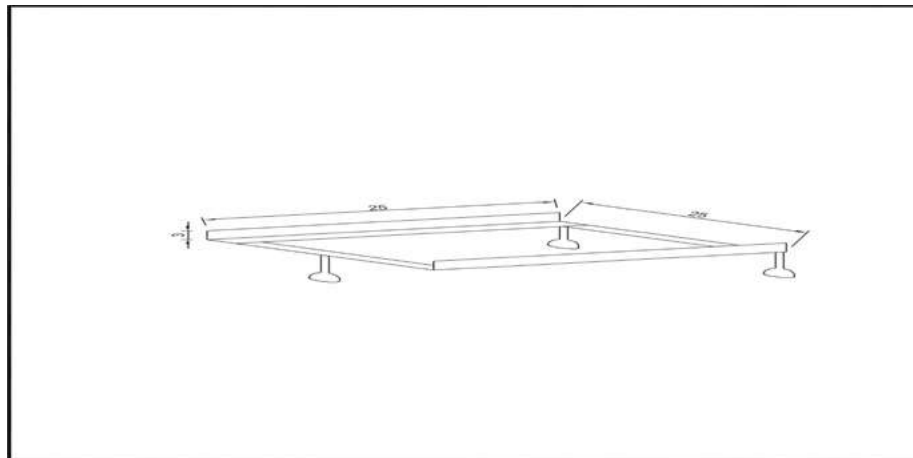


Figura 6.2_105. SOPORTE METÁLICO TÍPICO 25X25X3 MM.

SECCION 6.2.9.3.

MÉTODO NUCLEAR PARA DETERMINAR IN SITU LA HUMEDAD DE SUELOS (MEDICIÓN SUPERFICIAL) (ASTM D 3017)

6.2.9.3.1. OBJETO

Este método define los procedimientos para determinar in situ, el contenido de humedad de suelos y áridos, mediante el empleo de equipo nuclear. Estos equipos están calibrados para determinar el contenido de humedad, como peso por unidad de volumen del material (kilos por metro cúbico).

El término contenido de humedad, como se usa normalmente, se define como la razón, expresada en porcentaje, entre la masa de agua contenida en un suelo y la masa de las partículas sólidas de ese suelo; con este procedimiento se determina dividiendo el contenido de humedad (kilos por metro cúbico) por la densidad seca del suelo (kilos por metro cúbico). Es por ello que el cómputo del contenido de humedad, usando el equipo nuclear, requiere también determinar la densidad seca del material a ensayar.

La mayoría de los equipos nucleares disponibles, son capaces para medir ambos; el contenido de humedad (kilos por metro cúbico) y la densidad húmeda; la diferencia entre estas dos medidas entrega la densidad seca. Debe destacarse que el contenido de humedad que se determina por este método no es necesariamente, el promedio de humedad dentro del volumen de la muestra involucrada en la medida.

El equipo utiliza materiales radiactivos que pueden ser peligrosos para la salud de los operadores, a menos que se tomen las precauciones debidas.

El método determina in situ, el contenido de humedad en suelos y áridos, por medio de la moderación o disminución de velocidad de neutrones rápidos, cuando la fuente de neutrones y el detector térmico de los neutrones permanecen en la superficie.

El método es útil como una técnica rápida y no destructiva para determinar in situ el contenido de humedad de los suelos y áridos. Las hipótesis fundamentales inherentes al método son que el hidrógeno presente está en forma de agua y que el material bajo ensayo es homogéneo.

El método es conveniente para el control y ensayo de aceptación de suelos y áridos para construcción, investigación y desarrollo. Los resultados del ensayo pueden ser afectados por la composición química, heterogeneidad de la muestra y en un menor grado, por la densidad y textura superficial del material ensayado. La técnica también provee un dispositivo corrector para afinar las diferencias de conteos por estas causas.

6.2.9.3.2. EQUIPOS Y MATERIALES

1. FUENTE DE NEUTRONES RÁPIDOS

Está constituida por un material isótopo sellado, como el americio - berilio, el radio - berilio o una fuente electrónica, como un generador de neutrones.

2.DETECTOR DE NEUTRONES LENTOS

Cualquier tipo de detector de neutrones lentos, tal como el trifluoruro de boro, el oscilador de cristal o la cámara de fisión.

3.APARATO LECTOR DE SALIDA

Generalmente el aparato lector de salida contiene la fuente de alto voltaje necesaria para operar el detector y una fuente de bajo voltaje para operar los equipos de salida y accesorios.

4.CAJAS

La fuente, el detector y el aparato lector deben colocarse en cajas de construcción sólida, a prueba de la humedad y del polvo.

Nota 1: La fuente de neutrones, el detector, el lector de salida y la fuente de poder pueden estar guardados separadamente, o pueden estar combinadas e integradas con un sistema medidor de densidad nuclear.

5.REFERENCIA PATRÓN

Sirve para controlar la correcta operación del equipo y conteos de efectos ambientales y para establecer condiciones de reproducibilidad de la razón de conteo.

6.EQUIPO PARA PREPARACIÓN DEL SITIO DE ENSAYO

Una plancha de acero, regla, u otro elemento adecuado para nivelar, puede usarse para emparejar el sitio del ensayo a la condición requerida.

6.2.9.3.3. CONDICIONES GENERALES

A.CALIBRACIÓN

7.CURVAS DE CALIBRACIÓN

Las curvas de calibración se establecen determinando mediante ensayos, la razón de conteos nuclear de cada una de varias muestras con diferentes contenidos de humedad. Trazando la razón de conteos versus el contenido de humedad conocido, se dibuja una curva por los puntos resultantes. El método y procedimiento de ensayo usado para establecer la curva debe ser el mismo que se usa para determinar el contenido de humedad del material por ensayar. El contenido de humedad de los materiales usados para establecer la curva de calibración deben ser de densidad y humedad uniformes y variar dentro de un rango que incluya el contenido de humedad de los materiales que se van a ensayar.

Nota 2: Debido al efecto de la composición química, algunas curvas de calibración suministradas con el equipo pueden no ser aplicables a todos los materiales bajo ensayo. Por otra parte, las curvas de calibración deben ser chequeadas y ajustadas si es necesario, de acuerdo con 8 y 9.

Las curvas de calibración pueden establecerse empleando los siguientes procedimientos:

- a) Prepare moldes con suelo o áridos compactados con contenido de humedad conocido; deben ser suficientemente amplios para que no cambie el conteo observado, si se aumenta en cualquier dimensión (Nota 3). Si el contenido de hidrógeno de un material puede ser calculado de su densidad y fórmula química y asegurando que éstas son exactamente conocidas, se puede obtener un pun-

to de calibración más confiable en comparación con los métodos de secado al horno.

- b) Bloques de calibración permanente o compuestos químicos con cantidades normalizadas de hidrógeno que produzcan respuestas al medidor nuclear equivalente a un contenido de humedad conocido (Nota 3). Un material sin hidrógeno tal como magnesio, se puede usar para el contenido cero de agua.

Nota 3: Dimensiones de aproximadamente 600 mm de largo por 450 mm de ancho y 450 mm de profundidad son suficientemente satisfactorias.

8. CONTROL DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN

Las curvas de calibración para los instrumentos nuevos o reparados, deben controlarse con prioridad en ensayos de materiales que son claramente diferentes a los materiales empleados previamente para obtener la curva de calibración. Estas curvas de calibración pueden comprobarse empleando los procedimientos descritos en 7a).

9. AJUSTE DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN

Cuando los moldes preparados con material de humedad conocida se van a usar para chequear la calibración, dibuje la razón de conteos contra cada contenido de humedad conocido como se describe en 7. Si los puntos no caen de una manera casual sobre o al lado de la curva de calibración establecida previamente, reemplace la curva original de calibración por otra trazada por los puntos de control.

- a) Si el contenido de humedad de cada uno de los ensayos de comparación determinados por cualquiera de los métodos de calibración de arriba, está casualmente sobre la curva de calibración establecida previamente y el promedio de la desviación no excede de $\pm 8 \text{ kg/m}^3$ del contenido de humedad del suelo determinado por el método nuclear, entonces no necesita ajustar la curva de calibración.
- b) Si cada una de las determinaciones del contenido de humedad hecha por cualquiera de los métodos de calibración de arriba, es mayor que la correspondiente por el método nuclear, ajuste cada subsiguiente determinación nuclear añadiéndole el promedio de la diferencia.
- c) Si cada una de las determinaciones del contenido de humedad hecha por cualquiera de los métodos de calibración de arriba, es menor que la correspondiente por el método nuclear, ajuste cada subsiguiente determinación nuclear restándole el promedio de la diferencia.
- d) El promedio de la diferencia obtenida según a) ó b) puede ser usado para trazar la curva de calibración corregida, la que debe ser paralela a la curva de calibración original y trazada por la dirección y cantidad que se indica en b) ó c).

6.2.9.3.4. PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

Los equipos utilizan materiales radiactivos que pueden ser peligrosos para la salud del operador, a menos que se tomen las adecuadas precauciones. Los operadores de este equipo deben estar familiarizados con las normas de seguridad y radioprotección vigentes. Para operar estos equipos es esencial la instrucción previa del operador sobre los procedimientos rutinarios de seguridad, tales como chequeos de fuga de la fuente, utilización y evaluación del dosímetro, uso de contadores, etc.

6.2.9.3.5. PROCEDIMIENTO

10. NORMALIZACIÓN

La normalización del equipo sobre una referencia patrón se requiere al principio de cada uso y debe realizarse como sigue:

- a) Emplee un tiempo de estabilización para el equipo, de acuerdo a las instrucciones del fabricante.
- b) Tome un mínimo de 4 lecturas repetitivas de al menos 1 min. cada una, con medidor en el patrón normal; esto constituye un control de normalización.
- c) Si el promedio de las 4 lecturas resulta fuera de los límites impuestos por la ecuación que se indica a continuación, repita el control de normalización. Si el primero o segundo intento satisface esa ecuación, considere que el equipo está en condiciones satisfactorias de operación y continúe con el procedimiento que se describe en 11. La relación empírica para el chequeo de normalización es la que sigue:

$$N_s = N_0 \pm 1,96 \sqrt{N_0}$$

Donde:

- N_s : Promedio de las lecturas repetitivas (ver 10 b).
- N_0 : Cuenta establecida previamente para el patrón de referencia (promedio de 10 lecturas repetitivas)
- d) Si el segundo intento en e) no satisface la ecuación que allí se incluye, chequee el sistema y repare el instrumento, si es necesario. Es posible usar el instrumento en esta condición si puede establecerse una relación satisfactoria de calibración.
 - e) Establezca un nuevo N_0 , calculando el promedio de 10 lecturas repetidas en el patrón de referencia.
 - f) Chequee la curva de calibración de acuerdo con 8 y si es necesario ajuste la curva de calibración de acuerdo a 9.

11. PREPARACIÓN DEL SITIO DE ENSAYO

Seleccione un lugar para ensayo donde el medidor en posición de ensayo quede por lo menos a 150 mm lejos de cualquiera proyección vertical; prepare el lugar de la siguiente manera:

- a) Retire todo el material suelto y perturbado y remueva material adicional para alcanzar la altura del intervalo vertical que se va a ensayar (Nota 4).
- b) Prepare un área horizontal, de tamaño suficiente para acomodar el medidor, emparejando hasta una condición lisa de modo de obtener el máximo contacto entre la base del medidor y el material que se va a ensayar.
- c) Asegúrese que la depresión máxima de la superficie de apoyo del medidor no excederá de aproximadamente de 3 mm. Use finos del lugar o arena fina para

llenar huecos y saque el exceso con una placa rígida u otra herramienta adecuada.

Nota 4: En la determinación, el corrector de afinamiento, debiera considerarse por la profundidad a la cual el medidor ha sido instalado.

Nota 5: La colocación del medidor en la superficie del material por ensayar es crítica para el éxito de la determinación de la humedad. La condición óptima es el contacto total entre la superficie de apoyo del medidor y la superficie del material por ensayar. Esto no es prácticamente posible en todos los casos y entonces se hace necesario emplear arena y otro material similar.

- d) La profundidad del relleno de arena no debe exceder de 3 mm y el área total rellena no debe exceder del 10% del área del pie del medidor. Varias posiciones de ensayo deben tantearse para lograr estas condiciones.

12. ENSAYO

Proceda de la siguiente manera:

- a) Asiente el medidor firmemente.
- b) Mantenga todas las otras fuentes radiactivas lejos del instrumento de modo que no afecten las lecturas.
- c) Espere el tiempo suficiente para que el equipo se estabilice, igual que en la normalización.
- d) Coloque la fuente en posición de uso y tome una o más lecturas de 1 min.

6.2.9.3.6. CÁLCULOS

Si el equipo no proporciona directamente los resultados procedan como sigue:

- a) Promedie las lecturas obtenidas en 12 d).
- b) Determine el contenido de humedad usando una curva de calibración aplicable.
- c) Calcule el contenido de humedad "w" en porcentaje del peso seco del suelo, como sigue:

$$\omega = (A / P_s) \times 100$$

Donde:

A: Cantidad del agua (g)

P_s: Densidad del suelo seco (g)

6.2.9.3.7. PRECISIÓN

- 12. Determine la precisión del sistema "P" desde la gradiente de la curva de calibración "m" y la desviación normal "s" de las señales (neutrones detectados) en cuentas por minuto, como sigue:

$$P = \frac{s}{m}$$

12. Cuando la gradiente de la curva de calibración es determinada en el punto 160 kg/m³ y la desviación normal es determinada por 10 lecturas repetitivas de 1 min. cada una (el instrumento no se ha movido después de la primera posición) en un material que tenga un contenido de humedad de 160 ±10 kg/m³, el valor de "P" será menor de 4,8 kg/m³.

6.2.9.3.8. INFORME

Incluya en el Informe lo siguiente:

- a) Ubicación.
- b) Elevación de la superficie.
- c) Descripción visual del material.
- d) Identificación del equipo de ensayo (marca, modelo y número de serie).
- e) Razón de conteos para cada lectura, si procede.
- f) Contenido de humedad en kg/m³, si procede.
- g) Densidad húmeda del suelo.
- h) Densidad seca del suelo.
- i) Contenido de humedad en porcentaje del peso seco del suelo.

SECCION 6.2.9.4.

MÉTODO PARA MEDIR DEFLEXIONES MEDIANTE EL DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO (FWD)(ASTM D 4694)

6.2.9.4.1.OBJETO

Este método abarca en general los temas relacionados con las mediciones de deflexión en superficies pavimentadas o sin pavimentar con el Deflectómetro de Impacto. Describe y da recomendaciones generales para la evaluación de la respuesta en deflexiones verticales, que es posible medir en la superficie de la estructura por auscultar, cuando se le aplica en forma controlada una carga de impacto.

Es aplicable para medir deflexiones en superficies con pavimentos flexibles, pavimentos de hormigón, pavimentos compuestos (recapados), capas granulares y suelos de fundación. Provee lineamientos generales para diferentes niveles de evaluación: reconocimiento general de la estructura de un pavimento, reconocimiento rutinario utilizado para los diseños de proyectos de construcción, refuerzo o rehabilitación, análisis específicos de la estructura de un pavimento y controles de tipo receptivo.

Estos ensayos se realizan para obtener información que permita evaluar la capacidad de una estructura de pavimento, determinar la capacidad de soporte del suelo de fundación o subrasante, estimar la capacidad estructural y las propiedades de los materiales de cada capa en forma individual, estimar la transferencia de carga en juntas y grietas de pavimentos de hormigón o pavimentos compuestos (recapados), determinar en forma estadística secciones de pavimento con diferente comportamiento, para el control en diferentes etapas de la construcción de una estructura de pavimento (coronamiento de terraplén, subrasante, subbase, base, capas de rodadura, etc.), para la detección de vacíos bajo las losas de hormigón y para fines receptivos.

El ensayo simula un pulso de fuerza generado por la caída de un peso, y es transmitido a través de un plato que descansa en la superficie de la estructura por auscultar. El equipo de ensayo puede ser montado en un vehículo o en un sistema de remolque tirado por un vehículo.

Se detiene el vehículo, posicionando el plato en el lugar del ensayo junto a los sensores de deflexión, hasta que descansen perpendicularmente sobre la superficie. Luego se levanta la masa hasta una altura predefinida, la que al caer libremente aplique la fuerza de impacto deseada. En el momento del impacto se miden los movimientos verticales o deflexiones del pavimento mediante la instrumentación adecuada.

Esta instrumentación deberá ser capaz de medir las diferencias de desplazamiento, que se generan entre el reposo inicial y la máxima deflexión alcanzada durante el impacto en cada punto de medición. Deben realizarse al menos dos mediciones sin contar la carga de asentamiento con diferentes alturas de caída de la masa, antes de retirar el plato y los sensores.

Nota 1: Debe tenerse presente que para la determinación de presencia de vacíos bajo las losas se deben realizar al menos tres mediciones con distintas alturas.

Las deflexiones máximas en cada lugar de medición, resultantes de la aplicación de la carga de impacto, se deberán registrar en micrómetros (μm).

Un dispositivo medidor de carga determina la fuerza máxima aplicada por la masa en el impacto. El valor leído es en kN.

En todos los controles se debe registrar la temperatura de la estructura. Esta información es indispensable para la posterior normalización de las deflexiones a 20°C y 50 kN.

6.2.9.4.2. DEFINICIONES

A.FWD

Deflectómetro de Impacto, "Falling Weight Deflectometer".

B.ENSAYO DE DEFLEXIÓN

Ensayo no destructivo realizado sobre una estructura que es sometida al impacto de una masa en caída libre, desde diferentes alturas predeterminadas. Las deformaciones elásticas producidas en la estructura se detectan mediante una serie de sensores ubicados a distintas distancias del punto de carga (incluido el punto de carga). El registro del ensayo lo constituye la carga aplicada y las deformaciones detectadas, además de información complementaria como las temperaturas del pavimento y ambiental.

C.ENSAYO DE TRANSFERENCIA DE CARGA

Ensayo que se realiza en juntas o grietas de un pavimento de hormigón, para evaluar la capacidad de éste para transferir carga de un lado al otro de la junta o grieta, como también para evaluar la existencia de huecos bajo las losas.

D.RETROANÁLISIS (BACKCALCULATION)

Consiste en ajustar las deflexiones teóricas que se obtendrían con un modelo de estructura de pavimento, a las deflexiones medidas. Esto permite determinar los módulos elásticos de las capas que componen el pavimento y el del suelo de fundación.

E.CUENCO DE DEFLEXIONES

Conjunto de deflexiones que reflejan la deformación de la superficie auscultada, registrada por todos los sensores del FWD en el momento del ensayo.

6.2.9.4.3. EQUIPOS Y MATERIALES

El equipo de medición debe ajustarse a los siguientes requerimientos:

A.SISTEMA GENERADOR DE FUERZA (CARGA DE IMPACTO), CON UN SISTEMA GUÍA.

El sistema generador de carga de impacto debe ser capaz de ser levantado a diferentes alturas predeterminadas y luego liberado.

B.SISTEMA GUÍA

Diseñado para operar con mínima fricción o resistencia a la caída de la masa, para asegurar la caída perpendicular de ésta.

C.PLATO DE CARGA

Debe ser capaz de distribuir uniformemente la carga en la superficie de la estructura por auscultar. Los platos serán de forma circular de 300 o 450 mm de diámetro, rotulados en

la unión con el sistema de guía y pueden o no ser segmentados. El plato debe permitir la medición de deflexión en el centro de éste.

D.SENSORES DE DEFLEXIÓN

Deben ser capaces de medir el desplazamiento vertical máximo del pavimento. El número mínimo de sensores será de cinco y el espaciamiento de éstos será variable dependiendo del propósito del ensayo y de las características de las capas del pavimento. Los sensores pueden ser de diferentes tipos, tales como transductores de desplazamiento, transductores de velocidad o acelerómetros.

E.ALMACENAMIENTO DE DATOS

En un sistema digital deberán registrarse las cargas, las deflexiones, la temperatura ambiente, la temperatura de la superficie por auscultar, la medición de distancia (referencia planimétrica) y los datos de identificación para cada punto de ensayo.

F.DISPOSITIVO MEDIDOR DE CARGA

Este debe ubicarse de manera que no interfiera la lectura de las mediciones de deflexión bajo el centro del plato de carga. El dispositivo debe ser compensado por temperatura, además de resistente al agua y a impactos durante el ensayo y/o traslado del equipo.

6.2.9.4.4. CONDICIONES GENERALES

A.CALIBRACIÓN

A.1.Calibración de deflexiones

Es necesario calibrar de acuerdo a las especificaciones indicadas por el fabricante del equipo.

A.2.Procedimiento para verificación

Se deberá medir un lugar de control de deflexiones antes y después de realizar una campaña de mediciones. El propósito será controlar los valores que está midiendo el equipo sobre una estructura de pavimento de características conocidas, obteniendo un registro de las deflexiones medidas las cuales deben ser de un orden de magnitud similar si las condiciones de la estructura de pavimento no han cambiado.

B.SEGURIDAD

Aun cuando es un aspecto de primera importancia que se debe tener presente en la programación de una serie de ensayos con el deflectómetro de impacto, en este Método no se describen los temas relacionados con seguridad asociados con su uso. Será de responsabilidad del encargado de operar los equipos poner en práctica las medidas de seguridad estipuladas y establecer las condiciones de operación apropiadas para determinar limitaciones reguladoras antes del inicio del ensayo. Tanto el vehículo de ensayo, así como todos los equipos e instrumental que lo complementan, deben cumplir la legislación vigente.

6.2.9.4.5. MAGNITUD DE LA CARGA POR APLICAR

La magnitud de la carga por aplicar es función del tipo de ensayo, pero normalmente en cada uno se suelen aplicar tres niveles de carga dinámica, los que están asociados a las características del pavimento. El encargado de proyecto será quien determine los niveles de carga a utilizar. Si no se indica de otra forma, se utilizará 50 KN.

6.2.9.4.6. LUGARES DE ENSAYO

Los lugares y el número de ensayos dependen del nivel de muestreo seleccionado. Se sugieren los siguientes tres niveles de muestreo:

A.NIVEL 1

Este nivel provee una impresión general de la condición del pavimento con una cantidad de ensayos limitada. Los ensayos deben realizarse a intervalos entre 200 m y 500 m, dependiendo de las condiciones que presente el pavimento; por cada sección uniforme se recomienda un mínimo de 5 a 10 ensayos para asegurar una muestra estadísticamente significativa. Para concretos asfálticos y hormigones continuamente reforzados, como mínimo, la carga debe ubicarse a lo largo de la huella externa de la pista por evaluar, o alternativamente a lo largo del eje de las losas continuamente reforzadas. Para hormigones simples con juntas, la carga debe ubicarse en el centro de la losa. Al menos el 5 % de las losas en evaluación deben ser ensayadas en sus juntas, para medir su eficiencia en la transferencia de carga.

B.NIVEL 2

Este nivel provee un análisis más detallado del pavimento, por ejemplo, para el uso de la información en un diseño de rehabilitación. Los ensayos deben realizarse a intervalos entre 25 m y 200 m, dependiendo de las condiciones que presente el pavimento; para cada sección uniforme se recomienda un mínimo de 10 a 20 ensayos. Para concretos asfálticos y hormigones continuamente reforzados, como mínimo, la carga debe ubicarse a lo largo de la huella externa de la pista por evaluar o, alternativamente, a lo largo del eje de las losas continuamente reforzadas. Para hormigones simples con juntas, la carga debe ser ubicada en el centro de la losa y luego movida a la junta más cercana, generalmente al lado de salida.

En caminos, calles y autopistas, el ensayo de las juntas se debe llevar a cabo en la huella externa de la pista por evaluar. Generalmente no todas las juntas asociadas a las losas interiores son ensayadas, sin embargo, se recomienda un mínimo de 25 % de cobertura de ensayos. En pavimentos de hormigón en aeropuertos, las mediciones de eficiencia de transferencia de carga en las juntas son realizadas tanto en las juntas transversales como en las longitudinales.

C.NIVEL 3

Este nivel provee un grado detallado de análisis del pavimento, como el que se requiere en estudios específicos de detección de zonas con alta deflexión o detección de huecos bajo los pavimentos de hormigón. Para concretos asfálticos y hormigones continuamente reforzados, los ensayos deben ser realizados a intervalos entre 3 m y 25 m, a lo largo de una o más líneas de ensayo. En caminos, calles y autopistas, los ensayos se realizan en ambas huellas de cada pista. Para hormigones simples con juntas, la carga debe ubicarse en el centro de la losa y luego moverse a la junta o grieta más cercana, ya sea a lo largo de la huella externa o en la esquina de la losa o a ambas. En pavimentos de hormigón en aeropuertos, las mediciones de eficiencia de transferencia de carga en las juntas se deben ejecutar tanto en las juntas transversales como en las longitudinales.

6.2.9.4.7. RENDIMIENTO

En condiciones normales el equipo FWD puede recoger aproximadamente 150 puntos de ensayo por día, aun cuando ello depende de los traslados que se deban realizar y de las limitaciones que presente el tránsito y sin considerar eventuales fallas del equipo.

6.2.9.4.8. PROCEDIMIENTO

Siga el siguiente procedimiento para realizar una campaña de ensayos completa con FWD.

- a) Determine las variaciones de los tipos de pavimento dentro de los límites del proyecto.
- b) Desarrolle una planificación de ensayos separada para cada tipo de pavimento.
- c) Determine los atributos del proyecto, ya que estos influyen la planificación de los ensayos. Es muy útil preparar un esquema del proyecto que identifique al menos todos los cambios de pavimento, las intersecciones a nivel o desnivel, las pistas de viraje, los puentes, áreas de servicio, tipos de banquetas, etc.
- d) Determine el tamaño de cada atributo del proyecto, lo que le permitirá estimar las demandas de ensayos FWD requeridas para el proyecto, basadas en el supuesto que se pueden realizar aproximadamente 150 ensayos por día.
- e) Determine la geometría del proyecto, pues ella influenciará la ubicación de los puntos por ensayar, ya que se deben tener en cuenta los aspectos relacionados con el flujo y seguridad del tránsito durante los ensayos.
- f) Determine las secciones de ensayo. Utilice la información recopilada en las etapas precedentes para seleccionar las secciones por evaluar con FWD. Los largos de las secciones y la geometría del proyecto determinarán la configuración de los puntos de ensayo.
- g) Determine el tipo de ensayo FWD por realizar en cada sección. Existen tres tipos de ensayo FWD, el ensayo base, el ensayo de junta y el de esquina (los dos últimos sólo en pavimentos de hormigón). El ensayo base se utiliza para evaluar la capacidad estructural de un pavimento, siendo también utilizado en materiales de base y subrasante. El de junta se usa para evaluar la capacidad de transferencia de carga en juntas y grietas, como también evaluar la presencia de huecos bajo pavimentos de hormigón. El de esquina tiene por objetivo evaluar la condición de las esquinas de una losa, y la presencia de huecos bajo ésta, esta zona es la que está sometida a la mayor sollicitación de tensiones. La **Tabla 6.2_104** indica las características que deben tener los ensayos según tipo de pavimento y objetivos del estudio:

Figura 6.2_106. CARACTERÍSTICAS DE LOS ENSAYOS SEGÚN TIPO DE PAVIMENTO Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Pavimento	Ensayo	Plato Carga	Ubicación de los puntos de ensayo
Flexible	Base	300mm	Huella derecha o paño
Rigido	Base	300mm	Centro de losa
	Junta	300mm	Huella derecha
	Esquina	300mm	Esquina / En juntas
compuesto	Base	300mm	Centro de losa
	Junta	300mm	Huella derecha
Subrasante/Base Angular	Base	300/450 mm	Huella derecha

- h) Defina un número que caracterice el ensayo de manera de disponer de información relativa al tipo de ensayo, tipo de pavimento y espaciamiento de sensores utilizado. Anote las características de la estructura de pavimento que está siendo evaluada (espesores, tipos de capas que lo constituyen, características del suelo de fundación, etc.).
- i) Determine el espaciamiento de ensayo con FWD para cada sección del proyecto, utilizando como recomendación lo indicado en “Magnitud de la Carga por Aplicar”.
- j) Configure el sistema de recolección de datos del FWD para satisfacer los requerimientos establecidos por el proyecto.
- k) Realice las mediciones en terreno, registrando la temperatura ambiente y de la superficie del pavimento en forma regular.

6.2.9.4.9. INFORMACIÓN Y RESULTADOS

El parámetro que se utiliza de forma determinante y que ofrece mayor significado en los procesos de rehabilitación y de cálculo de refuerzo de estructuras de pavimentos, es la deflexión bajo una carga. La deflexión es el valor del desplazamiento en la superficie del pavimento al aplicarle una carga.

- a) El valor de la deflexión depende de una serie de factores, entre los que se destacan: la rigidez y espesor del pavimento, su temperatura, además del soporte del suelo de fundación.
- b) Los resultados de la auscultación con deflectómetro de impacto se deben organizar en archivos magnéticos que contengan información sobre los siguientes aspectos:
 - a) Fecha (día, hora, minuto) del ensayo.
 - b) Valor de la deflexión bajo la carga y de los demás sensores.
 - c) Temperatura del aire y del pavimento.
 - d) El kilometraje.
- c) Los resultados de las auscultaciones con deflectómetro de impacto requieren dos tipos de análisis: en primer lugar un tratamiento estadístico, que permita identificar y agrupar tramos con igual comportamiento estructural, y un segundo tipo de análisis que se realiza para cada tramo homogéneo, y que tiene el objetivo de evaluar los módulos elásticos de las capas de pavimento y su fundación. El procedimiento de mayor difusión internacional para el análisis de las deflexiones se conoce con el nombre de “Retroanálisis”.

sis” o “Backcalculation”, que consiste en ajustar las deflexiones medidas a las deflexiones teóricas que se obtendrían con un modelo de estructura de pavimento (definido por espesores conocidos y módulos por determinar). Para ello se necesita trabajar con todo el cuenco de deflexiones. El proceso es complejo y requiere experiencia, ya que puede haber diversos ajustes, siendo necesario un conocimiento acabado de los modelos de comportamiento de estructuras de pavimentos.

SECCION 6.2.9.5.

MÉTODO PARA CALCULAR LAS PROPIEDADES ELÁSTICAS DE LOS PAVIMENTOS A PARTIR DE LA DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO (FWD)

6.2.9.5.1. OBJETO

Se describe un procedimiento que permite calcular las propiedades elásticas de las distintas capas de la estructura de un pavimento a partir de deformaciones medidas con un deflectómetro de impacto. Corresponde a un modelo matemático en el que, dada una deformación del pavimento ante una carga conocida, calcula el conjunto de propiedades elásticas de las capas que reproducen esta deformación (retroanálisis).

6.2.9.5.2. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

A.PAVIMENTOS FLEXIBLES

Para pavimentos flexibles, el procedimiento que se describe permite utilizar los resultados en el método de diseño de pavimentos AASHTO; por ello en el retro-análisis de las deflexiones se utiliza un modelo simplificado de dos capas; una superior (capas aglomeradas y granulares) para la cual calcula el módulo elástico y el Número Estructural Efectivo y una inferior (suelo de fundación) para la cual calcula el Módulo Resiliente.

B.PAVIMENTOS RÍGIDOS

Para pavimentos rígidos, las deflexiones medidas en el centro de la losa permiten, mediante métodos elásticos de retro-análisis, evaluar las características elásticas del pavimento y del suelo de fundación. Para ello, modela al pavimento de hormigón como un sistema de dos capas; una superior, que con el espesor de la losa calcula el módulo elástico y otra inferior, que corresponde al suelo de fundación, para el que calcula el módulo de reacción.

Por otra parte, las deflexiones medidas en juntas y grietas, permiten analizar la estabilidad de las losas y la transferencia de carga en esos lugares; ello permite determinar la posible reflexión de grietas, cuando la solución propuesta es un refuerzo.

Por su parte, las deflexiones medidas en las esquinas de las losas, permiten establecer su estabilidad, mediante el análisis de las deflexiones a distintos niveles de carga; esto determina la existencia de huecos bajo las losas, originados en la surgencia (bombeo) de finos.

6.2.9.5.3. ANÁLISIS DE LAS DEFLEXIONES

A.MÉTODO AASHTO

A.1.Pavimentos Flexibles

A.1.1.Módulo Resiliente.

El Módulo Resiliente se determina por retro-análisis de acuerdo a la expresión:

$$M_{RR} = \frac{2,4 \times P}{d_r \times r}$$

Y debe cumplirse que:

$$r \geq 0,7 a_e$$

Donde:

$$a_e = \sqrt{a^2 + \left(D \times \sqrt[3]{\frac{E_p}{M_{RR}}} \right)^2}$$

Donde:

$$d_o = 1,5 p a \left[\frac{1}{M_{RR} \sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \sqrt[3]{\frac{E_p}{M_{RR}}} \right)^2}} + \frac{\left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \right)^2}} \right]}{E_p} \right]$$

Donde:

M_{RR} : Módulo resiliente obtenido por retroanálisis (Mpa).

P: Carga aplicada (KN).

d_r : deflexión a la distancia r del centro de la carga (cm).

r: Distancia desde el centro del palto de carga al transductor (cm).

a_e : Radio del bulbo de tensiones en la interfaz subrasante (cm).

a: Radio de la placa de carga (cm).

D: Espesor total de las capas de pavimento sobre la subrasante (cm).

E_p : Módulo efectivo de todas las capas de pavimento sobre la subrasante.

MPa. d_o : Deflexión medida en el centro de la placa de carga (cm).

p: Presión de la placa de carga (Mpa)

A.1.2. Número Estructural Efectivo.

Con los datos anteriores, se determina el número estructural efectivo del pavimento mediante la relación:

$$NE_e = 0,02364 \times D \times \sqrt[3]{E_p}$$

Donde:

D: Espesor total de todas las capas sobre la subrasante (cm).

E_p : Módulo efectivo del pavimento (MPa).

A.2. Pavimentos Rígidos

A.2.1. Módulo de Reacción.

Para calcular el módulo de reacción de la subrasante por retro-análisis, k_r , se emplean las siguientes fórmulas:

$$k_r = \frac{P}{0,815776 \cdot d_o \cdot I_k^2} \left[1 + \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{a}{2l_k} \right) + \gamma - 1,25 \right] \left(\frac{a}{l_k} \right)^2 \right] \quad (MPa)$$

Donde:

P: Carga aplicada (Kgf)

D_0 : Deflexión máxima (cm)

l_k : Radio de rigidez relativa (cm)

a: radio del área cargada (cm)

γ : constante de Euler ($\gamma=0,57721566490$)

Donde:

$$l_k = \left[\ln \frac{\left(\frac{36 - \text{AREA}}{1812,279133} \right)}{-2,559340} \right]^{-4,387009}$$

Donde:

$$\text{AREA} = 6 \left(1 + 2 \left(\frac{d_{30}}{d_0} \right) + 2 \left(\frac{d_{60}}{d_0} \right) + 2 \left(\frac{d_{90}}{d_0} \right) \right)$$

Donde:

d_0 : Deflexión máxima en el centro de la placa de carga (cm).

d_i : Deflexiones a 30, 60 y 90 cm.

A.2.2. Módulo Resiliente.

De acuerdo a lo establecido por AASHTO es posible estimar el módulo resiliente mediante la expresión:

$$M_{RR} = \frac{2,4 \times P}{d_r \cdot r}$$

Siempre y cuando la deflexión utilizada sea la correspondiente a un sensor ubicado a una distancia mayor o igual a 120 cm, para deflexiones en el centro de losas sanas.

A.2.3. Transferencias de Carga.

Cuando se realiza una deflexión ubicando el plato de carga en la losa de salida respecto de una junta, es posible evaluar la transferencia de carga en esta junta mediante la expresión:

$$TC\% = 100 \times \frac{D_{30}}{D_0} \times \left(\frac{D_0^*}{D_{30}^*} \right)$$

Donde:

D_0 : Es la deflexión en el plato de carga ubicado en la losa de salida

D_{30} : Es la deflexión en el sensor a 30 cm del plato de carga sobre la losa de entrada.

D_0^* y D_{30}^* : Son las deflexiones en el punto de carga a 30 cm para una deflexión en el centro de la losa. Este cociente conservadoramente puede considerarse 1

A.2.4. Vacíos bajo las losas

- Método de proyección a carga cero. Se realizan deflexiones en la esquina exterior de la losa de salida de una junta, a tres niveles de carga distintos. Cada nivel de carga producirá una deflexión máxima diferente y asociada al nivel de carga. Considerando estos resultados se calcula la deflexión proyectada a carga cero KN. La existencia de deflexiones proyectadas con magnitudes mayores a cero indica la existencia de vacíos bajo la losa.
- Método de deflexión diferencial. Se realizan deflexiones en las esquinas exteriores de las losas de entrada y salida a un nivel de carga superior a 40 KN. Se compara las deflexiones máximas a ambos lados de la junta. Se informa la diferencia en micrones de ambas deflexiones.

Se grafica con respecto al kilometraje las deflexiones de entrada y simultáneamente con las deflexiones de salida, la existencia de una diferencia sistemática entre ambas curvas indica la existencia de vacíos bajo las losas.

A.3. Métodos computacionales

Para determinar los módulos de las diferentes capas, analizar el comportamiento del pavimento y otros análisis mecanicistas, se pueden también utilizar programas que utilizan la teoría elástica de capas o de placas u otro modelo; entre ellos, MODULUS KENLAYER, KENSLAB, BISDEF, WESDEF, EVERCALC.

6.2.9.5.4. ANÁLISIS DE DEFLEXIONES EN RECAPADOS

A.ASFALTO SOBRE ASFALTO

Para evaluar estructuralmente un recapado asfáltico construido sobre un pavimento existente estructurado en base a capas asfálticas y determinar el cumplimiento del número estructural requerido según el proyecto de ingeniería, se recomienda considerar la siguiente metodología, que utilizando un método no destructivo pretende en forma más exhaustiva efectuar un control de calidad del recapado considerado en el proyecto. Para ello se utilizará la Deflectometría de impacto que, mediante el método de retro-análisis definido en la guía AASHTO, permite determinar el número estructural efectivo del pavimento. En términos generales la metodología propuesta es la siguiente:

- a) Determinación de tramos homogéneos en términos estructurales. La evaluación del número estructural del recapado se efectuará por sectores homogéneos y por pista, entendiéndose por tramo homogéneo el que presenta en términos nominales una estructura similar, de esta forma se establece un tramo que en términos de respuesta estructural debiera presentar características similares. Los tramos que siendo homogéneos en estructura se encuentren ubicados en distintos sectores dentro de una misma pista podrán ser agrupados en uno solo.
- b) La deflectometría de impacto se deberá realizar con una densidad mínima de 20 deflexiones por kilómetro por pista, con un mínimo de 5 deflexiones para tramos con longitud menos a 500 m.
- c) Procesar la deflectometría mediante retro-análisis AASHTO, utilizando los espesores nominales de las estructuras. Es decir, los espesores considerados en el proyecto tanto para las capas asfálticas y granulares existentes, como los espesores de diseño del recapado. Con esto, para cada flexión, se obtiene el número estructural efectivo total (NE_{et}). Para cada tramo homogéneo el proyecto contempla un número estructural existente (NE_{ex}), que provenía de una Deflectometría anterior. Con esto, se obtiene para cada deflexión el número estructural efectivo del recapado como:

$$NE_{er} = NE_{et} - NE_{ex}$$

- d) En cada tramo homogéneo se procede a determinar sectores homogéneos, realizando un análisis de diferencias acumuladas (AASHTO 93) y un análisis estadístico (prueba de hipótesis de igualdad de las medias) para subtramificar a partir de **NE_{er}**. Este análisis puede realizarse agrupando los tramos homogéneos que presenten la misma estructura, y pueden analizarse como un solo conjunto de valores. Cada sector homogéneo resultante de la aplicación de esta metodología indica un mismo aporte estructural, y por lo tanto, el número estructural efectivo del recapado representativo del sector homogéneo será el valor medio.
- e) Determinación del número de testigos a extraer por cada sector homogéneo para efectuar el retro-análisis final de la Deflectometría. Hasta el momento el valor representativo del número estructural efectivo de recapado se ha logrado en términos nominales ya que los espesores utilizados en el retro-análisis AASHTO han sido los espesores teóricos o nominales del proyecto, por lo tanto, deben ser ajustados a los espesores reales de terreno. Si eventualmente se tienen dos o más sectores homogéneos consecutivos de una longitud inferior a 1 km y que en términos nominales su número estructural efectivo de recapado sea mayor al requerido, estos podrán ser unidos en uno solo de manera de no sobredimensionar la cantidad de testigos a extraer. Todos los sectores homogéneos que nominalmente no cumplan lo requerido se considerarán individualmente para

la determinación del número de testigos a extraer. En cada sector homogéneo resultante se extrajeron testigos para verificar los espesores reales a razón de:

- Para sectores homogéneos de longitud menor o igual a 500 m, se extraerá 1 testigo.
- Para sectores con longitud entre 500 m y 5.000 m, se extraerán 3 testigos.
- Para sectores homogéneos de longitud mayor a 5.000 m, se extraerán 5 testigos.

Además, en cada sector homogéneo en que el valor medio nominal sea menor al requerido se analizarán los resultados del retro-análisis punto a punto, para determinar valores extremos inferiores, que requieran algún análisis particular. Para ello, se compara el número estructural efectivo del recapado (NE_{er}) en cada punto con el número estructural de recapado requerido (NE_{rr}), considerando un límite de variación constructivo definido como el NE mín., en que:

$$NE_{\min} = NE_{rr} \times 0,75$$

Los valores que sean inferiores a este límite se considerarán anómalos y se requerirá un testigo especial para tal caso, de manera de acotar puntualmente la estructura.

- f) Con el promedio de los espesores reales en cada sector homogéneo se reprocesa la deflectometría de impacto para ajustar los valores de número efectivo de recapado obtenido. Una vez ajustados los números estructurales efectivos de recapado, se compara el valor medio de cada sector homogéneo con el número estructural efectivo de recapado requerido por el proyecto.

Nota1: Esta metodología teórica presentada puede sufrir eventuales variaciones en cuanto las experiencias y el desarrollo tecnológico ameriten nuevas consideraciones u otras variaciones.

B. ASFALTO SOBRE HORMIGÓN

Este caso AASHTO lo considera similar a un pavimento de hormigón con la salvedad que corrige la deflexión máxima (en el punto de carga) por efecto de la compresión de la mezcla asfáltica que constituye el recapado, sin embargo, como el objetivo es evaluar el número estructural de los recapados, para ello, se presenta la siguiente metodología:

- Efectuar deflectometría de impacto mediante Falling Weight Deflectometer (FWD), determinando en cada punto el cuenco de deflexiones necesario para el análisis en pavimentos de hormigón.
- Efectuar análisis estructural, utilizando como datos de entrada adicional a las deflexiones, espesores de testigos del recapado asfálticos y antecedentes del hormigón antiguo, determinando los principales parámetros según modelo de pavimento rígido (Deflexiones, E_{pcc}, K, etc.).
- Estimar el Número Estructural Total después del recapado según modelo, para los datos de cada punto.

$$NE_t = \frac{FC}{D_0^{0,40647786} \times K^{-0,19848453}}$$

Donde:

N_{ET} : Numero estructural total según modelo flexible (mm).

D_0 : Deflexion bajo el centro de la carga.

K: Módulo de reacción de la subrasante (MPa/m)

FC: Factor de corrección (Normalmente FC= 2747,5)

- Ajustar el modelo para los puntos donde se extrajeron testigos (espesores totales).
- Determinar Número Estructural del Recapado por la diferencia entre el Número Estructural
- Total estimado a partir de Deflectometría de Impacto y el Número Estructural Existente a partir de espesores de pavimento.

$$NE_{rec} = NE_T - NE_{EX}$$

Considerar el a_i de hormigón de acuerdo a:

$$a_i = 0,272 \log(Ec / 3000) + 0,158$$

Donde:

a_i : $\leq 0,43$

Ec: Módulo del hormigón retroanalizado (Mpa).

$$NE_{EX} \sum a_i \times h_i \times m_i$$

Para este efecto, se evalúa el coeficiente estructural del hormigón existente mediante el Módulo elástico del hormigón obtenido mediante la deflectometría de impacto, el espesor de hormigón y una capa de subbase de acuerdo a los antecedentes.

SECCION 6.2.9.6.

MÉTODO PARA DETERMINAR SI DOS MUESTRAS DE DEFLEXIÓN CORRESPONDEN A LA MISMA POBLACIÓN

6.2.9.6.1. OBJETO

Para la evaluación estructural de un pavimento resulta necesario determinar tramos que presenten comportamientos homogéneos, de manera de evaluarlos mediante los estadígrafos que los representan (promedio, percentil 80%, etc.).

Por otra parte, cada parámetro de la deflectometría puede ser utilizado como indicador del pavimento y con él realizar un análisis de la homogeneidad de la estructura. Para realizar este análisis de homogeneidad, se requiere de herramientas estadísticas para separar o unir tramos homogéneos.

Inicialmente, siempre se va a requerir de una herramienta que permita sectorizar un muestreo de deflectometría en tramos homogéneos y luego, al tener una determinada cantidad de tramos homogéneos, se requerirá de otra herramienta estadística que permita unir algunos sub-tramos que estadísticamente sean similares.

6.2.9.6.2. DEFINICIONES

A.FWD

Deflectómetro de Impacto, "Falling Weight Deflectometer".

B.HIPÓTESIS ESTADÍSTICA

Con el objeto de tomar decisiones es útil hacer supuestos o suposiciones acerca de la población involucrada. Tales supuestos, que pueden o no ser verdaderos, se denominan Hipótesis Estadísticas.

C.HIPÓTESIS NULA

Las Hipótesis Estadísticas que se formulan con el único propósito de rechazarlas se denominan Hipótesis Nulas y se denotan como H_0 . Una hipótesis que difiere de otra dada se denomina Hipótesis Alternativa, la hipótesis alternativa a la nula se denota como H_1 .

6.2.9.6.3. MÉTODOS ESTADÍSTICOS

A.MÉTODO DE SECTORIZACIÓN POR DIFERENCIAS ACUMULADAS

Este procedimiento analítico se basa en el hecho matemático de que cuando la variable Z_x (definida para un parámetro dado, como la diferencia entre el área bajo la curva a una distancia x y el área cubierta por el promedio general del parámetro a esta misma distancia) se grafica como una función de la distancia a lo largo del proyecto, es posible definir bordes de sub-tramos homogéneos en los lugares donde la pendiente de esta curva cambia de signo.

En el gráfico siguiente, se muestra un ejemplo de la variable Z_x (diferencia acumulada), como función de la distancia.

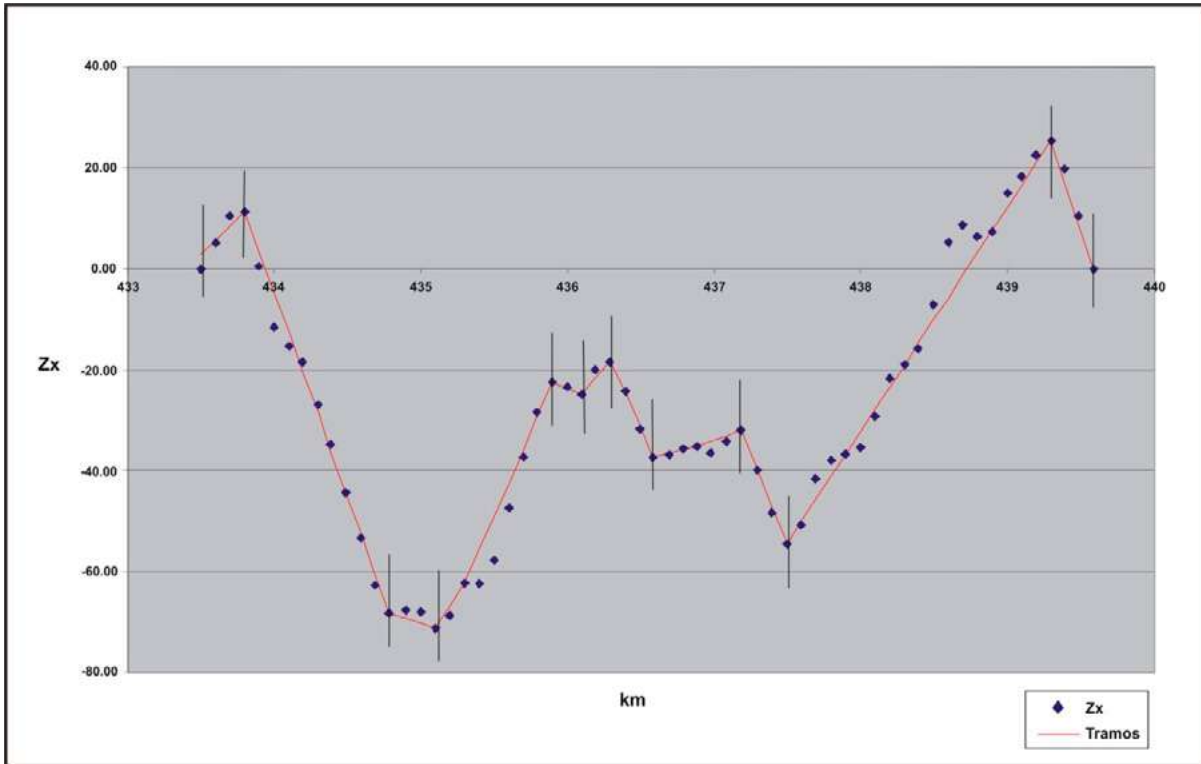


Figura 6.2_107. EJEMPLO: GRÁFICA DE ZX (DIFERENCIAS ACUMULADAS) COMO FUNCIÓN DE LA DISTANCIA

La **Tabla 6.2_85** indica el procedimiento de cálculo para las diferencias acumuladas.

Tabla 6.2_85. SOLUCIÓN TABULAR PARA EL MÉTODO DE DIFERENCIA ACUMULADA

Distancia	valor parámetro (P _i)	Numero de intervalo (n)	Intervalo de Distancia (DX _i)	Distancia Acumulada (ΣDX _i)	Promedio de Parámetro en el intervalo (π _i)	Area del intervalo (A _i)	Area acumulada (ΣA _i)	Zx= (ΣA _i)-F*(ΣDX _i)
10	P ₁	1	DX ₁	DX ₁	π ₁ =P ₁	A ₁ =π ₁ DX ₁	A ₁	A ₁ -F*DX ₁
20	P ₂	2	DX ₂	DX ₁ +DX ₂	π ₂ =(P ₁ +P ₂)/2	A ₂ =π ₂ DX ₂	A ₁ +A ₂	(A ₁ +A ₂)-F*(DX ₁ +DX ₂)
30	P ₃	3	DX ₃	DX ₁ +DX ₂ +DX ₃	π ₃ =(P ₂ +P ₃)/2	A ₃ =π ₃ DX ₃	A ₁ +A ₂ +A ₃	(A ₁ +A ₂ +A ₃)-F*(DX ₁ +DX ₂ +DX ₃)
.....								
Lp	P _n	N _t	DX _{nt}	DX ₁ +.....+DX _n	π _{nt} =(P _{n-1} +P _n)/2	A _{nt} =π _{nt} DX _{nt}	A ₁ +.....+A _{nt}	(A ₁ +.....+A _{nt})-F*(DX ₁ +.....+DX _n)
A _t =A ₁ +.....+A _{nt}								
F=A _t / Lp								

Una vez realizada la tramificación por diferencia acumulada se cuenta con una serie de sub-tramos que pueden ser agrupados convenientemente. Esta agrupación debe obedecer a un criterio específico que puede ser estadístico, constructivo, de diseño o económico.

B.EJEMPLO DE CÁLCULO

Se dispone de una muestra de deflexión de un camino. Realizando el ciclo definido en la **Tabla 6.2_85**, se obtiene la siguiente tabla.

Tabla 6.2_86. APLICACIÓN MÉTODO DE SECTORIZACIÓN POR DIFERENCIAS ACUMULADAS

Km	P _i	D _{xi}	Π _i	A _i	Σ A _i	Z _x
4,000	230	0,000	230,0	0,000	0,000	0,00
4,800	236	0,800	233,0	186,400	186,400	-10,90
5,000	204	0,200	220,0	44,000	230,400	-16,23
6,001	199	1,001	201,5	201,701	432,101	-61,40
7,000	438	0,999	318,5	318,182	750,283	10,40
8,000	228	1,000	333,0	333,000	1.083,283	96,77
9,000	258	1,000	243,0	243,000	1.326,283	93,14
10,010	170	1,010	214,0	216,140	1.542,423	60,18
11,000	234	0,990	202,0	199,980	1.742,403	16,00
12,021	136	1,021	185,0	188,885	1.931,288	-46,92
13,003	432	0,982	284,0	278,888	2.210,176	-10,23
15,000	164	1,997	298,0	595,106	2.805,282	92,36
15,996	355	0,996	259,5	258,462	3.063,744	105,18
17,000	259	1,004	307,0	308,228	3.371,972	165,79
18,000	226	1,000	242,5	242,500	3.614,472	161,66
19,000	338	1,000	282,0	282,000	3.896,472	197,04
20,000	129	1,000	233,5	233,500	4.129,972	183,91
21,000	329	1,000	229,0	229,000	4.358,972	166,28
22,000	81	1,000	205,0	205,000	4.563,972	124,65
23,000	150	1,000	115,5	115,500	4.679,472	-6,48
24,000	159	1,000	154,5	154,500	4.833,972	-98,61
25,000	173	1,000	166,0	166,000	4.999,972	-179,24
26,000	127	1,000	150,0	150,000	5.149,972	-275,87
27,000	113	1,000	120,0	120,000	5.269,972	-402,50
28,000	227	1,000	170,0	170,000	5.439,972	-479,13
29,000	313	1,000	270,0	270,000	5.709,972	-455,76
30,001	320	1,001	316,5	316,816	6.026,789	-385,81
31,000	191	0,999	255,5	255,245	6.282,033	-376,95
32,000	177	1,000	184,0	184,000	6.466,033	-439,58
33,000	98	1,000	137,5	137,500	6.603,533	-548,71
34,998	337	1,998	217,5	434,565	7.038,098	-606,91
36,000	100	1,002	218,5	218,937	7.257,035	-635,10
37,000	429	1,000	264,5	264,500	7.521,535	-617,23
39,000	296	2,000	362,5	725,000	8.246,535	-385,48
40,000	486	1,000	391,0	391,000	8.637,535	-241,11
42,000	252	2,000	369,0	738,000	9.375,535	3,63
43,000	234	1,000	243,0	243,000	9.618,535	0,00

Para determinar los tramos homogéneos se puede construir el gráfico kilometraje vs. Z_x o bien calcular el cambio de signo de la pendiente mediante métodos numéricos. Esto se muestra en el siguiente gráfico:

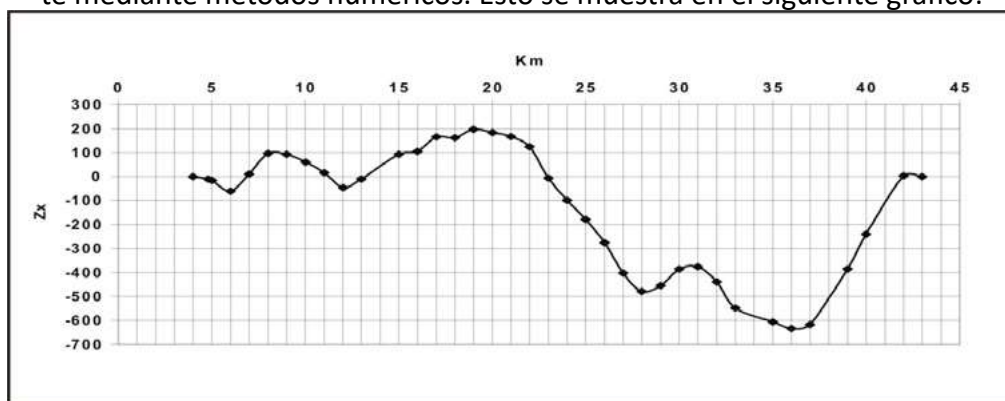


Figura 6.2_108. GRÁFICO KILOMETRAJE VS. Z_X

Del gráfico es posible obtener los siguientes tramos homogéneos en Deflexión:

Tabla 6.2_87. TRAMOS HOMOGÉNEOS EN DEFLEXIÓN

Tramos homogéneos	
De km	A km
4	6
6	8
8	12
12	19
19	28
28	31
31	36
36	43

C.CRITERIO ESTADÍSTICO PARA AGRUPAR SUB-TRAMOS

Dado que cada sub-tramo posee una media muestral y una desviación estándar propia, se pueden agrupar utilizando la Prueba de Hipótesis sobre la igualdad de las medias de dos distribuciones normales con varianza desconocida y no necesariamente iguales. Esta prueba se realiza sobre dos tramos consecutivos para evaluar la unión de ellos en uno solo. Para ello, se utiliza el estadístico:

$$T_0 = \frac{\overline{X}_1 - \overline{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

Donde:

Media del subtramo 1.

Media del subtramo 2.

: Varianza del subtramo 1.

: Varianza del subtramo 2.

: Numero de observaciones del subtramo 1.

: Numero de observaciones del subtramo 2.

Este estadístico tiene una distribución que es aproximadamente una distribución t de Student, con grados de libertad dados por:

$$v = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{\left(\frac{(S_1^2/n_1)^2}{n_1+1} + \frac{(S_2^2/n_2)^2}{n_2+1}\right)} - 2$$

Para determinar el valor crítico de t, contra el cual comparar el T_0 calculado, es necesario seleccionar el nivel significación α de la prueba. Luego, de la **Tabla 6.2_88**, se determina el valor crítico de t para el número efectivo de grados de libertad calculados según la ecuación 2.

Se debe definir una Hipótesis Nula $H_0: \mu_1 = \mu_2$ en que μ_1 y μ_2 son las medias teóricas (media de la población) del parámetro utilizado del sub-tramo 1 y sub-tramo 2 respectivamente. La hipótesis nula $H_0: \mu_1 = \mu_2$ se aceptará siempre que se verifique que el estadístico definido esté dentro de la región de aceptación cuyos valores críticos dependen del nivel de significancia adoptado α (α es la probabilidad de rechazar la hipótesis H_0 siendo realmente verdadera). Se recomienda $\alpha = 0,1$.

Por lo tanto se rechaza $H_0: \mu_1 = \mu_2$ si $T_0 > t_{\alpha, v}$, o si $T_0 < -t_{\alpha, v}$

Mientras menor sea α con mayor facilidad se acepta la hipótesis nula y por lo tanto, se logran menos tramos.

Con este criterio se agrupan aquellos sub-tramos que no muestren una diferencia significativa, dicho de otra forma, se agrupan aquellos sub-tramos que no presenten evidencia fuerte que indique la pertenencia a poblaciones diferentes.

El gráfico siguiente, ilustra la distribución t para una confiabilidad del 90%.

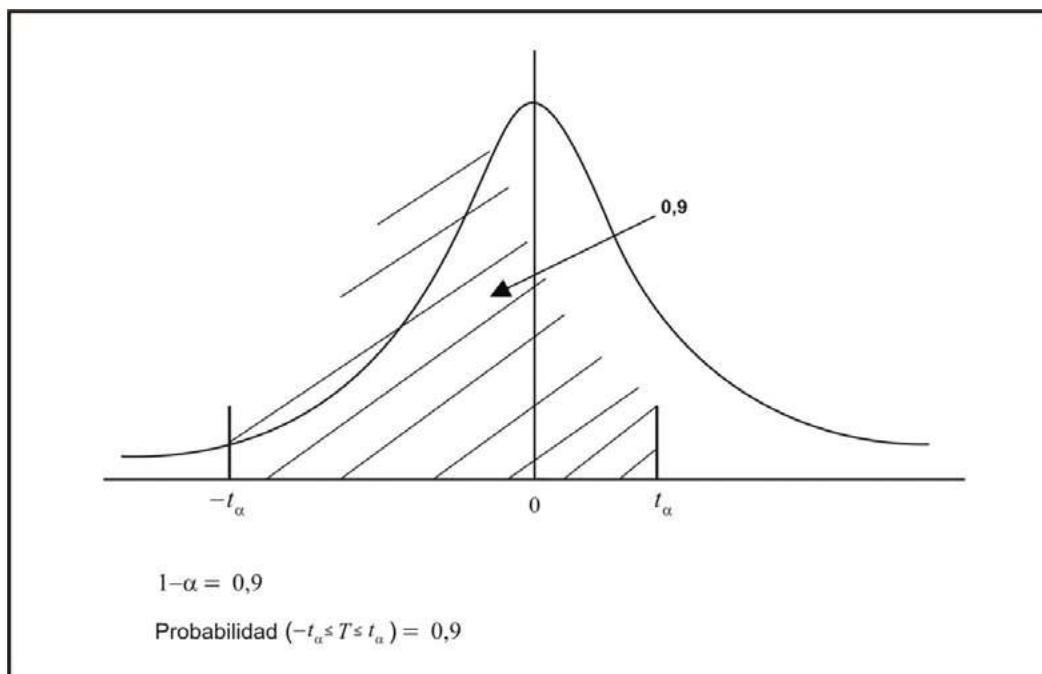


Figura 6.2_109. DISTRIBUCIÓN T, CONFIABILIDAD 90%

Tabla 6.2_88. PRUEBA T: VALORES CRÍTICOS DE T PARA DISTINTOS NIVELES DE SIGNIFICACIÓN

Grados de	$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,10$
1	63.656	12706	6314
2	9.925	4303	2920
3	5.841	3182	2353
4	4.604	2776	2132
5	4.032	2571	2015
6	3.707	2447	1943
7	3.499	2365	1895
8	3.355	2306	1860
9	3.250	2262	1833
10	3.169	2228	1812
11	3.106	2201	1796
12	3.055	2179	1782
13	3.012	2160	1771
14	2.977	2145	1761
15	2.947	2131	1753
16	2.921	2120	1746
17	2.898	2110	1740
18	2.878	2101	1734
19	2.861	2093	1729
20	2.845	2086	1725
21	2.831	2080	1721
22	2.819	2074	1717
23	2.807	2069	1714
24	2.797	2064	1711
25	2.787	2060	1708
26	2.779	2056	1706
27	2.771	2052	1703
28	2.763	2048	1701
29	2.756	2045	1699
30	2.750	2042	1697
40	2.704	2021	1684
60	2.660	2000	1671
120	2.617	1980	1658
∞	2.576	1960	1645

D.EJEMPLO DE CÁLCULO

Se dispone de las siguientes muestras de deflexión de un camino.

Tabla 6.2_89. DATOS DE DEFLEXIONES

Deflexion (um)	
Muestra A	Muestra B
214	347
202	168
245	162
242	277
231	203
227	168
235	200
155	190
179	113
241	223
186	
159	
170	
200	
242	
146	
197	
160	
231	
208	
146	
164	
220	
187	
242	

	Muestra A	Muestra B
Promedio	201.2	205.1
Desviación estándar	33,94	65,81
S ²	1152,22	4330,77
n	25	10

En ellas se tiene:

$$\frac{\overline{X_1} - \overline{X_2}}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} = 0,178$$

Estadístico T₀ =

$$v = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)}{\left(\frac{(S_1^2/n_1)^2}{n_1+1} + \frac{(S_2^2/n_2)^2}{n_2+1}\right)} - 2 = 11$$

Grados de libertad

Entrando en la **Tabla 6.2_88** con los grados de libertad y el nivel de significancia (recomendado 0.1), se tiene:

T crítico = 1,796 Luego, como T₀ < T crítico, se puede concluir que no existe razón para asumir que las muestras no sean iguales.

SECCION 6.2.9.7.

MÉTODO NUCLEAR PARA DETERMINAR IN SITU LA DENSIDAD DE CAPAS ASFÁLTICAS (ASTM D 2950)

6.2.9.7.1. OBJETO

Este método define los procedimientos para determinar in situ la densidad de capas asfálticas por medio de radiación Gamma, usando geometría de retrodispersión o en transmisión directa. Determina la densidad relativa de las capas asfálticas, también puede utilizarse para establecer la densidad óptima para una energía de rodillado determinada y para verificar el cumplimiento de densidad en las capas asfálticas.

Los resultados que arroja este método son relativos, por lo tanto, si se requieren densidades reales, debe establecerse un factor para convertir la densidad nuclear a densidad real; ello mediante mediciones con densímetro nuclear comparadas con densidades de testigos extraídos de la misma ubicación, seleccionada al azar. Se recomienda usar el promedio de densidad de por lo menos siete testigos, de acuerdo con la **Sección 6.2.9.6** y las correspondientes mediciones nucleares, para determinar el factor de corrección; el factor debe verificarse a intervalos durante el desarrollo de una faena y calcular uno nuevo cuando se produzca una modificación en la mezcla de trabajo, un cambio en la fuente de áridos o una variación de materiales de la misma procedencia, un cambio de medidor por otro o si hay razón para suponer que el factor es incorrecto.

Nota 1: La exactitud de los procedimientos de ensayo nuclear no es constante y se ve afectada por el tipo y textura superficial de la capa asfáltica a medir. El modo de ensayo nuclear a usar y el número de ensayos necesarios para determinar un factor satisfactorio depende de la exactitud requerida.

Debe tenerse presente que las lecturas de densidad en capas asfálticas delgadas pueden ser erróneas, si la densidad del material subyacente difiere significativamente de la capa superficial; para algunos medidores existen procedimientos de corrección, cuando se dan estas situaciones.

6.2.9.7.2. EQUIPOS Y MATERIALES

El sistema consistirá en los elementos que se indican a continuación, aun cuando el detalle exacto de la construcción de los aparatos puede variar.

A. FUENTE GAMMA

Está formada por un radioisótopo, doblemente encapsulado y sellado, tal como: Cesio 137, Cobalto 60 ó Radio 226.

B. DETECTOR

Puede ser de cualquier tipo de detector Gamma, como un tubo Geiger - Müller, cristal de centelleo o contador proporcional.

C. INSTRUMENTO DE LECTURA

Puede ser un escalar, un medidor de variación de cuentas o una escala de lectura directa.

D. REFERENCIA PATRÓN

Debe ser provista por el fabricante con el propósito de verificar el funcionamiento del equipo y considerar efectos ambientales.

E. SEGURIDAD

El equipo deberá ser compatible con las normas vigentes de salud y seguridad.

F. ESPACIADORES

Dispositivos destinados a sostener el equipo en la separación óptima del colchón de aire.

6.2.9.7.3. CONDICIONES GENERALES

A. NORMALIZACIÓN DEL EQUIPO

Es necesario normalizar el equipo sobre una referencia patrón por lo menos una vez por día, para lo cual proceda como sigue:

- a. Emplee un tiempo de estabilización para el equipo de acuerdo a las instrucciones del fabricante.
- b. Inicialmente establezca N_0 , tomando el promedio de 20 lecturas sobre la referencia patrón.
- c. Tome a lo menos cinco lecturas sobre la referencia patrón o más, si lo recomienda el fabricante o tome la cuenta de una lectura de 4 min. que entrega directamente el medidor con almacenamiento automático de conteo normal.
- d. Si más de una lectura queda fuera del rango que establece la ecuación que se incluye más abajo, repita la normalización.

Si el segundo chequeo de normalización no satisface la referida ecuación, verifique el funcionamiento del sistema; si no detecta un funcionamiento anormal, establezca un nuevo N_0 .

$$N_s = N_0 \pm 1,96\sqrt{N_0}$$

Donde:

N_s : Valor de chequeo sobre el patrón de referencia

N_0 : Promedio establecido previamente del valor de conteos, para el tiempo normal.

La cuenta de una lectura de 4 min. de un medidor de lectura debe estar dentro del 1% del promedio de las cuentas previas.

6.2.9.7.4. ELECCIÓN Y PREPARACIÓN DEL SITIO DE ENSAYO

- a. Seleccione aleatoriamente el sitio de medición.
- b. Dado que el valor de la densidad medida por retrodispersión se ve afectada por la lectura superficial del material inmediatamente bajo el medidor, son mejores los resultados sobre superficies rodilladas lisas; se recomienda un relleno de arena fina o material similar para llenar los huecos abiertos de la superficie.
- c. Si utiliza el método de transmisión directa, haga un agujero limpio en el pavimento, un poco más grande que la sonda.

6.2.9.7.5. PROCEDIMIENTO

A.PROCEDIMIENTO A, RETRODISPERSIÓN Y TRANSMISIÓN DIRECTA

- a. Asiente el medidor firmemente y alejado más de 300 mm del borde del pavimento y de otro objeto. Si se usa el método de transmisión directa, inserte la sonda de modo que el lado que se orienta al centro del medidor quede en íntimo contacto con la pared del agujero. Mantenga toda otra fuente radiactiva a lo menos 15 m lejos del medidor para evitar que afecten las mediciones.
- b. Emplee el mismo tiempo de estabilización usado en la normalización; tome lecturas de duración automáticas y determine la densidad usando la curva de calibración suministrada o desde el visor de lectura directa.

B.PROCEDIMIENTO B, COLCHÓN DE AIRE (OPTATIVO)

Tome una lectura de duración automática superficial o profunda en una ubicación elegida al azar.

- a. Usando un soporte o espaciadores (provistos por el fabricante) para sostener el medidor al óptimo intervalo de aire, tome una lectura, inmediatamente encima y en la misma orientación que la medición anterior superficial o profunda.
- b. Repita las mediciones superficiales o profundas y la de colchón de aire en las ubicaciones adicionales requeridas, elegidas al azar.
- c. Determine el promedio de las lecturas sobre la superficie o profundas y las de colchón de aire.
- d. Determine el promedio de la razón colchón de aire como lo recomienda el fabricante.
- e. Determine la densidad a partir del promedio de la razón colchón de aire usando la curva de calibración correspondiente.

6.2.9.7.6. PRECISIÓN

- a. No resulta práctico determinar la precisión del método de ensayo considerando operadores de diversos laboratorios, debido a que el ensayo se ejecuta sobre materiales colocados en terreno. La determinación de precisión del medidor y los límites aceptables se dan en 23.
- b. Determine la precisión del instrumento a partir de la gradiente de la curva de calibración del fabricante y la desviación normal estadística de los valores de conteos como sigue:

$$P = \frac{S}{m}$$

Donde:

- P: Precisión (Kg/m³).
- S: Desviación normal, cuentas por minuto (cpm).
- M: Gradiente (cpm/kg/m³).

- c. Determine la gradiente de la curva de calibración para 2.240 kg/m³ y calcule la desviación normal de 20 lecturas individuales de duración automática, tomados sobre un material con densidad de 2.240 ± 80 kg/m³. El valor de P será menor que 16 kg/m³ para medidas en retrodispersión, y 8 Kg/m³ para transmisión directa. Determine la precisión del instrumento sólo cuando se desarrolla o se verifica la curva de calibración y sólo por personal con conocimientos en esta técnica.
- d. Para un medidor de lectura directa, la precisión P es la desviación normal de 20 lecturas individuales de duración automática.

6.2.9.7.7. INFORME

En el informe incluya lo siguiente:

- a) Temperatura ambiente.
- b) Espesor de la capa medida.
- c) Profundidad de la sonda, si se usa transmisión directa.
- d) Identificación de los materiales empleados.
- e) Tipo de mezcla y textura superficial.
- f) Número de pasadas y tipo de rodillos utilizados.
- g) Valor de cuentas de normalización.
- h) Valor de cuentas leído para cada ensayo y el valor medio de densidad correspondiente o el valor de densidad leído directamente en Kg/m³.

SECCION 6.2.9.8.

MÉTODO NUCLEAR PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE ASFALTO DE UNA MEZCLA (ASTM D 4125 AASHTO T287-97)

6.2.9.8.1. OBJETO

Este método permite determinar cuantitativamente el contenido de asfalto de mezclas bituminosas, examinando una muestra mediante neutrones. En atención a que se tienen resultados en pocos minutos, puede usarse para determinar rápidamente el contenido de asfalto de mezclas bituminosas para pavimento, lo que permite ejecutar los ajustes apropiados que sean necesarios en el sistema de alimentación de asfalto de la planta. El procedimiento es útil en la determinación del contenido de asfalto solamente, ya que no permite extraer el asfalto para un análisis de graduación del árido.

A menos que la muestra para el ensayo esté completamente seca, determine el porcentaje de humedad como se indica en 12 y luego haga la correspondiente corrección para compensar por la humedad.

6.2.9.8.2. EQUIPOS Y MATERIALES

1.COMONENTES DEL EQUIPO

Aun cuando diferentes equipos pueden presentar diferencias en detalles constructivos, el sistema consiste básicamente de lo siguiente:

- a) **Fuente de Neutrones.** Fuente radiactiva en cápsula y sellada, como la de americio - berilio.
- b) **Detectores.** Cualquier tipo de detector de neutrones térmico, tales como el Helio - 3 o el trifluoruro de boro.
- b) **Instrumento de Lectura de Salida.** Puede ser un medidor o un instrumento de lectura digital directa, calibrado en porcentaje de asfalto.
- c) **Referencia patrón.** Debe ser provisto por el fabricante con el propósito de chequear la operación del instrumento, conteo de efectos ambientales y establecer condiciones para que las razones de conteos sean reproducibles.

2.PRECISIÓN DEL EQUIPO

- a) La precisión del equipo con un contenido de asfalto del 6% en peso no será mayor de $\pm 0,075\%$ de asfalto para una medición de 12 min. y no mayor de $\pm 0,15\%$ de asfalto para una medición de 3 min.
- b) La precisión del equipo se determina a partir de la gradiente del gráfico de la curva de calibración y de la desviación normal de la razón de conteo. La precisión se calcula como sigue:

$$P= S / m$$

Donde:

- P: Precisión del equipo, en porcentaje de asfalto.
- S: Desviación normal en cuentas por períodos de tiempo automatizados.
- M: Pendiente en cuentas por porcentaje de asfalto.

La desviación normal se calcula de 20 lecturas individuales de tiempo automatizado tomadas al contenido de asfalto de la mezcla que está siendo ensayada con $\pm 0,5\%$ de diferencia de la mezcla de diseño.

- c) El rango de la mezcla de control debe estar entre 2 y 14% de asfalto en peso.

3. OTROS APARATOS

- a) Balanza, capaz de pesar hasta 10 Kg, con precisión de 1 g.
- b) Horno, capaz de calentar a $180 \pm 5^\circ\text{C}$.
- c) Regla de acero, de aproximadamente 450 mm de largo.
- d) Placa de madera, de 20 mm o más gruesa, o plancha metálica de 10 mm o más gruesa que tenga un área ligeramente mayor que los recipientes para muestras.
- e) Cucharas y bolos para mezclado.

6.2.9.8.3. CONDICIONES GENERALES

4. SEGURIDAD

El equipo deberá estar construido de modo que sea compatible con las ordenanzas sobre salud y seguridad.

5. OPERADORES

Los operadores del equipo deben portar un Dosímetro de Radiación suministrado por un organismo oficial, capaz de acusar la exposición a la radiación durante el trabajo.

6. CONTENIDO DE HIDRÓGENO

La señal de salida del equipo mide la cantidad total de hidrógeno de la mezcla, es por lo tanto, sensible a los cambios en el contenido de humedad. Debe recordarse que tanto el asfalto como el agua contienen hidrógeno.

7. POSICIÓN DEL EQUIPO

Mantenga cualquier otra fuente de radiación por lo menos a 8 m del equipo. No lo coloque donde puedan moverse grandes cantidades de material hidrogenado durante la calibración o el procedimiento de ensayo (por ejemplo, agua o materiales plásticos).

6.2.9.8.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

8. UBICACIÓN DE LAS MUESTRAS

Obtenga las muestras en forma aleatoria de acuerdo a la **Sección 6.2.9.1** "Método para extraer y preparar muestras".

9.TOMA DE LAS MUESTRAS

Tome las diversas muestras de mezcla bituminosa para pavimento recién preparada, de acuerdo con la **Sección 6.2.6.1** "Método de muestreo de mezclas".

6.2.9.8.5. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA A ENSAYAR

10.TAMAÑO DE LA MUESTRA

La muestra a ensayar debe ser por lo menos de 6 kg para cada ensayo.

11.MANIPULACIÓN

Coloque la muestra en el recipiente para muestras con el mismo método usado para la preparación de las muestras de calibración.

12.CONTENIDO DE HUMEDAD

Verifique el contenido de humedad de la muestra de acuerdo a lo señalado en la **Sección 6.2.6.7** "Método para determinar la humedad o volátiles en mezclas asfálticas". Si presenta humedad, el porcentaje detectado debe restarse del porcentaje aparente del asfalto, indicado por el Método Nuclear. Alternativamente, la muestra puede secarse hasta masa constante en un horno a $110^{\circ}\pm 5^{\circ}\text{C}$, lo que elimina la necesidad de la corrección por humedad.

6.2.9.8.6. CURVA DE CALIBRACIÓN

13. El método es sensible al tipo de árido, porcentaje y origen del asfalto y a la graduación de la mezcla. De acuerdo con ello, desarrolle una curva de calibración para cada tipo de mezcla, con tres puntos, uno de los cuales corresponda al cero de contenido de asfalto. Este punto cero es fácil de medir con muestras de áridos de los silos en caliente (Nota 1), aunque también pueden tomarse muestras del acopio, secadas hasta masa constante. Cada vez que haya un cambio de la procedencia del asfalto o del árido o un cambio significativo en la graduación del árido, trace una nueva curva de calibración. El punto cero debe chequearse por lo menos una vez al día o cuando haya razón para sospechar que se ha producido una variación del contenido de humedad del agregado.

Nota 1: Este método puede no ser aplicable a plantas secadoras de tambor, debido a la dificultad de obtener muestras de agregados calentados.

El procedimiento que se recomienda para trazar la curva de calibración es el que sigue:

- a) Muestree los silos en caliente de la planta de acuerdo con "Extracción y Preparación de la Muestra" y mezcle los áridos en la proporción correcta (Nota 1). Debe obtenerse árido suficiente para 3 muestras; aproximadamente se requieren 20 kg en total.
- b) Llene el molde hasta colmarlo con el árido seco. Colóquelo sobre una superficie plana y golpéelo varias veces en ella para asegurarse que la muestra se compacte. Usando la regla, elimine con cuidado el material en exceso, enrase el nivel superior de los bordes del molde. Pese y anote el peso del árido seco.
- c) Ensaye la mezcla caliente de árido para establecer el cero por ciento de contenido de asfalto como se describe en 16. Este punto cero de asfalto sirve para determinar cambios en el contenido de humedad diariamente.

- d) Mezcle 2 muestras de árido con asfalto, extraídas del depósito de la planta, que tengan aproximadamente el contenido de asfalto de diseño más 1% la primera y -1% la segunda. Utilice el mismo peso de mezcla usado para la muestra de calibración del árido seco. Divídalas aproximadamente en dos porciones iguales. Coloque la primera porción en el molde usando una paleta o espátula. Consolide 20 a 30 veces alrededor del perímetro del molde para minimizar los huecos entre la mezcla y los bordes del molde. Coloque la segunda porción en el molde y repita el proceso de consolidación. Saque la mezcla de asfalto que quedó sobre el borde del molde usando una regla o una paleta. Use la plancha metálica o placa de madera para compactar la mezcla asfáltica hasta que quede nivelada con la parte superior del borde del molde.
- e) Alternativamente, coloque los moldes conteniendo la mezcla asfáltica en el instrumento y determine el conteo para las muestras, usando el procedimiento descrito en c) para el árido seco.
- f) Defina una curva de calibración trazando las dos lecturas de la muestra de asfalto versus contenido de asfalto en un papel cuadriculado, eligiendo convenientemente las escalas para los conteos y el contenido de asfalto; una los dos puntos con una línea. La línea puede prolongarse para cubrir un amplio rango de contenidos de asfalto.
- g) Repita el procedimiento de calibración para cada mezcla que se espera hacer ese día.
- h) El procedimiento requiere aproximadamente de una hora para desarrollar un amplio conjunto de curvas de calibración. Los ensayos de control de rutina pueden comenzar tan pronto como se hayan establecido las curvas de calibración.

6.2.9.8.7. NORMALIZACIÓN

14.OBJETIVOS

Todos los dispositivos para Ensayo Nuclear están sujetos a un envejecimiento a largo plazo de la fuente radiactiva, detectores y otros sistemas electrónicos, los cuales pueden cambiar la relación entre la cuenta y el contenido de asfalto. Para compensar este envejecimiento, todos los instrumentos están calibrados como una razón de conteo y un conteo hecho con un Patrón de Referencia. El Conteo de Referencia debe tener el mismo orden de magnitud o más alto que el rango de las medidas de razones de conteos sobre el contenido usual de asfalto del equipo.

15.FRECUENCIA DE LA NORMALIZACIÓN

La normalización del equipo contra un patrón de referencia debe hacerse al principio de cada día, anotando permanentemente los datos obtenidos y archivando esos antecedentes.

16.ESTABILIZACIÓN DEL EQUIPO

Encienda el equipo y permita que se establezca de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

17.NÚMERO DE LECTURAS

Tome por lo menos 4 lecturas repetitivas en la referencia patrón con tiempo normal de medida y obtenga la media. Si se puede hacer en el instrumento una medida con un pe-

río de 4 veces el período normal, es aceptable en lugar de las 4 medidas individuales. Esto constituye un chequeo de normalización.

Nota 2: Algunos fabricantes pueden construir patrones de referencia en el interior de sus equipos. Cuando use esos equipos siga las instrucciones del fabricante para la normalización.

18. VALORES ADMISIBLES

Si el valor obtenido está dentro de los límites definidos por la ecuación que se incluye más abajo, considere que el equipo está en condiciones satisfactorias y puede ser usado. Si el valor queda fuera del rango definido por esa ecuación, haga otro chequeo de normalización. Si este segundo chequeo de normalización resulta dentro de los límites, el equipo puede usarse; si también falla, el equipo debería chequearse de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

$$N_s = N_0 \pm 1,96\sqrt{N_0 / PC}$$

Donde:

- N_s : Valor de chequeo sobre el patrón de referencia.
- N_0 : Promedio de los últimos 4 valores de N_s tomados previo al uso.
- PC: Factor de escala aplicado a los conteos del detector previo a su presentación en la pantalla; debe ser proporcionado por el fabricante. Si no hay factor de escala construida en el interior del equipo, el valor es 1.

19. USO DEL VALOR N_s

Use el valor de N_s para determinar la razón de conteos para el uso diario del equipo. Si por alguna razón las mediciones del contenido de asfalto se hacen sospechosas durante el uso diario, haga otro chequeo de normalización.

Nota 3: Si el instrumento se va a usar continua o intermitentemente durante el día, es mejor dejarlo en la posición "encendido" durante el día, para evitar tener que repetir el chequeo de normalización. Esto proporcionará resultados más estables y consistentes.

20. PROCEDIMIENTO

Siga las instrucciones del fabricante para la operación del equipo y la secuencia de las operaciones.

6.2.9.8.8. INFORME

Incluya en el informe lo siguiente:

- a) Marca, modelo y número de serie del equipo.
- b) Identificación del asfalto y los áridos.
- c) Tipo de mezcla y contenido de asfalto especificado.
- d) Contenido de asfalto obtenido.

ANEXO DE DETALLES ESPECÍFICOS

AO 102- Método de ensayo para determinar la densidad de los materiales bituminosos (Método del Picnómetro)

NORMA : A.S.T.M. D 71

OBJETIVO : El objeto de este ensayo es describir el procedimiento a seguir para determinar la gravedad específica de los materiales bituminosos, mediante el empleo de un picnómetro.

ALCANCE : Establecer parámetros que nos permitan definir los valores de peso específico necesarios para efectuar las correcciones de volumen cuando se manipulan a temperaturas elevadas y para el cálculo de la densidad y vacíos de las mezclas asfálticas.

COMENTARIOS : La gravedad específica de los asfaltos de penetración puede variar entre 0.98 g/cm^3 y 1.06 g/cm^3 . Debido a que la relación temperatura – viscosidad, es variable según se trate de diferentes asfaltos, no se especifica un valor único de densidad.

DURACIÓN : Con práctica se puede hacer el ensayo en el Laboratorio en 3 horas.

EQUIPO REQUERIDO :



Figura 1 Equipos requeridos

Picnómetro: Recipiente de vidrio de forma cilíndrica o cónica, con boca esmerilada en la cual debe ajustar exactamente y sin fugas, un tapón de vidrio de 22 mm a 26 mm de diámetro, en el centro del cual llevara un orificio de 1.0 a 2.0 mm de diámetro.

La superficie superior del tapón será plana y pulida, y la inferior tendrá forma cóncava para facilitar la expulsión del aire del picnómetro, el cual tendrá una capacidad de 24 ml a 30 ml y un peso, incluido el tapón, no superior a 40 g. La altura de la sección cóncava deberá ser de 4.0 mm a 6.0 mm en el centro.

- **Termómetro:** Los termómetros generalmente utilizados son de 63°C , pero puede emplearse cualquier otro termómetro con la misma precisión, el rango apropiado con graduaciones de por lo menos cada $0,1^{\circ}\text{C}$ ($0,2^{\circ}\text{C}$) y un error máximo de escala de $0,1^{\circ}\text{C}$ ($0,2^{\circ}\text{C}$) de acuerdo con las especificaciones de la A.S.T.M. y que estén calibrados.

- **Balanza:** Con capacidad de 1200 g y una precisión de 0,1g.
- **Cronómetro.**
- **Agua destilada** o des-ionizada.
- **Vaso de precipitado:** Con capacidad de 250 ml.

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

1. Se debe pesar el picnómetro y anotar ese dato en la planilla de ensayo como peso de picnómetro (*véase figura 2*).
2. Se llena el picnómetro, con agua destilada a temperatura ambiente y se inserta el tapón, luego se sumerge el picnómetro con agua, dentro de un vaso de precipitado lleno de agua destilada a 25°C, durante un tiempo de 30 minutos (*véase figura 3*).
3. El picnómetro se retira del baño, se seca con una toalla limpia o con un papel absorbente, teniendo cuidado de que el menisco en el orificio del tapón este a nivel de la superficie del mismo). Y se procede a pesar el picnómetro con el agua (*véase figura 4*).
4. La lectura obtenida se anota en la planilla de ensayo como peso del picnómetro más el agua destilada a 25°C.



Figura 2 Pesada del picnómetro

Figura 3 Picnómetro sumergido en agua

Figura 4 Pesada del picnómetro

5. Luego de colocar la muestra previamente diluida, en el picnómetro a dos tercios de su capacidad total, se deja enfriar a temperatura ambiente, como se aprecia arriba en la *figura 5* Cuidando que al momento de colocar la muestra en el picnómetro se ponga en contacto con las paredes del mismo por encima del nivel final para evitar la creación de burbujas de aire. Se introduce este en el baño de agua a una temperatura de 25°C ± 0,5°C, por un lapso de tiempo de 30 minutos.
6. Se retira del baño el picnómetro, se seca con una toalla y posteriormente se procede a pesarlo. Este dato se debe anotar como picnómetro más cemento asfáltico a 25°C (*véase figura 6*).
7. Se llena la otra porción del picnómetro con agua destilada y se sumergen en el baño de agua a temperatura de 25°C durante un periodo de 30 minutos (*véase figura 7*).
8. Luego de transcurrido el lapso de tiempo de enfriamiento, se procede a secar el picnómetro con una toalla, teniendo cuidado que el menisco en el orificio del tapón este a nivel con la superficie del mismo. Se pesa el picnómetro y este valor se anotara, como:

picnómetro + agua + cemento asfáltico a 25°C (*véase figura 8*).

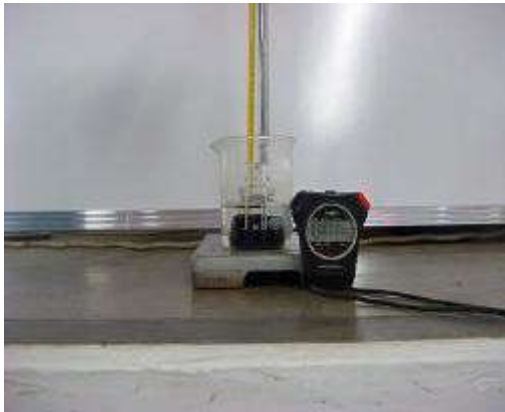


Figura 5 Picnómetro con el cemento asfáltico en reposo



Figura 6 Pesada del picnómetro con el cemento asfáltico



Figura 7 Muestra de cemento asfáltico sumergida en agua



Figura 8 Peso del picnómetro después del reposo

CÁLCULO

La gravedad específica del asfalto (G_e) se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$G_e = \frac{(G_a - G_p) - (G_{aw} - G_a)}{(G_w - G_a)} \quad (1)$$

Donde

G_e : Gravedad específica.

G_p : Peso del picnómetro.

G_w : Peso del picnómetro + agua destilada.

G_a : Peso del picnómetro + cemento asfáltico.

G_{aw} : Peso del picnómetro + cemento asfáltico + agua destilada.

AO-103 Método de ensayo para determinar las penetraciones de los Cemento Asfálticos

- NORMA** : A. S. T. M. D 5
- OBJETO** : El objeto de este ensayo es describir el procedimiento que debe seguirse para determinar la consistencia de los materiales bituminoso de naturaleza sólida o semisólida utilizado en construcción de carretera.
- ALCANCE** : Establecer los parámetros que nos permitan clasificar los materiales bituminosos mediante su penetración.
- COMENTARIOS** : Mientras más blando sea el material bituminoso mayor será la penetración.
- DURACIÓN** : Con práctica se puede hacer el ensayo en el Laboratorio en 4 horas.
- EQUIPO REQUERIDO** :



Figura 1 Equipos requeridos para el ensayo

Penetrómetro.

- Aguja estándar. Debe ser de acero inoxidable endurecido y templado, tendrá unos 50mm (2") de longitud y entre 1.00 y 1.02 de diámetro.
- Baño de agua con regulador de temperatura .
- Soporte universal.
- Mechero.
- Recipiente o molde para la muestra de un diámetro de 55 mm (2.17") y una profundidad de 35 mm (1.38").
- Frasco de vidrio (deseCADOR).
- Termómetro.
- Reloj indicador de minutos con alarma.
- Linterna.
- Paño limpio.
- Horno.

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

1. Se coloca la muestra de cemento asfáltico en el horno para ser calentado hasta una temperatura tal, que este suficientemente fluido, evitando sobrecalentamiento (**véase figura 2**).
2. Se pesa 400 g a 500 g del material bituminoso en un envase apropiado tal, que nos permita la mejor maleabilidad.
3. Se vierte el material bituminoso, ya fluido, en el recipiente de 55 mm de diámetro, 35 mm de profundidad y 88,5 ml de capacidad, hasta unos milímetros de su tope (10mm a la penetración supuesta), como se aprecia en la **figura 3**.
4. Se vierten dos porciones de muestras separadas, por cada variación en las condiciones de ensayo (**véase figura 4**).



Figura 2 Calentamiento del Cemento Asfáltico



Figura 3 Agregado del Cemento asfáltico fluido en el recipiente



Figura 4 Recipiente con Cemento Asfáltico

5. Se aplica ligeramente la llama del mechero a la superficie del producto bituminoso (**véase figura 5**), para eliminar las burbujas que contiene la muestra. Esta operación usualmente dura menos de 1 minuto.
6. Se deben colocar las muestras en un recipiente de vidrio, como el que se aprecia en la **figura 6** y se tapan para protegerlas del polvo y permitir la eliminación de posibles burbujas de aire, se dejan reposar hasta que alcancen el grado de temperatura ambiente entre (20 °C y 30 °C) por un periodo de 1 a ½ horas.
7. Al terminar el periodo de enfriamiento se coloca la muestra en un recipiente con agua a una temperatura especificada de 25°C, por un periodo de 1 a 1 ½ horas, al mismo tiempo (**véase fig, 7**).



Figura 5 Calentamiento del Cemento Asfáltico



Figura 6 Muestras de Cemento Asfáltico en el desecador



Figura 7 Colocación del Cemento Asfáltico en recipiente con agua

8. Verificar que la aguja indicadora del Penetrómetro este en cero como se aprecia en la **figura 8**
9. Se debe colocar la muestra sobre la plataforma del aparato de penetración, de modo que la muestra esté debajo de la aguja y en una posición tal que el punto de contacto entre la aguja y la muestra sea al menos 1cm del borde del recipiente con la muestra (**véase figura 9**). Salvo que se especifique otra carga, se coloca un peso suplementario de 50 g sobre el vástago para obtener un peso móvil total de $100 \text{ g} \pm 0.1\text{g}$.
10. Inmediatamente se debe bajar la aguja hasta que la punta de esta haga contacto con la superficie de la muestra (**véase figura 10**) Se debe usar una fuente luminosa que permita visualizar cuando se unen la aguja con su imagen reflejada en la superficie de la muestra, este será el punto de contacto.



Figura 8 Verificación de lectura del penetrómetro



Figura 9 Colocación del Cemento Asfáltico en el penetrómetro



Figura 10 Contacto de la aguja del penetrómetro con la superficie del Cemento Asfáltico

Se coloca el indicador en cero, entonces se suelta la aguja rápidamente por el periodo de tiempo especificado (5 segundos).

11. Finalmente, se lee y anota la distancia, expresada en décimas de milímetro, que haya penetrado la aguja en la muestra (**véase figura 11**).



Figura 11 Lectura de ensayo de penetración

12. Se realizarán al menos tres penetraciones en cada recipiente, sobre diferentes puntos de la superficie separados, como mínimo, 10 mm (3/8") entre sí y de las paredes del recipiente.

Nota 1: Después de cada penetración, se desmonta y saca la aguja y se limpia cuidadosamente con un trapo limpio y seco.

ANEXO A

TABLA 1 Grado de Penetración para los diferentes Cementos Asfálticos

PROPIEDADES	Grado					
	A40	A30	A20	A10 (85/100)	A5 (120/150)	A2,5 (200/300)
	Min.-Máx.	Min.- Máx.	Min. - Máx.	Min. - Máx.	Min. - Máx.	Min. - Máx.
	40-50	60-70	60-70	85-100	120-150	200-300

A.1 RESULTADOS

El resultado de ensayo será el promedio, aproximado a la unidad cuyos valores no deben diferir en más de lo siguientes valores:

Tabla 2 Valores estándar del ensayo de penetración

Penetración	0-49	50-140	150-249	> de 249
Diferencia máx. entre valores extremos	2	4	6	8

AO106- Método de ensayo para determinar el punto de inflamación y combustión de los materiales bituminosos, mediante la Copa Abierta de Cleveland

- NORMA** : A. S. T. M. D 92
- OBJETIVO** : El objeto de este ensayo es describir el procedimiento a seguir para determinar las propiedades de los materiales bituminosos en respuesta al calor y a la llama, bajo condiciones de laboratorio controlada.
- ALCANCE** : Conocer los parámetros de temperatura a la cual se puede almacenar y manipular los materiales bituminosos sin presentar riesgos de incendio.
- DURACIÓN** : Con práctica se puede hacer el ensayo en el Laboratorio en 45 minutos.
- EQUIPO REQUERIDO** :



Figura 1 Equipo utilizado para el ensayo

- Copa Abierta de Cleveland estándar de 2 ½" De Diámetro.
- Dispositivo de calentamiento eléctrico con regulador de temperaturas.
- Aplicador de llama.
- Termómetro.
- Horno o estufa.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Se tomará como referencia el punto de Inflamación reportado en la carta técnica suministrada por el productor.

Nota 1: Cuando se carezca de la Carta técnica se tomará como referencia la temperatura especificada para el producto analizado.

Ejemplo 1

Para el cemento asfáltico clasificado como A-20, la temperatura del Punto de Inflamación será mayor de 232 °C, según las especificaciones.

1. La muestra a ensayar se colocará en una estufa a una temperatura, que permita que esta sea lo suficientemente fluida para poder transferirla al recipiente de ensayo (Copa Cleveland) (*véase figura 2*). Se debe tener la precaución de no calentar la muestra a una temperatura mayor de 150°C.
2. Se debe verificar que el recipiente, el soporte y el termómetro estén limpios y secos, para luego transferir la muestra a ensayar al recipiente, llenando el mismo hasta el nivel marcado en la copa (*véase figura 3*).

Nota 2: Se recomienda colocar la muestra en la copa en forma espiral para evitar la formación de burbujas de aire.



Figura 2 Colocación de la muestra en el horno



Figura 3 Llenado del recipiente

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

1. Se debe colocar el vaso en el soporte y el termómetro con el bulbo suspendido a 6.4 mm. del fondo, en el punto medio entre el centro y el borde del vaso (*véase figura 4*).
2. Caliente la muestra uniformemente de modo que la tasa de crecimiento de temperatura este entre 14 °C a 17°C por minuto, hasta llegar a 56 °C aproximadamente por debajo del punto de inflamación esperado.
3. A partir de este momento se disminuye la temperatura de calentamiento de manera que la velocidad de incremento en los últimos 28 °C sea de 5 °C a 6 °C por minuto. Cuando se ha llegado a una temperatura de 28 °C ante del punto de inflamación previsto aplique la llama de prueba cada vez que se incrementa 2 °C.
4. Se pasa la llama de prueba con un movimiento suave y continuo, ya sea en línea recta o a lo largo de una circunferencia que tenga un radio por lo menos 150 mm. El centro de la llama de prueba se debe mover horizontalmente no más de 2 mm de la parte superior de la copa y pasado en una sola dirección y la siguiente aplicación debe hacerse en forma inversa, no debiendo tardarse en cada pasada más de un segundo. Se anota la temperatura leída en el termómetro cuando se produzca el primer destello en algún punto de la superficie de la muestra durante una pasada.

Nota 3: No debe confundirse como verdadero destello que indica el punto de inflamación, con el halo azulado que, a veces, rodea la llama de prueba.

5. Para determinar la combustión, se continúa calentando el material a la misma velocidad de 5 °C a 6 °C por minutos y se sigue pasando la llama de prueba cada 2 °C de elevación de temperatura. Se anota la temperatura leída en el termómetro, a la que el material arde y se mantiene la llama durante, al menos, 5 segundos.



Figura 4 Montaje del ensayo

PRECISIÓN

Para juzgar la aceptabilidad de los resultados, se seguirán los siguientes criterios (95% de probabilidad):

6. **Repetibilidad:** Los resultados realizados por duplicado obtenido por el mismo operador y laboratorio sobre una misma muestra, se consideran erróneos si difieren en más de las siguientes cantidades:
 - Punto de inflamación 8 °C.
 - Punto de combustión 8 °C
7. **Reproducibilidad:** Los resultados realizados por distintos operadores y laboratorio sobre una misma muestra, se consideran sospechosas si difieren en las siguientes cantidades:
 - Punto de inflamación 17 °C.
 - Punto de combustión 14 °C.

AO 114- Método de ensayo para determinar el grado de envejecimiento de productos asfálticos en horno de película delgada

- NORMA** : A.S.T.M. D 1754 / A.A.S.H.T.O. T-179
- OBJETIVO** : El objetivo de este ensayo es determinar el efecto del calor y el aire sobre las propiedades de los materiales asfálticos semi-sólidos cuando son calentados por un tiempo determinado.
- ALCANCE** : El resultado se puede utilizar como guía del grado de envejecimiento que pueda producirse durante la operación de mezclado en Planta en caliente.
- DURACIÓN** : El ensayo se debe realizar durante 5 horas.

EQUIPOS Y MATERIAL REQUERIDO :



Figura 1 Equipo utilizado para el ensayo

- **Horno eléctrico** con puerta de vidrio para observar las lecturas del termómetro y mantener temperatura constante sin pérdida de calor.
- **Balanza** de precisión con capacidad de 0.001 g.
- **Cocina Eléctrica**.
- **Termómetro** de Mercurio que mida temperatura hasta 180 °C.
- **Tres platillos** cilíndricos con fondo plano, de aluminio o acero inoxidable.



Figura 2 Equipos y materiales utilizados

PROCEDIMIENTO

1. Se debe colocar suficiente material para el ensayo en un recipiente adecuado y calentarlo hasta la condición de fluido. Se debe tener mucho cuidado en no ocasionar un sobrecalentamiento local de la muestra y que la temperatura no exceda 70 °C (157 °F) al punto de ablandamiento del material (**véase figura 3**)
2. Se debe colocar en cada cápsula previamente pesada, cincuenta (50) gramos aproximados de cemento asfáltico y dejar enfriar a temperatura ambiente. (**véase figura 4**).
3. Se debe pesar los platillos con el material asfáltico como se observa en la **figura 5**.



Figura 3 Calentamiento de la muestra



Figura 4 Muestra en enfriamiento



Figura 5 Pesada de la muestra

4. Con el Horno a 163 °C (325°F), se deben colocar los platillos con las muestras sobre los soportes internos de este, (**véase figura 6**), cerrar el horno y accionar la rotación del soporte a una velocidad entre 5 rpm y 6 rpm.
5. Se debe mantener una temperatura constante de 163°C ± 1°C (325°F ± 1.8°F) durante cinco (5) horas contadas a partir de que el horno alcance la temperatura de 163 °C (325°F) (**véase figura 7**).
6. Al culminar el tiempo de calentamiento, se debe retirar los platillos del horno y dejar enfriar a temperatura ambiente. Para posteriormente pesar los platillos con el residuo del material asfáltico, como se observa en la **figura 8**.
7. En caso de realizarse los ensayos de penetración o ductilidad a la muestra envejecida, el residuo se debe calentar y colocar en un recipiente acorde al ensayo a ejecutar.

Nota 1: Bajo ninguna circunstancia se debe ensayar en el Horno al mismo tiempo, materiales asfálticos de diferentes grados.



Figura 6 Colocación de las muestras en los soportes



Figura 7 Horno con las muestras a 163 °C



Figura 8 Muestra pesada

CÁLCULOS

$$\%P = \frac{(W_a - W_D)}{W_a} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

%P = Porcentaje de la Pérdida de Peso por calentamiento.

W_a = Peso del cemento asfáltico antes del ensayo.

W_D = Peso del cemento asfáltico después del ensayo.

AO 313- Método de ensayo para determinar la viscosidad Saybolt Furol de los materiales bituminosos

NORMA : A.S.T.M. D88

OBJETIVO : El objeto del ensayo es describir el procedimiento para Medir el tiempo en segundos que tarda en fluir a través de un orificio calibrado, 60 ml de muestra en condiciones determinadas.

ALCANCE : Establecer el grado de fluidez de los materiales bituminosos cuando son manipulados a diferentes temperaturas.

DURACIÓN : Con práctica se puede hacer el ensayo en el Laboratorio en 45 minutos.

**EQUIPO
REQUERIDO** :



Figura 1 Equipo y material requerido

- Viscosímetro Saybolt con orificio furol.
- Glicerina
- Cronómetro
- Embudo
- Matraz especial de 60 ml
- Tapones de corcho
- Termómetro

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

1. Con la ayuda de un embudo, se llena el baño del equipo con el líquido apropiado, en este caso glicerina, hasta 6 mm (1/4") por encima del borde de rebose del viscosímetro (*véase figura 2*).

2. Luego de encender el equipo, se activa el dispositivo de recirculación, para homogenizar la glicerina a una temperatura uniforme, la cual permite calentar la muestra a la temperatura requerida para el ensayo (60 °C y 135 °C).



Figura 2 Llenado del viscosímetro Con glicerina

3. Se debe insertar un tapón de corcho, que tenga una cuerda unida como se aprecia en la **figura 3**, para así poder removerlo con mayor facilidad. El mismo se debe ajustar suficientemente para evitar escape o derrame de la muestra.



Figura 3 Tapón de corcho obstruyendo la salida del fluido

4. La muestra a ensayar se colocará en una estufa a una temperatura, que permita que esta sea lo suficientemente fluida para poder transferirla al viscosímetro, de tal forma, que quede a nivel de la marca de aforo (**véase figura 4**).
5. Se debe verificar con un termómetro que la muestra haya alcanzado la temperatura requerida para el ensayo (**véase figura 5**).
6. Retirando rápidamente el tapón de la boquilla del tubo del viscosímetro, se mide el tiempo en segundos que tarde para llenar el matraz especial, hasta la marca de aforo (60 ml). Esta será la viscosidad Saybolt Furol de la muestra a la temperatura del ensayo (**véase figura 6**).



Figura 4 Adición de muestra al viscosímetro



Figura 5 Verificación de temperatura



Figura 6 Medición el tiempo de caída del fluido

AO502- Método de ensayo para análisis granulométrico de llenante mineral (Filler) para mezclas de pavimentos bituminosos

- NORMA** : A.S.T.M. D 546 - 85 / A.A.S.H.T.O. T - 37
- OBJETIVO** : El objeto de este ensayo es conocer el llenante mineral (Filler) con la gradación requerida según las especificaciones A.S.T.M. D 242.
- DURACIÓN** : Con práctica se puede hacer el ensayo en el Laboratorio en 35 minutos después de tener el material secado a peso constante.

EQUIPO REQUERIDO :



Figura 1 Equipos requeridos

- **Balanza**, con capacidad de 200 g y sensibilidad de 0,05 g.
- **Horno** con control para mantener temperaturas uniformes hasta 110°C + 5°C (230 F + 9 F).
- **Tamiz**: N° 200 (0,074 mm), N° 50 (0,29mm) y N° 30 (0,59 mm), tapa y fondo.
- **Bandejas** de 60 cm x 60 cm x 5 cm.
- **Bandeja** de 20 cm x 12 cm x 7 cm para secar muestras.
- **Brocha**, cepillo metálico fino.
- **Brocha**, pelo fino.
- **Cuchara** de albañil.
- **Par de guantes** de asbesto.
- **Tamizador** mecánico para tamices de 20 cm de diámetro.

PROCEDIMIENTO Y PREPARACION DE MUESTRAS.

Se debe obtener una muestra de ensayo de acuerdo a los requerimientos de la especificación A.S.T.M. D 242 y el ensayo reducido de acuerdo con la norma de cuarteo de muestra A.S.T.M. C 702. **(véase figura 2)**

1. Se obtiene el material representativo, y se debe llevar al laboratorio. Se recomienda que cada muestra represente 5 toneladas del material recibido en la obra. Se recomienda la toma de material en una cantidad de aproximadamente. 1 Kg.
2. Se mezcla todo el material en estado seco. Se Cuarteo el material hasta reducirlo a una cantidad que sea representativa para el ensayo, **(véase figura 3)** (método de cuarteo manual FLNV-MVAG-33). Se recomienda usar un mínimo de 100 g. de material seco por cada tamiz de análisis.
3. La porción obtenida por cuarteo se coloca en el horno, **(véase figura 4)** para secar el material a una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} + 5^{\circ}\text{C}$.

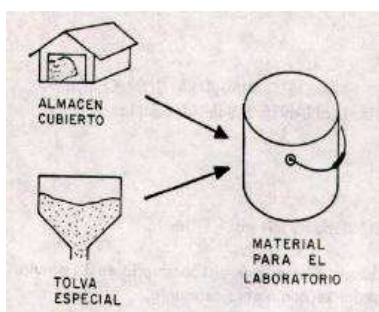


Figura 2 Toma de muestra



Figura 3 Cuarteo de muestra



Figura 4 Introducción de la muestra en el horno

7. Se saca del horno y se deja enfriar hasta que el material llegue hasta un peso constante. Entendiéndose como peso constante cuando luego de dos pesajes sucesivos, el peso seco no varía en más de 0,1g de uno a otro El período de secado para lograr peso constante estará entre 4 horas mínimo y 18 horas máximo dependiendo de la temperatura del horno.
8. Después que el material ha sido secado hasta peso constante, se saca de horno y se pesa con el envase, como se aprecia en la **figura 5**. Se anota en la planilla de ensayo este peso con una precisión de 0,1 g.

Por ejemplo: **Peso Muestra más tara 148,7 g**

9. Verificar el estado de los tamices, y que el fondo y la tapa estén secos y limpios. Colocar el tamiz N° 200 (0,074mm) encima del fondo y vaciar la muestra en el tamiz N° 200 (0,074mm), se debe cubrir el conjunto con la tapa, **(véase figura 6)**. Este ensayo es uno de los pocos en los cuales se puede vaciar la muestra directamente al tamiz N° 200 (0,074mm). Se permite porque la cantidad de la muestra es pequeña y casi todo el material Filler es de un tamaño tal que pasa el tamiz N° 200 (0,074mm).
10. Si no se ha pesado el envase antes del ensayo, se debe pesar y anotar el resultado en la planilla de ensayo.

Por ejemplo: **Peso del recipiente 92,7g**

11. Con tapa, tamiz N° 200 (0,074mm), y fondo en una mano se inclina un poco este conjunto, y se sube y golpea contra la otra mano que se mantendrá siempre en una misma posición, como se aprecia en la **figura 7**.



Figura 5 Peso del material



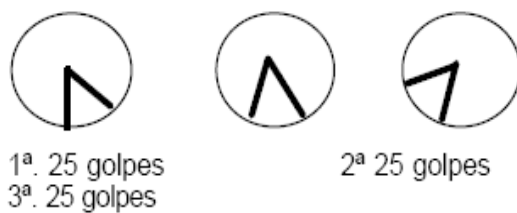
Figura 6 Vaciado de los tamices



Figura 7 Tamizado correcto de la muestra

Nota 1: Solo precisa un ligero declive, suficiente para distribuir la muestra sobre una mayor superficie de la malla del tamiz, como se ilustra en la **figura 7**.

12. Se golpea así a un ritmo aproximado de 150 golpes por minuto (**véase figura 8**)



Posiciones y giros del tamiz

Después de cada 25 golpes se gira este conjunto 1/6 parte de una revolución. Este es el movimiento estándar. La duración del tamizado será más de más de un minuto.

13. Se tamiza la muestra hasta que a través de la malla no pase más de 0,05 g después de un cernido.

Este tiempo se determina aproximadamente a base de pruebas con una porción del material cuarteado antes de iniciar el ensayo.

14. Al terminar el tiempo de cernido, se pasa el retenido en el tamiz N° 200 (0,074mm) a un envase, y se pesa la porción de la muestra que no pasó el tamiz N° 200 (0,074mm).

Se debe anotar este peso en el formato de ensayo.

Por ejemplo: **Peso retenido, tamiz N° 200 (0,074mm) = 9,1 g**

Colocar un fondo limpio debajo de un tamiz N° 50 (0,29 mm), y distribuir encima de su malla esta porción ya pesada, es decir, el material retenido en el tamiz N° 200 (0,074mm).

15. Con el conjunto de tapa, tamiz N° 50 (0,29 mm), y fondo, repetir el método de cernido a mano.

16. Al terminar el tiempo de cernido, pasar el retenido en el tamiz N° 50 (0,29 mm) a un envase, y se debe pesar la porción de la muestra que no pasó el tamiz N° 50 (0,29mm), como se aprecia en la **figura 9**. Se debe anotar este peso en el formato de ensayo.

Por ejemplo: **Peso retenido, tamiz N° 50 (0,29mm) = 7,7g**

Colocar un fondo limpio debajo de un tamiz N° 30 (0,59 mm), y distribuir encima de su malla esta porción del material retenido en el material N° 50 (0,29 mm).

17. Repetir el método de cernido a mano, y anotar el peso del material retenido en el tamiz N° 30 (0,59 mm) en el formato de ensayo.

Por ejemplo: Peso **retenido, tamiz N° 30 (0,59 mm) = 2,6 g**

Al terminar esta última operación, se debe combinar de nuevo todo el material de la muestra para pesarlo y compararlo con el peso total inicial (*véase figura 10*).

18. También se puede usar el tamizador eléctrico. Se coloca la muestra en el tamiz superior del conjunto (10 mm) (*véase figura 11*) y se activa el tamizador por el tiempo previamente especificado.



Figura 9 Pesada de retenido por el tamiz N° 50



Figura 10 Pesada final del material



Figura 11 Tamizado eléctrico de la muestra

Nota 2: Si el resultado de la muestra no cumple con la especificación para el llenante mineral (Filler), se repite todo el ensayo con el método del cernido a mano.

El método a mano es la base para rechazar el material al no cumplir con las especificaciones.

CRITERIOS DE PRECISIÓN

Precisión	Valores de ensayo de resultados (%) en tamaño de la fracción ^A	Desviación Estándar (1d), (%) ^B	Rango de aceptabilidad de los resultados de ensayo (d2d), (%) ^B
Un solo operador	Menos de 2 Más de 2	0.14 0.7	0.5 ^C 2.0
Varios operadores	Menos de 2 Más de 2	0.17 1.0	0.5 2.8

A.- El porcentaje entre tamices consecutivos o porcentaje relacionado con el tamiz más grande, el N° 30 (0,59 mm) o porcentaje que pasa el menor de los tamices el N° 200 (0,074).

B.- Estos números representan respectivamente el primero y segundo límite como se describe en la norma C 670.

C.- El mínimo segundo es 0.5 % en este caso, cuando los resultados del ensayo están expresados en el más próximo 0.5%.

AO 604- Método de ensayo para determinar el contenido de ligante asfáltico en mezclas de pavimento (por medio de la centrifuga) y la granulometría de los agregados después de eliminar el ligante asfáltico

NORMA : A.S.T.M. D 2172

OBJETIVO : El objeto de este ensayo es describir el procedimiento para determinar el contenido de ligante asfáltico en las mezclas de pavimento y verificar la gradación de los agregados extraídos de mezclas bituminosas.

ALCANCE : Permite conocer en un diseño de mezcla asfáltica el porcentaje de ligante utilizado y el tipo de mezcla mediante su composición granulométrica.

DURACIÓN : Con práctica se puede hacer el ensayo en el Laboratorio en 72Hrs.

**EQUIPO
REQUERIDO** :



Figura 1 Equipos requeridos



Figura 2 Equipo requerido



Figura 3 Equipos requeridos



Figura 4 Equipo requeridos

Centrífuga.

- Horno capaz de mantener una temperatura regulada a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Mufla.
- Cápsulas de porcelanas (crisol).
- Filtros.
- Probeta graduada de 1000 ml.
- Probeta graduada de 100 ml.

- Espátulas.
- Brocha.
- Balanza con capacidad de 4kg.
- Plato caliente.
- Bidón con tapa para la colocación del solvente (xilol).
- Envase plástico con capacidad para 4 litros.
- Guantes de asbesto.
- Mascarilla.
- Pinzas sujetadoras.
- Tamices (1 ½", 1", 3/4, 1/2, 3/8, N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100 N° 200).
- Tamizadora eléctrica.
- Cepillo metálico.

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

1. Se recomienda tomar una muestra representativa cuando se está en campo o planta (*véase figura 5*).



Figura 5 Muestra representativa de material

2. En el laboratorio debe calentarse la mezcla en el tiempo suficiente como para poder remover con una cuchara de albañil. La temperatura de calentamiento no debe excederse de 110 °C.
3. Ya obtenida la muestra, se procede a cuartear el material con la cuchara de albañil, se debe utilizar dos bandejas para reducir las porciones por cuarteos, como se aprecia en la *figura 6*, hasta el peso requerido para el ensayo.



Figura 6 Cuarteo de la muestra de concreto asfáltico

Nota 1: La cantidad de la muestra para el ensayo se determinará según el tamaño máximo nominal del agregado en la mezcla (**véase tabla 1**).

Tabla 1 Tamaño máximo nominal del agregado

Tamaño nominal máximo de agregado (mm)	Peso mínimo de la muestra (kg)
4.75 (No 4)	0.5
9.5 3/8	1.0
12.5 1/2	1.5
19.0 3/4	2.0
25.0 (1")	3.0
37.5 (1 1/2")	4.0

- Se procede a colocar la porción obtenida mediante el cuarteo en una tara y se proceda a pesarla (**véase figura 7**).

Nota 2: Este dato se debe anotar como peso de mezcla.

- Se coloca el filtro para el ensayo en el horno a una temperatura de 105°C para evitar posible humedad en el filtro, por un periodo de 15 minutos (**véase figura 8**).
- Ya transcurrido el lapso de tiempo se procede a pesar el filtro, como se aprecia en la **figura 9** y se registra en la planilla como peso del filtro inicial en gramos.



Figura 7 Peso del material cuarteado



Figura 8 Colocación del filtro en el horn



Figura 9 Pesada del filtro

- Se distribuye uniformemente la muestra en el plato del equipo de centrifugación, teniendo precaución de que no haya pérdida de material (**véase figura 10**).

Nota 3: Cuando la muestra a ensayar sea mayor a la capacidad del equipo, divida la muestra y haga la extracción a cada una de las porciones de las misma.

Ejemplo 1: si el equipo tiene capacidad de 1.5 kg se hace la extracción de una muestra de 3 kg, en dos partes.

8. Se procede a añadir el solvente (Xileno) en la muestra colocada en el plato del equipo, como se aprecia en la **figura 11**.
9. Se agita la mezcla con una espátula para facilitar el desprendimiento del ligante de la misma como se aprecia en la **figura 12**.



Figura 10 Adición de la muestra en la centrífuga



Figura 11 Adición del solvente (Xileno) a la muestra



Figura 12 Agitación de la mezcla

10. Se deja sumergida la muestra con el solvente (Xileno) por un periodo máximo de una hora para disgregar la porción de muestra a ensayar (**véase figura 13**).

Nota 4: En el caso de que la mezcla sea reciente se puede dejar por un lapso de tiempo de (15 minutos).



Figura 13 Muestra en inmersión con solvente

11. Ya colocado el filtro y la tapa del equipo se inician las revoluciones gradualmente hasta un máximo de 3600 revoluciones por minuto, se le coloca el solvente y se anota la cantidad de ml. que se le está agregando a la muestra para registrarlo en la planilla, se repite el ciclo por lo menos tres veces o hasta que el solvente salga limpio o como un ligero color pajizo (**véase figura 14**).

Nota 4: Es recomendable que se destape el equipo, y se retire el filtro cuidadosamente evitando que se pierda material adherido en el mismo, se le coloca el solvente y se remueve con la espátula facilitando así el desprendimiento del ligante de la muestra.

12. Se desmonta la tapa del equipo y se procede a limpiar el filtro con una espátula, como se aprecia en la **figura 15**, para remover el material adherido en el mismo colocándolo en una tara.



Figura 14 Extracción del solvente de la centrifuga



Figura 15 Limpieza del filtro

13. Luego se procede a retirar la muestra ya ensayada del plato del equipo y se coloca en una tara como se aprecia en la **figura 16**.
14. Debe limpiarse el plato con una brocha evitando que no quede material adherido en el mismo como se aprecia en la **figura 17**.
15. Se procede a colocar el filtro y la muestra en el horno a una temperatura de 110 °C durante un periodo de 18 a 24 horas como se aprecia en la **figura 18**.



Figura 16 Colocación de la muestra ensaya en tara



Figura 17 Limpieza del plato de la centrifuga



Figura 18 Colocación de filtro y muestra en el horno

16. Se pesa la cápsula de porcelana (crisol) y se anotará en la planilla de ensayo como peso de crisol en gramos (**véase figura 19**).
17. Se recoge el total del líquido total extraído y se mide el volumen de la misma en una probeta graduada de 1000 ml (**véase figura 20**).
18. Se procede a agitar la probeta con liquido total extraído para homogeneizarlo (**véase figura 21**).



Figura 19 Pesada del crisol



Figura 20 Medida del volumen de alícuota de solvente extraído



Figura 21 Agitación de la probeta con la alícuota extraída

19. Se toma 50 ml. de la alícuota en una probeta de 100 ml, luego se coloca en una capsula de porcelana (crisol), como se aprecia en la **figura 22**.
20. Es recomendable colocar el crisol en un plato caliente para evaporar lo suficiente el líquido total extraído, para trasladarlo a la mufla, como se aprecia en la figura 23.
21. Ya evaporada la alícuota, se procede a colocar el crisol en la mufla, como se aprecia en la **figura 24**, a una temperatura de 500 °C – 600 °C. hasta que alcance un color de rojo sombra.



Figura 22 Adición de la alícuota de solvente en el crisol



Figura 23 Colocación de la muestra en un plato caliente



Figura 24 Colocación del crisol en la mufla

22. Se deja enfriar a temperatura ambiente en el desecador evitando así la presencia de polvo y la corriente de aire (**véase figura 25**).
23. Después de haber secado el filtro se pesa (**véase figura 27**) y se anota la lectura tomada en la planilla de ensayo como peso de filtro final en gramos.



Figura 25 Colocación de la muestra en el desecador



Figura 27 Peso del filtro

24. Se procede a pesar el crisol con el residuo, como se aprecia en la **figura 26**, se anota la lectura en la planilla de ensayo como peso de crisol + residuo en gramos.



Figura 26 Pesada del crisol con el residuo

25. Después de haber secado la muestra se pesa y se registra en la planilla de ensayo como peso del agregado en gramos (**véase figura 28**).



Figura 28 Peso de la muestra seca

AO 608- Método de ensayo para determinar las propiedades Marshall de las mezclas asfálticas en caliente (compactadas)

NORMA : AASHTO T245-97 /A.S.T.M. D 1559

ALCANCE : Este ensayo tiene por objeto describir el procedimiento que debe seguirse para determinar las Propiedades Marshall de las mezclas asfálticas en caliente (compactadas).

OBJETIVO : Este ensayo tiene por objeto describir el procedimiento que debe seguirse para determinar Las Propiedades Marshall de las mezclas asfálticas en caliente (compactadas).

Establecer los parámetros necesarios para determinar las cualidades y propiedades (estabilidad, fluencia, durabilidad, trabajabilidad, resistencia al deslizamiento) que debe tener la mezcla de pavimentación y seleccionar un tipo de agregado y un tipo compatible de asfalto que puedan combinarse para producir esas cualidades.

COMENTARIOS : El Método Marshall se establece con el propósito de agrupar una serie de parámetros que permitirán obtener datos capaces de garantizar y optimizar los valores de cemento asfáltico para una combinación de agregados determinados. El método igualmente nos provee de información sobre las propiedades de la mezcla y establece valores de densidades y contenido óptimo de vacío los cuales deben ser cumplidos según las especificaciones, durante la ejecución del diseño y la construcción del pavimento.

DURACIÓN : Con práctica se puede hacer el ensayo en el Laboratorio en tres días.

**EQUIPO
REQUERIDO**



Figura 1 Prensa Marshall



Figura 2 Equipo de compactación y extractor de muestras



Figura 3 Equipos para ensayo Marshall



Figura 4 Horno para ensayo Marshall

- Prensa para ensayo Marshall
- Anillo de carga y medidor (estabilidad).
- Medidor de deformaciones (flujo).
- Mordaza.
- Baño de María (regulador de temperatura) (véase figura 1).
- Equipo de compactación: moldes, placas de base, y collares de extensión. 3 martillos de compactación y un pedestal de compactación.
- Extractor de muestras (véase figura 2)
- Plato caliente eléctrico: (60X30 cm), mínimo y con regulador de temperatura.
- Termómetro: tipo dial: con escala hasta (240°C) y sensibilidad de (3°C)
- Papel parafinado (Filtros) (Véase Figura 3).
- Horno (Capacidad de 220 litros) (véase figura 4).
- Bandeja. 60 x 60 x 5 cm.
- Cronómetro
- Cuchara de granero.
- Cuchara de granero.
- Espátula.
- Guantes de asbesto.
- Cuchara de mezclado.
- Ponchera metálica para mezclado.
- Balanza de capacidad 4 kg.

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Luego de caracterizados los agregados y el ligante asfáltico se procede a definir la combinación de los agregados que participan en la mezcla, así como la estimación del porcentaje óptimo de ligante asfáltico aproximado.

1. Estimado del contenido de ligante de asfalto para estimar el contenido aproximado de ligante asfáltico de la mezcla que se pretende diseñar, se tomó como referencia la fórmula recomendada por el Instituto de Asfalto, la cual está basada en la distribución granulométrica de los agregados que participarán en la mezcla.

La fórmula es la siguiente:

$$P = 0,02a + 0,045b + 0,18c \quad (1)$$

Donde

- P: Porcentaje de ligante asfáltico requerido en la mezcla, expresado como porcentaje en peso total de agregados.
- a: Porcentaje de agregado retenido en el tamiz N° 10.
- b: Porcentaje de agregado que pasa el tamiz N° 10 y es retenida en el tamiz N° 200.
- c: Porcentaje de agregado que pasa en el tamiz N° 200.

2. Combinación de los agregados

La combinación de agregados, se lleva a cabo por el método del tanteo, en base a la granulometría de los agregados.

En principio se debe conocer la especificación granulométrica de la mezcla asfáltica que se desea diseñar.

Una vez definida esta, se procede a realizar los tanteos porcentuales con las granulometrías de los diferentes agregados que participan en las mezclas.

En el **ANEXO A**, se presenta un ejemplo de cómo realizar una combinación por tanteo.

3. Ejecución de ensayo

- 1) Ya realizado el cálculo de la combinación de los agregados se debe secar este en el horno, con un peso constante a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- 1) Una vez seco el material se procede separarlo a través de los tamices de 1" (25,4 mm), $\frac{3}{4}$ " (19,4 mm), $\frac{1}{2}$ " (12,5 mm), $\frac{3}{8}$ " (9,5 mm), N° 4 (4,74 mm), N° 8 (2,36 mm), (*véase figuras 5 y 6*).



Figura 5 Tamizado de los agregados



Figura 6 Agregados separados por los diferentes tamices

- 1) Posteriormente se debe pesar la cantidad de bache (*véase figura 7*), según el número de briquetas que se realizarán y de acuerdo al peso total de la mezcla, combinando los agregados de acuerdo a la granulometría determinada para la mezcla según las especificaciones.
- 1) Al tener elaboradas todas las pesadas para los diferentes % de Cemento Asfáltico (C.A.), se procede a colocarlas en el horno, como se aprecia en la *figura 8*, calentándolas a una temperatura de mezclado de $150\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- 1) Al llegar los agregados combinados a la temperatura de mezclado, se incorpora a cada bache el porcentaje de C.A correspondiente para cada uno como se aprecia en la **figura 9**.



Figura 7 Pesada de los agregados



Figura 8 Muestras introducidas en el horno



Figura 9 Adición del C.A. a los agregados

- 1) Se mezcla de tal manera que la combinación de agregados y C.A, se unan uniformemente. El mezclado no debe exceder de 3 minutos (**figura 10**). Si se utiliza un mezclador mecánico la operación no debe exceder de 1 minuto.
- 1) Simultáneamente con la preparación de la mezcla, el conjunto de collar, placa de base y la cara del martillo de compactación, se limpian y calientan en una plancha caliente a una temperatura entre 93° C y 149° C (**véase figura 11**).

Antes de verter la mezcla dentro del molde coloque un papel parafinado, esto para evitar que la mezcla se adhiera al molde (**véase figura 12**).



Figura 10 Mezcla de los agregados y C.A.



Figura 11 Calentamiento del equipo para compactar la mezcla



Figura 12 Colocación de papel parafinado en el molde

- 1) Luego de realizado el mezclado, manteniendo la temperatura especificada, se procede a colocar la mezcla dentro del molde Marshall (**véase figura 13**).
- 1) Una vez colocada la muestra se debe punzar la misma, 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en su interior, como se aprecia en la **figura 14**.
- 1) Luego se coloca otro papel parafinado encima de la muestra y a continuación se debe introducir el martillo Marshall dentro del molde para dar inicio a la compactación.
- 1) Aplíquese los golpes según las especificaciones, de acuerdo con el tráfico de diseño y empleándose el martillo de compactación de caída libre de 457mm (18") (**véase figura 15**).



Figura 13 Colocación de la mezcla dentro del molde Marshall



Figura 14 Punción de la muestra



Figura 15 Aplicación de golpes a la mezcla

La cantidad de golpes para la compactación se determinará de acuerdo al tipo de mezcla que se está diseñando, o sea tráfico alto, tráfico medio o tráfico lento (**véase tabla 1**)

- 1) Las briquetas una vez compactadas se deben dejar en los moldes mínimo dos horas, hasta que estas se enfríen a temperatura ambiente (**véase figura 16**).

Tabla 1 Especificación por tráfico de diseño.

Tipo de Trafico	N° de golpes por caras
Liviano	35
Mediano	50
Pesado	75

- 1) Seguidamente se extraen las briquetas de los moldes utilizando el extractor de muestras universal y se procede a enumerar las briquetas para identificar los contenidos de C.A. (**véase figura 17**)
- 1) Se determina la altura y el diámetro de cada una de las briquetas, utilizando para ello un vernier (**véase figura 18**), todo esto datos deben ser registrados en la planilla correspondiente.



Figura 16 Briquetas en reposo en los moldes



Figura 17 Identificación de briquetas



Figura 18 Medición de las briquetas

- 1) Enumerada todas las briquetas, se procede a determinar la densidad de cada una de ellas. La densidad de una briketa es la relación entre la masa en el aire de un volumen dado de un material permeable, a una temperatura especificada y la masa a la misma temperatura de un volumen igual al agua destilada.

4. Determinación de la densidad de la mezcla compactada

A continuación, se describe el procedimiento a seguir para determinar la densidad de la mezcla compactada:

- Peso en el aire:** En una balanza con apreciación de 0,01gr se determina el peso en el aire de la mezcla compactada (**véase figura 19**), este valor se anotará en la planilla correspondiente.
- Peso en agua:** Se sumerge la briqueta en el baño de agua de la balanza hidrostática durante un periodo de un minuto como se aprecia en la **figura 20** y se procede a registrar el peso de la briqueta en agua en la planilla.
- Peso saturado superficie seca:** Se extrae la briqueta del baño de agua de la balanza y rápidamente se seca superficialmente con un paño absorbente y se pesa nuevamente en el aire (**véase figura 21**). Se registra el valor obtenido en la planilla correspondiente.



Figura 19 Peso en el aire de la briqueta



Figura 20 Briqueta sumergida en agua



Figura 21 Peso de la briqueta saturada

Una vez tomadas las pesadas se procede a realizar los cálculos de densidades (**véase el ANEXO B**)

- Luego de determinada la densidad de cada una de las briquetas, se procede a colocarlas en el baño de maría a una temperatura de $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, por un periodo de 30 minutos (**véase figura 22**).
- Ya transcurrido los 30 minutos se procede a retirar las briquetas del baño de maría y con la ayuda de un paño absorbente se debe secar superficialmente cada briqueta.
- A continuación, se coloca centradamente la briqueta en la parte inferior de la mordaza, luego se debe montar la parte superior de la mordaza y colocar el conjunto de briqueta más mordaza en la prensa Marshall.
- El medidor de flujo se deberá colocar en la posición de uso sobre una de las barras guía, ajustándolo en cero mientras se mantiene firmemente contra la parte superior de la mordaza (**véase figura 23**).
- Con todo el equipo en posición se procede a aplicarle una carga a la briqueta a una tasa de deformación constante de 50,8 mm (2") por minuto, hasta que ocurra la falla o rotura (**véase figura 24**).



Figura 22 Briquetas en baño de María



Figura 23 Colocación de la briqueta en la prensa Marshall



Figura 24 Anillo de carga

- f) El punto de rotura se define por la carga máxima obtenida. El número total de libras necesarias para producir la rotura de la muestra a 60 °C se anota como Valor de Estabilidad Marshall. Mientras se realiza el ensayo de estabilidad, se debe mantener sujeto firmemente el medidor de deformaciones (Flujo) en posición sobre la barra guía y se retira cuando se obtiene la carga máxima, se lee y anota esta lectura, que es el Valor del Flujo (*véase figura 25*). Esto tendrá expresado en centésima de pulgadas (*Véase tabla ANEXO C*).

Nota 1: Proceso completo de determinación de la estabilidad y Flujo a partir del momento en que se saca la briqueta del baño de maría debe completarse en un periodo de 30 seg.



Figura 25 Sujeción del medidor de deformación

ANEXO A

A.1 COMBINACIÓN POR TANTEO

A continuación, se presenta un ejemplo de cómo realizar una combinación por tanteo:

Al obtener los % pasantes de la granulometría de cada uno de los materiales que van a ser usado en la mezcla asfáltica, se colocaran tal como se indica en la **tabla 2**.

Tabla 2 Granulometría de los agregado

AGREGADOS	PORCENTAJE (%)	(%) PASANTE											
		37,5 mm	25,4 mm	19,4 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,74 mm	2,36 mm	1,18 mm	0,60mm	0,30mm	0,15mm	0,074mm
		1 1/2"	1 "	3/4 "	1/2 "	3/8"	# 4	# 8	#16	# 30	# 50	# 100	# 200
Polvillo	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	87,4	72,6	57,0	44,7	34,2	24,8	18,1
Piedra(3/4)	100,0	100,0	72,7	25,3	12,7	1,3	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	
Arena	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	72,2	54,0	37,9	28,0	19,4	11,7	7,2	
Arrocillo	100,0	100,0	100,0	100,0	90,0	6,7	5,0	4,5	4,3	4,0	3,5	2,9	

Seguidamente se procede a iniciar la serie de tanteos, multiplicando los porcentajes escogidos, por cada uno de los (% pasantes) de las granulometrías de los materiales a utilizar. Generalmente se tiene por experiencia, una idea de los porcentajes a utilizar para iniciar los tanteos.

Tal como se indica en la **tabla 3**.

Al obtener los resultados de la multiplicación de los porcentajes escogidos, por los (% pasantes) de las granulometrías de los materiales a utilizar, se debe sumar los retenidos de cada uno de los materiales, para obtener la granulometría de la combinación.

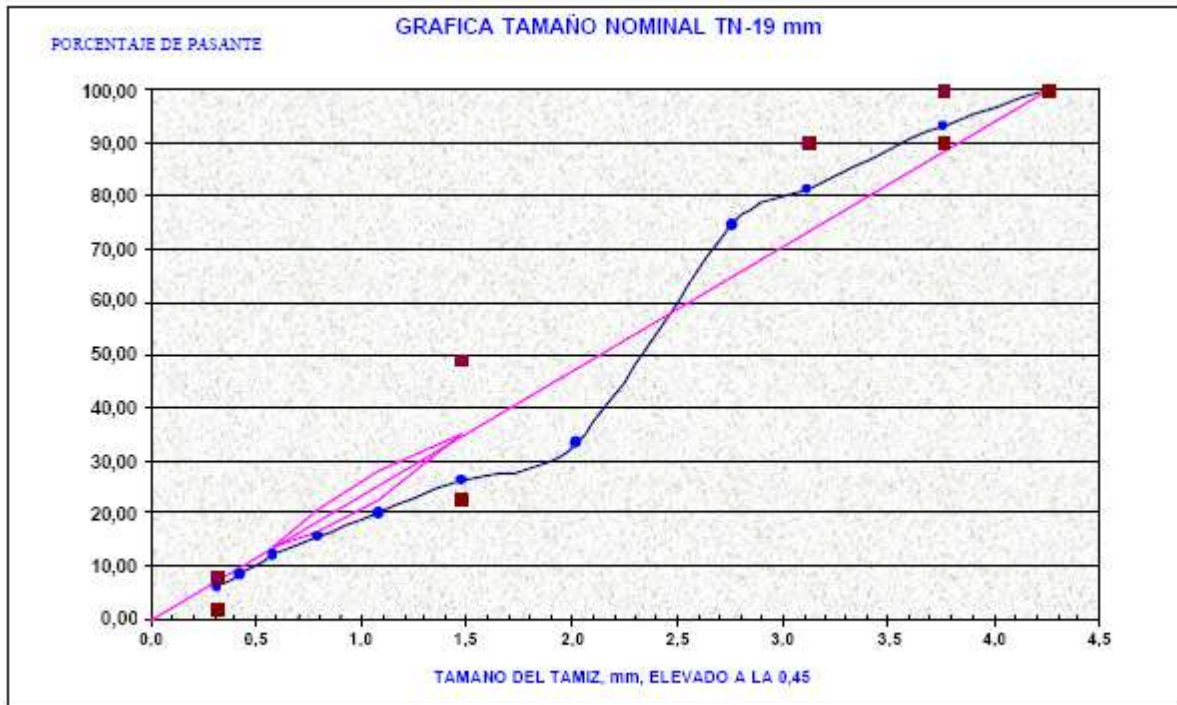
Luego se debe comprobar que los datos que se obtuvieron estén dentro de los límites especificados, tal como se indica en la **tabla 4**.

AGREGADOS	COMBINACION (%)	(%) PASANTE											
		37,5 mm	25,4 mm	19,4 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,74 mm	2,36 mm	1,18 mm	0,60mm	0,30mm	0,15mm	0,074mm
		1 1/2"	1 "	3/4 "	1/2 "	3/8"	# 4	# 8	#16	# 30	# 50	# 100	# 200
Polvillo	20,0%	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	17,5	14,5	11,4	8,9	6,8	5,0	3,6
Piedra(3/4)	25,0%	25,0	25,0	18,2	6,3	3,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Arena	18,0%	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	13,0	9,7	6,8	5,0	3,5	2,1	1,3
Arrocillo	37,0%	37,0	37,0	37,0	33,3	2,5	1,9	1,7	1,6	1,5	1,3	1,1	

Tabla 3 Combinación de agregados

Tabla 4 Granulometría de la combinación

PARAMETROS GRANULOMETRICOS DE LAS MEZCLAS TIPO (TN-19)		(%) PASANTE												
		37,5 mm	25,4 mm	19,4 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,74 mm	2,36 mm	1,18 mm	0,60mm	0,30mm	0,15mm	0,075mm	
		1 1/2"	1 "	3/4 "	1/2 "	3/8"	# 4	# 8	#16	# 30	# 50	# 100	# 200	
Puntos de Control	Superior	-	100	100	Max.90	-	-	49	-	-	-	-	8	
	Inferior	-	-	90	-	-	-	23	-	-	-	-	2	
Zona Restringida	Maximo	-	-	-	-	-	-	34,6	28,3	20,7	13,7	-	-	
	Minimo	-	-	-	-	-	-	34,6	22,3	16,7	13,7	-	-	
Combinación		100,0%	100,0	100,0	93,2	81,3	74,5	33,3	26,3	20,1	15,8	12,0	8,5	6,2
COVENIN (2000-87) PROVINCIAL		CUMPLE	-	-	OK	OK	-	-	OK	-	-	-	-	OK



Gráfica 1 CURVA GRANULOMETRICA

En la **tabla 5** se muestra como la curva granulométrica de la combinación cumple (**véase gráfica 1**), ya que la misma se encuentra dentro de los límites de las especificaciones.

Tabla 5 Resumen de la combinación

Datos:			
- Cantidad de Mezcla a Colocar en el Molde Marshall (gr)		1.200,00	
- (%) Mínimo de Asfalto a usar en el Diseño por el Método Marshall		4	
Asfalto (%)	Peso del Asfalto (gr)	Agregado (%)	Peso del Agregado (gr)
4,0	48,0	96,0	1.152,0
4,5	54,0	95,5	1.146,0
5,0	60,0	95,0	1.140,0
5,5	66,0	94,5	1.134,0
6,0	72,0	94,0	1.128,0

A.2 CÁLCULOS DE LA COMBINACIÓN	A.3 CÁLCULOS DE PESADA DE AGREGADOS
<ul style="list-style-type: none"> Peso Asfalto: Cantidad de mezcla a colocar en el molde Marshall por el porcentaje de asfalto. Ejm: $1200 \text{ g.} \times 4\% = 48 \text{ g.}$ Agregados: 100% total de la mezcla menos el porcentaje de asfalto. Ejm: $100\% - 4\% = 96 \%$. Peso del Agregado: Cantidad de mezcla a colocar en el molde Mashall menos el peso del asfalto. Ejm: $1200 \text{ g} - 48 \text{ g} = 1152 \text{ g.}$ <p>Nota 2: Véase tabla N.5</p>	<ul style="list-style-type: none"> El porcentaje escogido para la combinación menos el porcentaje pasante de la combinación, ese resultado se multiplica por la cantidad de mezcla asfáltica a colocar en el molde Marshall en este caso 1200 g. El resultado de la multiplicación se multiplica por el porcentaje de agregado en este caso 96%, para luego obtener el peso retenido de los agregados acumulados. Ejm: Paso N° 1: $20\% - 17,5\% = 2,5\%$ Paso N° 2: $1200 \text{ g.} \times 2,5\% = 30 \text{ g}$ Paso N° 3: $30 \text{ g.} \times 96\% = 29 \text{ g}$ Para calcular el pasa # 8 multiplicamos el peso del agregado por el porcentaje escogido para la combinación, tal como se indica en la tabla N° 6. Ejm: $1152 \text{ g.} \times 20\% = 230,4 \text{ g.}$

Cemento Asfáltico (%)	4,0							
AGREGADOS	Peso Retenido Acumulado (g.)							
	37,5 mm 1 1/2"	25,4 mm 1 "	19,4 mm 3/4 "	12,5 mm 1/2 "	9,5 mm 3/8"	4,74 mm # 4	2,36 mm # 8	1,18 mm Pasa #8
Polvillo						29,0	63,1	230,4
Piedra(3/4)			78,7	215,2	251,5	284,2	285,3	288,0
Arena						57,6	95,4	207,4
Arrocillo					42,6	397,7	404,9	426,2
								1.152,0

Tabla 6 pesadas de agregados (acumulado)

ANEXO B

Determinación de los cálculos para la densidad de la mezcla compactada.

<p>B.1 CÁLCULOS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Numeración de la briqueta según el porcentaje de cemento asfáltico. 2. Porcentaje de cemento asfáltico. 3. Altura de la briqueta. 4. Peso en aire de la briqueta. 	<ol style="list-style-type: none"> 5. Peso en agua de la briqueta. 6. Peso saturado superficie seca de la briqueta. 7. Volumen de las briquetas. (5 – 6) 8. Densidad de la mezcla compactada o briqueta. (4/7)
--	--

Briqueta No. (1)	Asfalto (%) (2)	Altura (cm) (3)	Peso en (gr)			Volumen (cm ³) (7)	Peso Unitario (g./cm ³) (8)
			Aire (4)	Agua (5)	Aire sss (6)		
1	4,00	6,33	1.221,3	702,8	1.222,9	520,1	2,348
2	4,00	6,34	1.224,2	704,9	1.226,0	521,1	2,349
3	4,00	6,34	1.227,1	706,4	1.228,4	522,0	2,351
Promedio	4,00						2,349

Tabla 7 Resumen de datos de pesadas de las briquetas

ANEXO C

Tabla 8 Resultados para la obtención del valor de flujo

Peso Unitario (g./cm ³) (1)	D.M.T. (Rice) (2)	Vacio Total (%) (3)	VAM (%) (4)	VII (%) (5)	Estabilidad Leída (Lbs) (6)	Factor de Corrección (7)	Estabilidad Corregida (Lbs) (8)	Flujo (0,01 pulg.) (9)
2,348					1.710	0.93	1.590	8
2,349					1.698	0.93	1.579	8
2,351					1.709	0.93	1.589	8
2,349	2,601	9,03	15,88	39,16			1.586	8

AO605- Método de ensayo para determinar la gravedad específica teórica máxima de la mezcla sin compactar (gmm)

NORMA : A.S.T.M. D 2041/95-

OBJETO : El objetivo de este ensayo es describir el procedimiento a seguir para la determinación de la gravedad máxima teórica, para establecer controles de calidad, en la elaboración y colocación de las mezclas de concreto asfáltico.

ALCANCE : Este método de ensayo da como resultado la existencia de valores correctos de (%) porcentajes de vacíos totales que afectan directamente a la calidad de la mezcla.

COMENTARIOS : Parámetros como el contenido de vacíos totales en el diseño de mezcla y el (%) porcentaje de compactación durante la colocación del concreto asfáltico, son controlados por medio de la gravedad máxima teórica (GMM).

DURACIÓN : Con práctica en el Laboratorio se puede hacer el ensayo en 4 Horas (en la elaboración de un diseño).

:

EQUIPO REQUERIDO



Figura 1 Horno



Figura 2 Equipos y materiales para el ensayo

Horno: Eléctrico con regulador de temperatura.

- **Bomba de vacío:** Capaz de extraer los vacíos de aire de la mezcla, a una presión de 30 mm de Hg.

- **Termómetros:** Termómetro de vidrio con un rango de $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ y termómetro tipo dial blindado con un rango de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $250\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- **Balanzas:** De 20 Kg. analógica o digital con resolución de 1 g y de 4 Kg digital con resolución de 0.01 g.
- **Lamina de vidrio.**
- **Tamiz:** de $\frac{1}{4}$ " (6,35 mm).
- **Misceláneos:** Taras de aluminio, cuchara, toallas absorbentes, bandejas de plásticos, lámina de goma.

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

El frasco a utilizar en el ensayo se pesará con agua a capacidad total a diferentes temperaturas, para elaborar una curva de calibración de peso del frasco más agua vs temperatura.

1. Primero se debe pesar el frasco más lámina de vidrio. Este valor se debe registrar como peso **A = (PESO DEL FRASCO + LAMINA DE VIDRIO).**(Véase figura 3).
2. Se procede a llenar el frasco a capacidad total con agua destilada o desmineralizada y posteriormente se mide su temperatura (véase figura 4).

Este valor se registra como peso:

B = (PESO DEL FRASCO MAS AGUA A CAPACIDAD TOTAL).



Figura 3 Pesada del frasco vacío



Figura 4 Frasco con agua destilada

3. Se enrasa el frasco con la lámina de vidrio evitando la formación de burbujas de aire, se seca y se pesa (véase figura 5).
4. Una vez determinada la combinación del diseño, se pesa el agregado combinado para realizar la mezcla (véase figuras 6).
5. El cemento asfáltico y los agregados combinados se calientan en un horno a temperatura constante no mayor de 160°C .

Nota 1: Cuando se realizan controles la muestra se obtiene en planta, luego se efectúa el cuarteo correspondiente y para así conseguir una muestra representativa, para ejecutar el ensayo.

6. Se va Agregando el peso del cemento asfáltico en porcentaje con respecto al peso del agregado (véase figura 7).

Nota 2: El peso de la muestra a ensayar, va a depender del tamaño nominal del agregado.



Figura 5 Pesada del frasco enrasado con agua



Figura 6 Peso de los agregados de la combinación



Figura 7 Adición del cemento asfáltico a la pesada



Figura Mezclado del Cemento asfáltico con los agregados

7. Luego, se mezcla el cemento asfáltico con los agregados combinados como se muestra en la **figura 8**. Si el mezclado es manual, el tiempo debe estar entre 1 a 3 minutos, si se emplea un mezclador mecánico, el tiempo de mezclado debe estar entre 45 y 60 segundos.
8. Una vez realizada la mezcla se coloca en una bandeja y se deja en reposo a temperatura ambiente (**véase figura 9**).
9. Una vez enfriado el material se tamiza la mezcla por el tamiz $1\frac{1}{4}$ " para obtener proporción de grueso y fino como se aprecia en la **figura 10**.
10. Ya tamizada la mezcla se obtiene la fracción gruesa y la fracción fina (**véase figura 11**).



Figura 9 Muestra dejada en reposo



Figura 10 Tamizado de la muestra



Figura 11 Fracción gruesa y fina tamizadas

11. Se procede al vaciado de la mezcla en el frasco, debiéndose colocar primero la fracción fina y luego la gruesa para evitar la suspensión de los finos y facilitar la extracción de los vacíos (**véase figura 12**).

12. Se pesa el frasco, mas vidrio, mas muestra (*véase figura 13*). Se registra este valor como peso **C (PESO DEL FRASCO, MÁS VIDRIO, MUESTRA)**
13. Se debe agregar agua a la mitad de la capacidad del frasco, para iniciar el vacío parcial de aire a una presión de 30 mm de Hg durante 15 minutos(*véase figura 14*).

El frasco debe agitarse por periodos de 2 a 3 minutos para facilitar la extracción de vacíos.



Figura 12 Vaciado de la mezcla en el frasco



Figura 13 Pesada del frasco, el vidrio y la muestra



Figura 14 Extracción de los vacíos de la mezcla

14. Al transcurrir los primeros 15 minutos, se agrega agua nuevamente y se repite el procedimiento antes mencionado (*véase figura 15*).
15. Se debe medir la temperatura después del vacío parcial para obtener referencia con respecto al peso **B (PESO DEL FRASCO, MÁS AGUAA CAPACIDAD TOTAL)**, como se aprecia en la *figura 16*.
16. Finalizado el proceso se enrasa el frasco con la lámina de vidrio, evitando la formación de burbujas de aire, se seca y se pesa el conjunto como se observa en la *figura 17*.



Figura 15 Extracción de los vacíos de la mezcla



Figura 16 Toma de temperatura de la muestra



Figura 17 Pesada del conjunto total

Este valor se registra como peso

$$E = (\text{PESO DEL FRASCO, MÁS VIDRIO, MÁS AGUA, MÁS MUESTRA})$$

(DESPUÉS DEL VACÍO PARCIAL)

17. Con los datos obtenidos se procede a realizar los cálculos correspondientes para obtener la gravedad específica máxima teórica.

Tabla 1 PESO MÍNIMO, REQUERIDO DE LA MUESTRA

Tamaño nominal máximo de agregado.		Peso mínimo de la muestra.	
4.7 Mm.	(No 4)	0.5 Kg.	500 gr.
9.5 Mm.	(3/8")	1.0 Kg.	1000 gr.
12.5 Mm.	(1/2")	1.5 Kg.	1500 gr.
19.0 Mm.	(3/4")	2.0 Kg.	2000 gr.
25.0 Mm.	(1")	3.0 Kg.	3000 gr.
37.5 Mm.	(1 1/2")	4.0 Kg.	4000 gr.

PRECISIÓN

Criterios para juzgar la aceptación de los resultados obtenidos mediante este método, se dan a continuación:

A) UN MISMO OPERADOR:

DESVEST = SIGMA < 0.0040

DIFERENCIA ENTRE DOS RESULTADOS ~ 0.0011

B) DIFERENTE OPERADOR:

DESVEST = SIGMA < 0.0064

DIFERENCIA DE DOS RESULTADOS ~ 0.019.

AO704- Método de ensayo para el diseño de mezclas asfálticas en frío utilizando emulsiones asfálticas

NORMAS DE REFERENCIA : Normas A.S.T.M. (American Society for Testing and Materials). Normas de Ensayo NLT, Normas A.A.S.H.T.O.,

OBJETIVO : El objeto de este ensayo es diseñar mezclas a ser usadas como capa base para vías con alto volumen de tráfico y como carpetas de rodamiento para vías con bajo volumen de tráfico.

MÉTODO : El Procedimiento adoptado es el propuesto por la Universidad de Illinois utilizando la metodología Marshall modificada, con cualquier grado de emulsión asfáltica y agregados de granulometría densa con tamaño máximo de 1" (25mm).

DURACIÓN : Se estima para la realización del ensayo un tiempo aproximado de Diecinueve (19) días.

EQUIPOS, ACCESORIOS Y MISCELÁNEOS REQUERIDOS :



Figura 1 Equipos y accesorios requeridos

- Balanza Hidrostática.
- Balanza de 2,6 Kg de capacidad y precisión de 0,1 g.
- Balanza de 5 Kg de capacidad y precisión de ± 0.5 g.
- Balanza de 20 Kg de capacidad y precisión de ± 1 g.
- Probeta graduada de 100ml de capacidad.
- Bomba de Vacío.
- Recipiente de fondo circular y capacidad de 5 litros para mezclas.
- Horno que permita mantener una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

- Termómetro graduado de 0 °C a 65 °C con precisión de 0,1 °C.
- Mezclador Mecánico.
- Extractor de briquetas.
- Desecador Pyrex.
- Fluxómetro.
- Vernier.
- Secador .
- Equipo Marshall de Compactación, compuesto por: Prensa Marshall, Mordaza, Molde con base y collar, pedestal de compactación, martillo de compactación de 10 lbs., y sujetador de molde con resorte a tensión.
- Cucharas para mezclar de acero con calibre grueso, longitud 12" y peso aproximado de 113 g.
- Accesorios como: espátulas punta redonda, brocha, guantes, marcadores.
- Filtros de papel parafinado.
- Bandejas de 35 cm x 20 cm para aireado de mezclas.

METODOLOGÍA DE ENSAYO

El método que se propone en el presente manual visualizado tiene como finalidad dar un procedimiento para el diseño de mezclas asfálticas en frío combinando agregados y emulsión en la construcción de pavimentos resistentes y estables, capaces de soportar la aplicación de cargas repetidas sin deformaciones ni roturas por efectos de fatiga.

ETAPAS DEL DISEÑO

- 1) Caracterización de los Agregados.
- 1) Caracterización de la Emulsión Asfáltica.
- 1) Determinación del % Óptimo Teórico de Emulsión a usar (C.A.T).
- 1) Ensayo de recubrimiento o Cobertura.
- 1) Determinación del Contenido óptimo de Humedad de Compactación.
- 1) Variación del Contenido de Asfalto Residual (C.A.R) en la Mezcla.
- 1) Análisis e Interpretación de los resultados de ensayo.
- 1) Selección del Contenido óptimo de Emulsión a usar en el Diseño.

DEFINICIÓN DE LAS ETAPAS DEL DISEÑO

1. Ensayos de Caracterización de los Agregados

Los ensayos necesarios para la caracterización de los agregados, no serán descritos en el procedimiento de diseño propuesto en este manual, por considerarse que los mismos aparecen detallados en los capítulos anteriores. .

La mineralogía de los agregados deberá conocerse con el fin de determinar el tipo de emulsión a diseñar.

Las pruebas de ensayos a las cuales deberán ser sometidos los agregados, para su caracterización son:

- Método de Prueba Estándar para el análisis por vía húmeda de agregados finos y gruesos, según el procedimiento descrito en la designación **ASTM C 117**.
- Método de Prueba Estándar para el análisis por cedazo de agregados finos y gruesos, según el procedimiento descrito en las designaciones **ASTM T27 y AASHTO T37**.
- Método de Prueba Estándar para determinar el Peso Unitario Suelto del agregado, de acuerdo al procedimiento descrito en la designación **ASTM C29 y AASHTO T19**.
- Método de Prueba Estándar para determinar la Gravedad Específica y Absorción del agregado grueso, de acuerdo al procedimiento descrito en las designaciones **A.S.T.M. C 127 y AASHTO T85**.
- Método de Prueba Estándar para determinar la Gravedad Específica y Absorción del agregado fino, de acuerdo al procedimiento descrito en las designaciones **A.S.T.M. C 128 y AASHTO T84**.
- Método de Prueba Estándar para determinar el valor del Equivalente de Arena en suelos y en agregado fino, de acuerdo al procedimiento descrito en las designaciones **A.S.T.M. D 2419 y AASHTO T176**.
- Método de Prueba Estándar para determinar la Resistencia a la Degradación por Abrasión e Impacto de los agregados gruesos utilizando la Máquina de los Ángeles, de acuerdo al procedimiento descrito en las designaciones **A.S.T.M. C 131 y AASHTO T96**.
- Método de Prueba Estándar para determinar la Estabilidad de los agregados ante la acción del Sulfato de Sodio o Sulfato de Magnesio, de acuerdo al procedimiento descrito en las designaciones **A.S.T.M. C 88 y AASHTO T104**.

El Agregado seleccionado para la elaboración de la Mezcla asfáltica debe ser: piedra picada, grava picada, arena, grava sin picar y polvillo en diferentes combinaciones (de acuerdo a la fórmula del diseño). Estos agregados deben proceder de rocas duras y resistentes, no debe tener arcilla en terrones ni como película adherida a los granos; y debe estar libre de todo material orgánico. La fracción gruesa del agregado no debe tener más del 5% de su peso, de trozos alargados o planos.

En los casos en los cuales se disponga en campo de agregados de tamaño máximo nominal de 1 1/2" (considerando que las normas permiten emplear estos agregados), si se desea utilizar la metodología de la Universidad de Illinois deberá realizarse la corrección granulométrica para adecuar los agregados al diseño propuesto.

2. Ensayos de Caracterización de la Emulsión Asfáltica

Al igual que los ensayos de caracterización de los agregados, estos ensayos no serán descritos en este manual, pero su consulta podrá realizarse a través del Anexo I.

Las pruebas de ensayo a los cuales deberá ser sometida la emulsión, para su caracterización son:

- 1) **Residuo por Destilación**, según designación **ASTM D 244**. Esta prueba tiene por objeto determinar las proporciones de agua y residuo asfáltico que contiene la emulsión. Se pueden realizar ensayos con el residuo asfáltico de la emulsión, por ejemplo: penetración, ductilidad, punto de inflamación, punto de ablandamiento.
- 1) **Residuo por Evaporación**, según designación **A.S.T.M. D 244**. Esta prueba se realiza con el propósito de determinar el residuo de las emulsiones asfálticas en porcentaje mediante evaporación rápida. Según estadísticas se dice que el residuo así obtenido da resultados de penetración y ductilidad inferiores a los que se obtienen con el residuo por destilación. Por su fácil ejecución y rapidez en el mismo, es el más utilizado para conocer la concentración de la emulsión y realizar cálculos de dosificación en campo.
- 1) **Sedimentación**, según designación **A.S.T.M. D 244**. El ensayo de sedimentación o asentamiento nos indica el grado de estabilidad que tienen las emulsiones durante su almacenamiento. Detecta la tendencia de los glóbulos de asfalto a sedimentarse prematuramente durante su almacenamiento. También nos sirve como indicador de la calidad de la emulsión. La prueba tiene una duración de cinco días. Cuando la emulsión se utiliza en una obra de gran movilidad, donde la emulsión se utiliza en menos de cinco días, se realiza la prueba de estabilidad en almacenamiento, que tiene una duración de 24 horas.
- 1) **Carga eléctrica**, según designación **A.S.T.M. D 244**. La prueba de carga eléctrica se realiza para identificar las emulsiones asfálticas Catiónicas y Aniónicas a través de su carga eléctrica. La prueba se lleva a cabo mediante la inmersión de dos electrodos, uno negativo (cátodo) y otro positivo (ánodo) en la muestra de emulsión.

Los electrodos estarán conectados a una fuente controlada de corriente continua. Al final de un período de tiempo especificado se observarán los electrodos para determinar si existe depósito en alguno de ellos. Una emulsión catiónica depositará una cantidad apreciable de asfalto sobre el cátodo o electrodo negativo, mientras que el ánodo o electrodo positivo se conservará relativamente limpio.

- 1) **Viscosidad Saybolt Furol**, según designación **A.S.T.M. D 244**. La viscosidad se define como la resistencia al flujo de un líquido, en el caso de las emulsiones, la prueba de viscosidad se toma como la medida de la consistencia. Los resultados se reportan en Saybolt-Furol segundos; en la realización de la prueba se emplean dos temperaturas que cubren el intervalo normal de trabajo, que son 25 °C y 50 °C.
- 1) **Retenido en malla N° 20**, según designación **A.S.T.M. D 244**. Esta prueba sirve como complemento a la prueba de sedimentación, tiene como propósito determinar cuantitativamente la cantidad de glóbulos de asfalto relativamente grande que pueden no haberse detectado en la prueba de sedimentación y que podrían obstruir el equipo de rociado, así como el espesor y la uniformidad de la película de asfalto sobre el agregado.

Adicionalmente el tamaño de los glóbulos de asfalto indica una buena o mala estabilidad de la emulsión al permanecer almacenada. Los glóbulos grandes indican también que la emulsión puede tener tendencia a sedimentarse y en consecuencia causar un rompimiento prematuro.

- 1) Determinación del Potencial de Hidrógeno (PH), según designación *ASTM D 244*.** El PH es una medida del grado de acidez y alcalinidad de la sustancia analizada; su valor oscila entre 0 y 14. Esta prueba le permite al laboratorista verificar la acidez o alcalinidad de la solución jabonosa, a fin de obtener los resultados deseados. Una misma emulsión se comporta de forma diferente según tenga un pH de 4,5 ó de 2,0. La primera tendrá una buena adhesividad, pero su rompimiento será muy rápido; la segunda tendrá una adhesividad dentro de los límites aceptables, pero su rompimiento será mucho más lento.
- 1) Miscibilidad con agua, según designación *A.S.T.M. D 244*.** Esta prueba tiene como finalidad investigar si las emulsiones de rotura media o lenta pueden mezclarse con agua. No es aplicable a emulsiones de rotura rápida. Después de adicionarle agua a la emulsión se procede a agitar la mezcla, se deja la muestra en reposo durante dos horas, luego de ese período de tiempo se examina visualmente para determinar una posible coagulación de los glóbulos de asfalto en la muestra.

Esta prueba es una medida de calidad del producto, además indica si la emulsión es capaz de mezclarse con agua o ser diluida en ella. Bastante a menudo se formará un depósito espeso de emulsión en el fondo del recipiente, si es pequeño, ello significará que la emulsión ha sido apropiadamente formulada y que las partículas en dispersión están en el intervalo del tamaño deseado.

Los materiales asfálticos que se pueden utilizar en la construcción de este tipo de mezclas son:

SS-1, SS-1h, CSS -1, y CSS-1h.

3. Método de Illinois

Esté método fue desarrollado en la Universidad de Illinois (E.E.U.U) por Michael Darter, Pactick Wilkey, Steven Ahlfield y Richard Wasill, en Febrero de 1978.

Este método de diseño para mezclas en frío emulsión asfáltica – agregado está basado en una investigación adelantada en la Universidad de Illinois usando el método de diseño de mezclas Marshall modificado y el ensayo de durabilidad húmeda. El método y los criterios de ensayo recomendados son aplicables a mezclas que contengan cualquier grado de emulsión asfáltica y agregado mineral con gradación densa y tamaños máximos de una pulgada (25 mm) o menos, que se vayan a emplear en capas de base en pavimentos con alto volumen de tráfico y para capas de rodamiento en pavimentos con bajo volumen de tráfico.

El objetivo del método es proveer una cantidad adecuada de asfalto residual que económicamente estabilice el material granular con el fin de dar la resistencia o estabilidad requerida para soportar las aplicaciones de carga repetidas (Compresión y Flexión) sin una deformación permanente excesiva o rotura por fatiga y volver la mezcla suficientemente resistente a los efectos de cambio de humedad.

Se recomienda este diseño para mezclas en vía o en planta preparadas a temperatura ambiente. El procedimiento intenta simular lo más aproximadamente posible las condiciones reales de campo.

Los resultados obtenidos a través de este método son bastantes confiables, sin embargo el nivel de confiabilidad final dependerá de la calidad de los materiales que participan en la mezcla.

4. Porcentaje Óptimo Teórico de Emulsión

El procedimiento necesario para obtener el porcentaje óptimo de emulsión, se realizará siguiendo el método propuesto por la Universidad de Illinois y haciendo uso de la planilla que se incluye en el Anexo II **“Fórmula de Illinois”**.

El Porcentaje Óptimo Teórico de Emulsión también puede ser calculado utilizando el Método de Duriez y por el Método de Ensayo C.K.E (Equivalente de Kerosene Centrifugado).

5. Ensayo de Cobertura

Basados en el contenido óptimo teórico del porcentaje de asfalto residual (CAR), se selecciona el tipo y grado de emulsión a ser utilizada, afectando a la selección, el tipo de agregado, contenido de agua del agregado, gradación y características de los finos, así como también el clima de la región durante el tiempo de construcción, tipo y proceso de mezcla, equipo de construcción y procedimientos de campo, factores estos últimos de importancia que se deben tomar en cuenta durante el período de construcción del pavimento.

El contenido de asfalto teórico determinado anteriormente en el proceso de diseño, se combina con el agregado seleccionado, estimando visualmente el área recubierta por el ligante. En la práctica de diseño es recomendable observar la facilidad de la emulsión para recubrir el agregado, el cual, normalmente es afectado por el contenido de agua de premezcla, sobre todo, aquellos materiales con alto contenidos de finos (pasante del tamiz No. 200) donde la insuficiente agua da como resultados mezclas formando grumos, lo cual incide en el recubrimiento y por tanto en las características de la mezcla. Esto da lugar a ejecutar el ensayo de recubrimiento con diferentes contenidos de humedad.

Por otra parte, aquellas emulsiones que no desarrollen sobre los agregados un suficiente cubrimiento no deberán ser utilizadas para realizar mezclas de prueba con los agregados seleccionados para determinar el tipo y grado de emulsión a usar en el proyecto.

6. Contenido Óptimo de Humedad de Compactación

En los proyectos de mezclas, hay que tomar en cuenta el % óptimo de agua a usar en la compactación, ya que su contenido define las propiedades de densificación de las muestras compactadas.

A partir del porcentaje óptimo de Humedad de Cobertura, se preparan muestras con diferentes contenido de humedad (generalmente se elaboran cinco muestras como mínimo con diferentes contenidos de humedad, comenzando a partir del valor del porcentaje óptimo de compactación y siguiendo de manera decreciente hasta completar el número de muestras). Posteriormente, estas muestras se compactan de acuerdo al procedimiento descrito en “El Método Modificado de Prueba para determinar la Resistencia y Fluencia Plástica de las mezclas bituminosas utilizando el Aparato Marshall”.

Se tomará como valor óptimo de Humedad de Compactación el valor de la muestra que presente mejor estabilidad.

7. Variación del Contenido de Asfalto Residual

El Contenido de asfalto residual en una muestra agregado-emulsión debe determinarse a través de una serie de ensayos sobre muestras con diferentes contenidos de asfalto. Generalmente, son suficientes cinco (5) muestras con una variación de 1% por vez, con

dos (2) incrementos por encima y dos (2) por debajo del óptimo teórico determinado previamente. Estas muestras se compactan, se someten a un curado dentro de un molde por 24 horas, se colocan en un horno a una temperatura de 38 °C, y una vez curadas son medidas para determinar su espesor.

Este ensayo requiere de la elaboración de treinta (30) briquetas (seis (6) briquetas por cada diferente contenido de asfalto residual, de las cuales quince (15) serán falladas al aire una vez determinada su densidad y quince (15) serán sometidas a un ensayo de inmersión y vacío parcial).

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

1. ENSAYO DE RECUBRIMIENTO

- Obtener las muestras a utilizar del agregado y emulsión y realizar las pruebas de caracterización correspondiente (*véase figura 2*).
- Secar el agregado en el horno y luego separarlo a través de los tamices 1" (25,4 mm), ¾" (19 mm), ½" (12,5 mm), 3/8" (9,5 mm) y No.4. (*véase figura 3*).
- Pesar varios baches de 1000 gr c/ u, combinando los agregados secos, de acuerdo a la granulometría del material a usar y colocar todo el contenido en el recipiente de mezclado, como se aprecia en la *figura 4*.



Figura 2 Agregado Seleccionados para el Diseño



Figura 3 Agregados Separados por Tamices



Figura 4 Pesado los Baches

- Incorporar el agua de premezcla, con relación al peso del agregado seco, mezclando hasta homogeneizar, como se aprecia la *figura 5*.
- Añadir lentamente la cantidad de emulsión determinada a través de la fórmula de Illinois.



Figura 5 Añadiendo el agua de pre-mezcla

Ecuación de Illinois:

$$E = 0.05A + 0,1B + 0,5C. \quad (1)$$

Donde:

- E: Es el % en peso de la Emulsión Asfáltica.
 - A: Es el % del agregado pasante del tamiz N° 1 y retenido en el N° 8.
 - B: Es el % del agregado pasante del tamiz N° 8 y retenido en el N° 200.
 - C: Es el % del agregado pasante del tamiz N°200.
- f) Mezclar en el mezclador mecánico la emulsión junto con el agregado durante un lapso de 30 seg. a 1 minuto. (El mezclado también puede realizarse de manera manual; en cuyo caso, el tiempo necesario para lograr un mezclado uniforme será de 1 a 3 minutos).
- g) Sumar la humedad de premezclado y la humedad que aporta la emulsión.
- h) Preparar nuevos baches y repetir el procedimiento descrito en los pasos No.1 hasta el No. 7; aumentando en 1% por cada vez la cantidad de agua hasta obtener una mezcla fluida (*véase figura 6*).



Figura 6 Pesando nuevos baches

- i) Dejar la mezcla a temperatura ambiente hasta eliminar totalmente el agua de mezclado. (Nótese la rotura de la emulsión al producirse el cambio de color negro a marrón en la mezcla).
- j) Calificar visualmente la apariencia de la mezcla por el mejor recubrimiento, cuando está no presenta aspecto pastoso.
- k) Estimar visualmente el recubrimiento del área superficial del agregado que se encuentra cubierta con asfalto.
- l) Registrar para cada contenido de agua de premezclado el recubrimiento.

Nota 1: Son aceptables recubrimientos mayores de 75% para carpetas de rodamiento y de 50% para mezclas a ser usadas como base.

2. CONTENIDO ÓPTIMO DE HUMEDAD INMEDIATAMENTE ANTES DE LA COMPACTACIÓN

- 1) Preparar tres (3) briquetas para cada diferente contenido de agua en la compactación.

Nota 2: Son suficientes cuatro (4) diferentes contenidos de agua, a intervalos de 1% por debajo de la humedad de mezclado.

- 2) Limpiar y lubricar el martillo de compactación y el molde con todas sus partes.
- 3) Pesar fracciones de agregado hasta obtener un peso de 1100 g.
- 4) Colocar los agregados que fueron pesados en un recipiente, en un área ventilada.
- 5) Determine el peso del agua a añadir, a través de la siguiente ecuación 2:

Peso del Agua añadida ($W_{\text{agua añadida}}$)

$$W_{\text{agua añadida}} = \frac{W_{\text{seco}} \times w_a}{100} \quad (2)$$

Donde:

$W_{\text{agua añadida}}$: es el peso del agua a añadir en relación a w_a y W_{seco} .

W_{seco} : es el peso del agregado seco en g.

w_a : es el Porcentaje de humedad a añadir al agregado antes del mezclado.

- 6) Calcular el peso de la emulsión, utilizando la ecuación (3):

Peso de la Emulsión ($W_{\text{Emulsión}}$)

$$W_{\text{Emulsión}} = \frac{W_{\text{seco}} \times E}{100} \quad (3)$$

$$E = \frac{C.A. \times 100}{C} \quad (4)$$

Donde:

$W_{\text{Emulsión}}$: es el peso de la emulsión.

W_{seco} : el peso del agregado seco en g.

E : es el porcentaje de la emulsión óptimo teórico.

$C.A.$: es el porcentaje de cemento asfáltico óptimo teórico.

C : es el Concentración del cemento asfáltico en la emulsión.

- 7) Calcular el peso de la Humedad a perder antes de compactar de acuerdo a la ecuación 5:

Peso de la Humedad a perder ($W_{\text{Aguaa Perder}}$)

$$W_{\text{Agua a Perder}} = \frac{W_{\text{seco}} \times (wt - wc)}{100} \quad (5)$$

Donde:

$W_{\text{Agua a Perder}}$: es el peso del agua a perder.

W_{seco} : es el peso del agregado seco en gr.

Wt : es el porcentaje de humedad total óptima de mezclado.

Wc : es el porcentaje de humedad al momento de compactar.

- 8) Colocar en el mezclador mecánico o en el recipiente disponible para el mezclado 1100 g de agregado.
- 9) Calcular la cantidad de agua a añadir para alcanzar el contenido óptimo de mezclado.
- 10) Calcule el volumen de agua a añadir en una probeta graduada y agréguela uniformemente mezclando por un tiempo de $1 \pm 0,5$ minutos sobre todo el material.
- 11) Añada la cantidad de emulsión calculada por la fórmula de Illinois.

Nota 3: Esta cantidad de emulsión se agrega sobre el agregado húmedo.

- 12) Mezclar la emulsión con el agregado durante un lapso de 30 segundos a 1 minuto.
- 13) Colocare el material una vez mezclado en una bandeja de tal forma que el espesor no sea mayor de 1" (25,4 mm), para llevar a cabo la aireación.
- 14) Pesar el recipiente con la muestra y registre este valor en la planilla de ensayo.
- 15) Restar el $W_{\text{agua a perder}}$ del peso de la mezcla más el recipiente.

Nota 4: el proceso de pérdida de humedad se puede realizar colocando la mezcla en un horno a una temperatura menor de 60 °C, pesando la muestra hasta peso constante.

- 16) Revolver constantemente la mezcla hasta alcanzar las condiciones de compactación.
- 17) Cuando la mezcla haya perdido toda el agua requerida, proceder a su compactación.
- 18) Colocar el molde con el disco de papel en el pedestal de compactación.
- 19) Verter la mezcla de la bandeja de aireado dentro del molde, sin segregar ni perder material (véase figura 7)
- 20) Punce la mezcla con una pequeña espátula 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces a en su interior (véase figura 8).

- 21) Colocar un disco de papel parafinado sobre la mezcla y proceda a compactarla con el martillo Marshall, dándole 50 golpes.
- 22) Retirar el collar y la base y aplicar el mismo número de golpes por la otra cara.
- 23) Repetir el proceso de compactación antes descrito con las demás briquetas. Luego, cuando se haya terminado con todas las briquetas, quitarles el collar, la base y el papel e identificarlas según el % de humedad de compactación (**véase figura 9**)



Figura 7 Vertiendo la mezcla



Figura 8 Punzando la Mezcla



Figura 9 Compactandola Mezcla

- 24) Curar las briquetas dentro del molde a temperatura ambiente por un lapso mínimo de dieciocho (18) horas.

Nota 5: La ventilación debe ser uniforme para ambas caras de la briketa.

- 25) Extraer las muestras dos horas (2) antes de proceder a colocarlas en el aparato Marshall.
- 26) Pesar y medir las briquetas antes de realizar el ensayo de estabilidad.
- 27) Colocar las briquetas en el aparato Marshall y determinar el valor de estabilidad para cada una, de acuerdo al procedimiento descrito en “El Método Modificado de Prueba para determinar la Resistencia y la Fluencia Plástica de las mezclas bituminosas usando el Aparato Marshall”.
- 28) Realizar con los valores obtenidos de las pruebas de estabilidad y el % de agua de compactación un gráfico.
- 29) Extraer del gráfico el máximo valor de estabilidad y reporte el contenido de humedad para este valor como el óptimo.

Nota 6: Este óptimo valor de humedad debe ser usado en todas las demás compactaciones.

3. VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE ASFALTO RESIDUAL

- 1) Preparar treinta (30) briquetas, seis por cada contenido de asfalto residual determinado a través de la fórmula de Illinois variando el valor del porcentaje óptimo teórico dos (2) puntos por debajo y dos (2) puntos por encima (**véase figura 10**).



Figura10 Briquetas elaboradas

- 1) Limpiar y lubricar el molde con todas sus partes y el martillo de compactación.
- 2) Pesar 1100 g de agregado seco por briqueta.
- 3) Colocar los agregados que fueron pesados en un recipiente, en un área ventilada.
- 4) Determinar el peso del agua a añadir a través de la ecuación descrita en la ecuación 2.
- 5) Calcular el peso de la emulsión, utilizando la ecuación 3.
- 6) Calcular el peso de la Humedad a perder antes de compactar; haciendo uso de la ecuación 5.
- 7) Colocar en el mezclador mecánico o en el recipiente disponible para el mezclado 1100 g de agregado.
- 8) Calcular la cantidad de agua a añadir, para alcanzar el contenido óptimo de mezclado y adicionar al agregado mezclando hasta que el agua se disperse uniformemente. Esto se logra en un lapso de un (1) minuto.
- 9) Agregar la cantidad de emulsión calculada por la fórmula de Illinois y mezclar durante un (1) minuto, hasta que la emulsión se disperse en todo el agregado.

Nota7: Esta cantidad de emulsión se agrega sobre el agregado húmedo.

- 10) Colocar el material una vez mezclado en una bandeja de tal forma, que el espesor no sea mayor de 1", para llevar a cabo la aireación y pesar el recipiente con la muestra.

Registrar este valor en la planilla de ensayo.

- 11) Restar el $W_{\text{agua a perder}}$ del peso de la mezcla más el recipiente.
- 12) Revolver constantemente la mezcla hasta alcanzar las condiciones de compactación.
- 13) Cuando se haya perdido toda el agua requerida, proceder a compactar la mezcla.

Nota 8: el proceso de pérdida de humedad se puede realizar colocando la mezcla en un horno a una temperatura menor de 60 °C, pesando la muestra hasta peso constante.

- 14) Colocar el molde con el disco de papel en el pedestal de compactación.

- 15) Verter la mezcla de la bandeja de aireado dentro del molde, sin segregar ni perder material.
- 16) Punzar la mezcla con una pequeña espátula 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en su interior.
- 17) Colocar un disco de papel parafinado sobre la mezcla y proceder a compactarla con un martillo Marshall, siguiendo cabalmente el procedimiento antes descrito.
- 18) Realizar el mismo procedimiento de curado de las briquetas antes señaladas, pero esta vez, someta a las briquetas luego de extraerlas del molde a un curado adicional por veinticuatro (24) horas dentro del horno a una temperatura de 38 °C (*véase figura 11*).



Figura 11 Muestras en Curado en Horno



Figura 12 Briquetas sometidas a Inmersión y Vacío Parcial

- 19) Determinar al aire una vez establecida su densidad la estabilidad y la fluencia de quince (15) de las briquetas elaboradas y someter las quince (15) restantes a un ensayo de inmersión y vacío parcial (*véase figura 12*).
- 20) Determinar según el procedimiento que se señala a continuación y que aparece descrito en las Normas ASTM.
 - Gravedad Específica Bulk.
 - Estabilidad Marshall y Flujo a la temperatura ambiente del laboratorio.
 - Estabilidad Marshall y Flujo, después de Inmersión.
 - Análisis de densidad y vacíos.
 - Humedad absorbida después de inmersión.
- 21) Sumergir las muestras restantes (3 por cada contenido de asfalto residual) en un desecador y aplique una presión de vacíos constante de 100 mm de mercurio (Hg) durante una (1) hora, presión la cual se disminuye en una hora adicional a razón de 25 mm de mercurio (Hg) cada quince (15) minutos, hasta llegar de nuevo a la presión atmosférica.
- 22) Sacar las briquetas del desecador, al lapso de tiempo de una (1) hora y ensayarlas en la prensa Marshall de acuerdo al Método de Prueba Modificado para determinar la Estabilidad y Flujo usando el aparato Marshall.

- 23) Determinar el peso de las briquetas, una vez que éstas hayan sido falladas y colóquelas en el horno para su secado por veinticuatro (24) horas a temperatura de 100 ± 5 °C.
- 24) Registrar los datos obtenidos en la planilla respectiva.
- 25) Determinar la pérdida de estabilidad comparando los valores obtenidos de las briquetas falladas al aire con los valores de las briquetas falladas después de inmersión y vacío parcial, utilizando la siguiente ecuación:

Pérdida de Estabilidad

$$PE(\%) = \frac{(S1+S2+S3) - (S4+S5+S6)}{S1+S2+S3} \times 100(6)$$

$$\frac{S1+S2+S3}{3}$$

3

Donde:

- S1, S2, S3: son los Valores de Estabilidad obtenido para las briquetas falladas al aire.
- S4, S5, S6: son los Valores de Estabilidad obtenido para las briquetas halladas después de inmersión y vacío parcial.

ANÁLISIS DE DENSIDAD Y VACÍOS

- 1) Determinar la Densidad Bulk de las briquetas en Kg/cm³.
- 2) Determinar los pesos específicos bulk de las diferentes fracciones del agregado a utilizar.
- 3) Determinar el peso específico del material bituminoso a emplear.
- 4) Determinar el contenido de humedad en la biqueta después de haber medido su estabilidad (K).
- 5) Determinar con los datos obtenidos, la gravedad específica bulk húmeda, a través de la ecuación 7:

Gravedad Específica Bulk

$$G = \frac{W_{\text{biqueta en el aire}}}{W_{\text{sss}} - W_{\text{agua}}} \quad (7)$$

Donde:

$W_{\text{biqueta en el aire}}$ es el peso de la biqueta en el aire.

W_{agua} es el peso de la biqueta en el agua.

W_{sss} es el peso S.S.S.

- 1) Determinar la gravedad específica Bula seca, a través de la ecuación 8:

Gravedad Específica Bulk Seca (Gd)

$$G_d = \frac{G \times (100 + A)}{(100 + A + K)} \quad (8)$$

$$D(\text{kg/m}^3) = G_d \times 1,000 \quad (9)$$

Donde:

- G : es la Gravedad Específica Bulk de la briqueta húmeda.
- D: es la Densidad Específica Bulk Seca.
- 1,000: es la Densidad del agua en Kg/m³ a 25 °C
- G_d: es la Gravedad Específica Bulk de la briqueta seca.
- A: es el residuo asfáltico contenido por la briqueta en porcentaje del peso del agregado seco.
- K: es el contenido de humedad en porcentaje de la briqueta ensayada con respecto al peso del agregado seco.

1) Determinar el contenido de humedad de a briqueta, a través de la ecuación 10:

Contenido de humedad de la briqueta (K)

$$K(\%) = \frac{(H-I) - (F-D)}{(I-J)} \times (100+A) \quad (10)$$

Donde:

- K: es el contenido de Humedad de la briqueta.
- H: es el peso de la briqueta fallada.
- I: es el Peso de la briqueta secada al horno.
- F: es el peso S.S.S.
- D: es el peso de la briqueta en el aire.
- J: es el peso del envase.
- A: es el contenido de asfalto residual en la mezcla.

1) Determinar los Vacíos Totales de la mezcla, a través de la ecuación 11:

Vacíos Totales (Vt %)

$$V_t(\%) = \frac{(100+A+K) - 100 - A}{C} \times \frac{B}{100} \quad (11)$$

100+A+K

- 1) Determinar la Absorción, haciendo uso de la ecuación 12.

Absorción (A)

$$A = \frac{K4+K5+K6}{3} - \frac{K1+K2+K3}{3} \quad (12)$$

Donde:

K1, K2, K3 es el contenido de humedad de la briqueta en condición seca.

K4, K5, K6 es el contenido de humedad de la briqueta saturada al vacío.

- 1) Una vez obtenidos los resultados de los ensayos para determinar las propiedades antes mencionadas, elabore los siguientes gráficos:
 - Gravedad Específica Bulk Vs Contenido de Asfalto Residual en %.
 - Estabilidad Seca y Humedad (en kg) Vs Contenido de Asfalto Residual en %.
 - Pérdida de Estabilidad en % Vs Contenido de Asfalto Residual en %.
 - Humedad absorbida en % Vs Contenido de Asfalto Residual en %.
 - Vacíos totales en % Vs Contenido de Asfalto Residual en %.
 - Flujo en 1/100" Vs Contenido de Asfalto Residual en %.

A partir de estos gráficos se obtiene el valor del contenido de asfalto óptimo necesario para completar el diseño; tomando en cuenta las siguientes recomendaciones:

- El contenido de asfalto óptimo debe ser aquel para el cual se obtenga una óptima estabilidad, cuando se realice el ensayo de estabilidad en condición sumergida, siempre que la diferencia de estabilidad después de la inmersión respecto a la prueba en seco, no sea excesiva.
- La mezcla cuyo contenido de asfalto que se considere óptimo debe poseer un valor de Vacíos Totales dentro de un rango de 2 a 8% (Según el señalado por las Normas).
- La absorción de humedad no debe ser mayor de 4%.

Finalmente el contenido óptimo de asfalto residual, será aquel que provea el mayor valor de estabilidad sumergida; siempre que este valor pueda ser ajustado por arriba o por debajo dependiendo de la Densidad Máxima seca Bulk de las briquetas ensayadas en seco, de la absorción de humedad, del % de vacíos totales y del cubrimiento del agregado.

"Todos estos criterios deben ser satisfechos en el momento de tomar la decisión"

ANEXO A.1

Porcentaje Teórico de Asfalto Residual

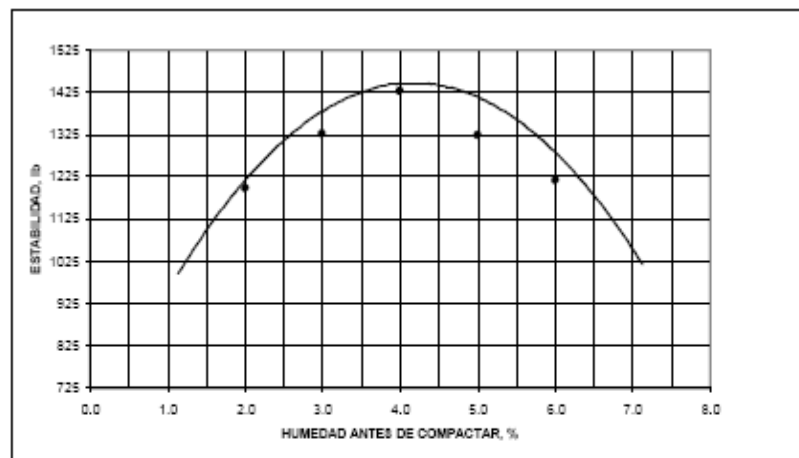
**DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE
 ÓPTIMO DE COMPACTACIÓN**

OBRA: DISEÑO MANUAL VISUALIZADO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO FECHA: 18/11/98

FUENTE DE AGREGADOS: _____

BRIQUETA Nº	ESPESOR cm	FACTOR CORREG. POR ESPESOR	% W ANTES DE COMPACTAR (A)	PESO BRIQUETA FALLADA g. (B)	PESO BRIQUETA FALLADA SECA, g (C)	PESO SECO AGREGADO g. (D)	% W DE COM. BRIG. FALLADA SECA, g (E)	% W PERDIDA POR COMPAC. Y CURADO (F)	ESTABILIDAD		
									MEDIDA lb	CORREGIDA lb	PROMEDIO lb
1	6.44	0.98	6.0	1164.2	1136.2	1078.0	2.60	3.40	1262.0	1237	1216
2	6.50	0.96		1170.5	1138.5	1080.2	2.96	3.04	1256.0	1206	
3	5.49	0.96		1171.4	1141.0	1082.5	2.81	3.19	1256.0	1206	
4	6.45	0.97	5.0	1159.9	1131.3	1073.3	2.66	1.34	1364.0	1323	1325
5	6.46	0.97		1163.3	1134.1	1076.0	2.71	1.29	1364.0	1323	
6	6.45	0.97		1165.1	1139.9	1081.5	2.33	1.67	1370.0	1329	
7	6.39	0.99	4.0	1158.3	1134.0	1075.9	2.26	0.74	1430.0	1416	1429
8	6.35	1.00		1150.0	1126.9	1069.2	2.16	0.84	1450.0	1450	
9	6.36	1.00		1155.5	1131.3	1073.3	2.25	0.75	1420.0	1420	
10	6.42	0.98	3.0	1148.9	1129.9	1112.1	1.71	0.29	1355.0	1328	1327
11	6.43	0.98		1151.8	1129.9	1112.1	1.97	0.03	1353.0	1326	
12	6.44	0.98		1153.3	1134.0	1116.1	1.73	0.27	1353.0	1326	
13	6.44	0.96	2.0	1142.9	1123.6	1105.9	1.75	0.25	1245.0	1195	1196
14	6.48	0.96		1148.7	1130.0	1112.2	1.68	0.32	1246.0	1196	
15	6.48	0.96		1136.2	1122.5	1104.8	1.24	0.76	1246.0	1196	

ASFALTO RESIDUAL % (G) 5.4
 EMULSION % 8.8
 ESTABILIDAD MAXIMA lb 1513
 W_{op} DE COMPACTACION, % 4
 PESO DEL AGREGADO SECO, g 1100
 $D = (C * 100) / (100 + G)$
 $E = (B - C) / (D / 100)$
 $F = A - E$



Rodolfo Liendo
 REALIZADO POR:

REVISADO POR:

DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE COBERTURA

OBRA: DISEÑO MANUAL VISUALIZADO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

FUENTE DE AGREGADOS: _____

BACHE MEZCLA Nº	ASFALTO RESIDUAL %	EMULSIÓN %	W _n AGREGADA %	HUMEDAD DESEADA %	AGUA A SER AÑADIDA		EMULSIÓN AÑADIDA, gr	PESO ACUMULADO DE LA MEZCLA, gr		COBERTURA MEZCLA %
					%	g		+AG	+AG+ EM	
1	5.40	8.80	0.00	4.00	0.60	6.60	98.80	1106.60	1203.40	60.00
2	5.40	8.80	0.00	5.00	1.60	17.60	98.80	1117.60	1214.40	70.00
3	5.40	8.80	0.00	6.00	2.60	28.60	98.80	1128.60	1225.40	80.00
4	5.40	8.80	0.00	7.00	3.60	39.60	98.80	1139.60	1236.40	OPTIMO
5	5.40	8.80	0.00	8.00	4.60	50.60	98.80	1150.60	1247.40	SATURADO

PESO AGREGADO SECO, gr

1100.00

PORCENTAJE TEORICO DE LA EMULSION, %

8.80

CONTENIDO DE AGUA EN LA EMULSIÓN, %

3.40

CONTENIDO DE ASFALTO RESIDUAL, %

5.40

OBSERVACIONES

Rodolfo Liendo - Angel Nieris
 REALIZADO

REVISADO

DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO RESIDUAL

OBRA: DISEÑO MANUAL VISUALIZADO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

FUENTE DE AGREGADOS: _____

MEZCLA Nº	ASFALTO RESIDUAL %	EMULSIÓN %	AGUA EN EMULSIÓN %	EMULSIÓN A SER AÑADIDA		AGUA A SER AÑADIDA		PESO ACUMULADO MEZCLA, g	AGUA A SER ELIMINADA		PESO FINAL ANTES DE COMPACTAR, g
				%	g	%	g		%	g	
1	3.40	5.60	2.20	5.60	61.60	3.80	41.80	1203.40	2.00	24.10	1179.30
2	4.40	7.20	2.80	7.20	79.20	3.20	35.20	1214.40	2.00	24.30	1190.10
3	5.40	8.90	3.50	8.90	97.90	2.50	27.50	1225.40	2.00	24.50	1220.90
4	6.40	10.50	4.10	10.50	115.50	1.90	20.90	1236.40	2.00	24.70	1211.70
5	7.40	12.10	4.70	12.10	133.10	1.30	14.30	1247.40	2.00	24.90	1222.50

PESO ESPECIFICO SECO, g

1100.00

HUMEDAD NATURAL DEL AGREGADO, %

0.00

HUMEDAD OPT. DE RECUBRIMIENTO, %

6.00

HUMEDAD OPTIMA DE COMPACTACIÓN, %

4.00

ASFALTO RESIDUAL EN LA EMULSIÓN, %

61.00

PORCENTAJE TEORICO DE ASFALTO RES, %

5.40

OBSERVACIONES

NOTA: TODOS LOS AGREGADOS SON HECHOS EN BASE AL PESO DEL AGREGADO SECO.

Rodolfo Liendo - Angel Nieris
 REALIZADO

REVISADO

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EMPLEANDO EMULSIONES

OBRA: DISEÑO MANUAL VISUALIZADO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

ASFALTO		MEZCLADO Y COMPACTACIÓN			
TIPO Y GRADO	css-lh	FECHA DE COMPACTACIÓN			
ASFALTO EN LA EMULSION, %	61.0	AGUA TOTAL DE LA MEZCLA, %*		6.0	
A ASFALTO RESIDUAL EN LA MEZCLA	7.40	AGUA AÑADIDA A LA MEZCLA, %**		1.30	
B PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO	1021	AGUA EN LA COMPACTACIÓN, %***		4.0	
ENSAYO (FECHA)		AGREGADO			
BRIQUETA SECA		FUENTE			
BRIQUETA SATURADA		TIPO	PROCESADO	C	Gsb 2638

DATOS DE LA BRIQUETA COMPACTADA		SECA			SATURADA AL VACIO		
		1	2	3	4	5	6
DENSIDAD DE LA BRIQUETA (BULK)							
D	PESO EN AIRE, g	1178.0	1177	1167			
E	PESO EN EL AGUA, g	643	641	638			
F	PESO S.S.S., g	1185.0	1184.0	1170.0			
G	DENSIDAD DE LA MEZCLA COMPACTADA, g/cm ³	2173	2168	2194			
Gd	DENSIDAD SECA DE LA MEZCLA COMPACTADA, g/cm ³	2121	2104	2160	ESPEORES		
VOLUMEN, cm ³		542	543	533	6.80	6.80	6.80
ESTABILIDAD MARSHALL							
DIAL		220	226	226	110	112	116
ESTABILIDAD LEIDA, lb		1181	1213	1213	591	601	623
L	ESTABILIDAD CORREGIDA, lb	1110	1140	1164	532	541	561
O	PERDIDA DE ESTABILIDAD, %	52.1					
FLUJO, 1/1000 in							
CONTENIDO DE HUMEDAD							
H	PESO DE BRIQUETA FALLADA	1181.8	1185.2	1169.6	1199.5	1206.4	1207.4
I	PESO DE BRIQUETA SECADA EN HORNO, g	1146.5	1143.4	1148.8	1156.8	1160.6	1166
J	PESO ENVASE, g						
K	CONTENIDO DE HUMEDAD, %	2.65	3.27	1.66	3.96	4.24	3.81
M	HUMEDAD ABSORBIDA, %	1.5					
N	VACIOS TOTALES MAXIMOS, %	10.8	11.6	9.2			
O	VACIOS LLENOS DE AGUA, %	5.2	6.4	3.3			
Q	VACIOS DE AIRE, %	5.6	5.2	5.8			

$$P = 100 + A + K$$

$$T = (L1 + L2 + L3) / 3$$

$$U = (L4 + L5 + L6) / 3$$

$$W = (K1 + K2 + K3) / 3$$

$$X = (K4 + K5 + K6) / 3$$

$$G = (D / (F - E))$$

$$Gd = G * (100 + A) / (100 + P)$$

$$VAM, \% = [(P / G - 100 / C) / (P / G)] * 100$$

$$N, \% = [(P / G - 100 / C - A / B) / (P / G)] * 100$$

$$K = [(H - I) - (F - D)] / (I - J) * (100 + A)$$

$$O, \% = [(T - U) / T] * 100$$

$$M, \% = W - X$$

* REFERIDO AL PESO DEL AGREGADO
 ** INCLUYE LA HUM. DEL AGREG. SECADO AL AIRE
 *** INMEDIATAMENTE ANTES DE COMPACTAR

RODOLFO LIENDO
 REALIZADO POR REVISADO

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EMPLEANDO EMULSIONES

OBRA: DISEÑO MANUAL VISUALIZADO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

ASFALTO			MEZCLADO Y COMPACTACIÓN			
TIPO Y GRADO	css-lh		FECHA DE COMPACTACIÓN			
ASFALTO EN LA EMULSION, %	61.00		AGUA TOTAL DE LA MEZCLA, % *		6.00	
A ASFALTO RESIDUAL EN LA MEZCLA	4.40		AGUA AÑADIDA A LA MEZCLA, % **		3.20	
B PESO ESPECIFICO DEL ASFALTO	1021.00		AGUA EN LA COMPACTACIÓN, % ***		4.00	
ENSAYO (FECHA)			AGREGADO			
BRIQUETA SECA			FUENTE			
BRIQUETA SATURADA			TIPO	PROCESADO	C	Gsb 2638

DATOS DE LA BRIQUETA COMPACTADA		SECA			SATURADA AL VACIO		
		1	2	3	4	5	6
DENSIDAD DE LA BRIQUETA (BULK)							
D	PESO EN AIRE, g	1144.10	1222.00	1143.80			
E	PESO EN EL AGUA, g	629.00	680.00	629.00			
F	PESO S.S.S., g	1150.00	1247.00	1149.00			
G	DENSIDAD DE LA MEZCLA COMPACTADA, g/cm ³	2195.97	2155.20	2199.62			
Gd	DENSIDAD SECA DE LA MEZCLA COMPACTADA, g/cm ³	2180.79	2171.46	2179.75	ESPEORES		
VOLUMEN, cm ³		520.00	566.00	520.00	6.44	6.50	6.50
ESTABILIDAD MARSHALL							
DIAL		316.00	320.00	316.00	237.00	232.00	336.00
ESTABILIDAD LEIDA, lb		1697.00	1718.00	1697.00	1272.00	1246.00	1267.00
L	ESTABILIDAD CORREGIDA, lb	1697.00	1259.00	1697.00	1247.00	1196.00	1216.00
O	PERDIDA DE ESTABILIDAD, %	21.36					
FLUJO, 1/1000 in							
CONTENIDO DE HUMEDAD							
H	PESO DE BRIQUETA FALLADA	1148.80	1244.50	1145.40	1184.60	1204.90	1198.10
I	PESO DE BRIQUETA SECADA EN HORNO, g	1135.00	1228.70	1129.90	1129.10	1148.10	1141.70
J	PESO ENVASE, g						
K	CONTENIDO DE HUMEDAD, %	0.73	-0.78	0.95	5.13	5.16	5.16
M	HUMEDAD ABSORBIDA, %	4.85					
N	VACIOS TOTALES MAXIMOS, %	11.81	12.19	11.86			
O	VACIOS LLENOS DE AGUA, %	1.52	-1.63	1.99			
Q	VACIOS DE AIRE, %	10.30	13.82	9.87			

$$P = 100 + A + K$$

$$T = (L1 + L2 + L3) / 3$$

$$U = (L4 + L5 + L6) / 3$$

$$W = (K1 + K2 + K3) / 3$$

$$X = (K4 + K5 + K6) / 3$$

$$G = (D / (F - E))$$

$$Gd = G(100 + A) / (100 + P)$$

$$VAM, \% = [(P / G - 100 / C) / (P / G)] * 100$$

$$N, \% = [(P / G - 100 / C - A / B) / (P / G)] * 100$$

$$K = [(H - I) - (F - D)] / (I - J) * (100 + A)$$

$$O, \% = [(T - U) / T] * 100$$

$$M, \% = W - X$$

* REFERIDO AL PESO DEL AGREGADO
 ** INCLUYE LA HUM. DEL AGREG. SECADO AL AIRE
 *** INMEDIATAMENTE ANTES DE COMPACTAR

Rodolfo Liendo
 REALIZADO POR

REVISADO

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EMPLEANDO EMULSIONES

OBRA: DISEÑO MANUAL VISUALIZADO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

ASFALTO			MEZCLADO Y COMPACTACIÓN			
TIPO Y GRADO		css-lh	FECHA DE COMPACTACIÓN			
ASFALTO EN LA EMULSION, %		61.00	AGUA TOTAL DE LA MEZCLA, % *			6.00
A	ASFALTO RESIDUAL EN LA MEZCLA	5.40	AGUA AÑADIDA A LA MEZCLA, % **			2.50
B	PESO ESPECIFICO DEL ASFALTO	1021.00	AGUA EN LA COMPACTACIÓN, % ***			4.00
ENSAYO (FECHA)			AGREGADO			
BRIQUETA SECA			FUENTE			
BRIQUETA SATURADA			TIPO	PROCESADO	C	Gsb
						2638

DATOS DE LA BRIQUETA COMPACTADA		SECA			SATURADA AL VACIO		
		1	2	3	4	5	6
DENSIDAD DE LA BRIQUETA (BULK)							
D	PESO EN AIRE, g	1151.60	1160.40	1118.40			
E	PESO EN EL AGUA, g	634.00	639.00	623.00			
F	PESO S.S.S., g	1157.00	1167.00	1137.00			
G	DENSIDAD DE LA MEZCLA COMPACTADA, g/cm ³	2201.91	2197.73	2175.88			
Gd	DENSIDAD SECA DE LA MEZCLA COMPACTADA, g/cm ³	2188.12	2182.36	2167.27	ESPESORES		
VOLUMEN, cm ³		523.00	523.00	514.00	6.55	6.60	6.55
ESTABILIDAD MARSHALL							
DIAL		360.00	358.00	362.00	284.00	288.00	282.00
ESTABILIDAD LEIDA, lb		1933.00	1922.00	1944.00	1525.00	1546.00	1514.00
L	ESTABILIDAD CORREGIDA, lb	1856.00	1845.00	1944.00	1434.00	1453.00	1438.00
O	PERDIDA DE ESTABILIDAD, %	23.38					
FLUJO, 1/1000 in							
CONTENIDO DE HUMEDAD							
H	PESO DE BRIQUETA FALLADA	1155.30	1165.00	1131.50	1182.10	1186.20	1211.40
I	PESO DE BRIQUETA SECADA EN HORNO, g	1142.70	1150.30	1108.50	1155.10	1145.00	1152.70
J	PESO ENVASE, g						
K	CONTENIDO DE HUMEDAD, %	0.66	0.74	0.42	2.46	3.79	5.37
M	HUMEDAD ABSORBIDA, %	3.27					
N	VACIOS TOTALES MAXIMOS, %	10.32	10.56	11.18			
O	VACIOS LLENOS DE AGUA, %	1.38	1.54	0.86			
Q	VACIOS DE AIRE, %	8.94	9.02	10.32			

$$P = 100 + A + K$$

$$T = (L1 + L2 + L3) / 3$$

$$U = (L4 + L5 + L6) / 3$$

$$W = (K1 + K2 + K3) / 3$$

$$X = (K4 + K5 + K6) / 3$$

$$G = (D / (F - E))$$

$$Gd = G * (100 + A) / (100 + P)$$

$$VAM, \% = [(P / G - 100 / C) / (P / G)] * 100$$

$$N, \% = [(P / G - 100 / C - A / B) / (P / G)] * 100$$

$$K = [(H - I) - (F - D)] / (I - J) * (100 + A)$$

$$O, \% = [(T - U) / T] * 100$$

$$M, \% = W - X$$

* REFERIDO AL PESO DEL AGREGADO
 ** INCLUYE LA HUM. DEL AGREG. SECADO AL AIRE
 *** INMEDIATAMENTE ANTES DE COMPACTAR

Rodolfo Liendo
 REALIZADO POR

REVISADO

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EMPLEANDO EMULSIONES

OBRA: DISEÑO MANUAL VISUALIZADO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

ASFALTO			MEZCLADO Y COMPACTACIÓN			
TIPO Y GRADO		css-lh	FECHA DE COMPACTACIÓN			
ASFALTO EN LA EMULSION, %		61.00	AGUA TOTAL DE LA MEZCLA, % *			6.00
A	ASFALTO RESIDUAL EN LA MEZCLA	6.40	AGUA AÑADIDA A LA MEZCLA, % **			1.90
B	PESO ESPECIFICO DEL ASFALTO	1021.00	AGUA EN LA COMPACTACIÓN, % ***			4.00
ENSAYO (FECHA)			AGREGADO			
BRIQUETA SECA			FUENTE			
BRIQUETA SATURADA			TIPO	PROCESADO	C	Gsb
						2638

DATOS DE LA BRIQUETA COMPACTADA		SECA			SATURADA AL VACIO		
		1	2	3	4	5	6
DENSIDAD DE LA BRIQUETA (BULK)							
D	PESO EN AIRE, g	1161.80	1160.30	1163.50			
E	PESO EN EL AGUA, g	639.00	638.00	639.00			
F	PESO S.S.S., g	1171.00	1166.00	1174.00			
G	DENSIDAD DE LA MEZCLA COMPACTADA, g/cm ³	2183.83	2197.54	2174.77			
Gd	DENSIDAD SECA DE LA MEZCLA COMPACTADA, g/cm ³	2159.24	2177.06	2148.03	ESPESORES		
VOLUMEN, cm ³		532.00	527.00	535.00	6.66	6.68	6.70
ESTABILIDAD MARSHALL							
DIAL		290.00	292.00	288.00	136.00	140.00	138.00
ESTABILIDAD LEIDA, lb		1557.00	1568.00	1546.00	730.00	752.00	741.00
L	ESTABILIDAD CORREGIDA, lb	1495.00	1505.00	1484.00	679.00	699.00	682.00
O	PERDIDA DE ESTABILIDAD, %	54.06					
FLUJO, 1/1000 in							
CONTENIDO DE HUMEDAD							
H	PESO DE BRIQUETA FALLADA	1172.60	1164.40	1173.60	1211.70	1200.50	1205.20
I	PESO DE BRIQUETA SECADA EN HORNO, g	1150.30	1147.90	1148.80	1160.40	1169.20	1164.70
J	PESO ENVASE, g						
K	CONTENIDO DE HUMEDAD, %	1.21	1.00	1.32	4.70	2.85	3.70
M	HUMEDAD ABSORBIDA, %	2.57					
N	VACIOS TOTALES MAXIMOS, %	10.35	9.61	10.82			
O	VACIOS LLENOS DE AGUA, %	2.46	2.05	2.67			
Q	VACIOS DE AIRE, %	7.89	7.56	8.14			

$$P = 100 + A + K$$

$$T = (L1 + L2 + L3) / 3$$

$$U = (L4 + L5 + L6) / 3$$

$$W = (K1 + K2 + K3) / 3$$

$$X = (K4 + K5 + K6) / 3$$

$$G = (D / (F - E))$$

$$Gd = G * (100 + A) / (100 + P)$$

$$VAM, \% = [(P / G - 100 / C) / (P / G)] * 100$$

$$N, \% = [(P / G - 100 / C - A / B) / (P / G)] * 100$$

$$K = [(H - I) - (F - D)] / (I - J) * (100 + A)$$

$$O, \% = [(T - U) / T] * 100$$

$$M, \% = W - X$$

* REFERIDO AL PESO DEL AGREGADO
 ** INCLUYE LA HUM. DEL AGREG. SECADO AL AIRE
 *** INMEDIATAMENTE ANTES DE COMPACTAR

Rodolfo Liendo
 REALIZADO POR

REVISADO

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EMPLEANDO EMULSIONES

OBRA: DISEÑO MANUAL VISUALIZADO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

ASFALTO			MEZCLADO Y COMPACTACIÓN			
TIPO Y GRADO		css-lh	FECHA DE COMPACTACIÓN			
ASFALTO EN LA EMULSION, %		61.00	AGUA TOTAL DE LA MEZCLA, %*			6.00
A	ASFALTO RESIDUAL EN LA MEZCLA	5.40	AGUA AÑADIDA A LA MEZCLA, %**			2.50
B	PESO ESPECIFICO DEL ASFALTO	1021.00	AGUA EN LA COMPACTACIÓN, %***			4.00
ENSAYO (FECHA)			AGREGADO			
BRIQUETA SECA		03/12/98	FUENTE			
BRIQUETA SATURADA		03/12/98	TIPO	PROCESADO	C	Gsb
						2638

DATOS DE LA BRIQUETA COMPACTADA		SECA			SATURADA AL VACIO		
		1	2	3	4	5	6
DENSIDAD DE LA BRIQUETA (BULK)							
D	PESO EN AIRE, g	1151.60	1160.40	1118.40			
E	PESO EN EL AGUA, g	634.00	639.00	623.00			
F	PESO S.S.S., g	1157.00	1167.00	1137.00			
G	DENSIDAD DE LA MEZCLA COMPACTADA, g/cm ³	2202.00	2198.00	2176.00			
Gd	DENSIDAD SECA DE LA MEZCLA COMPACTADA, g/cm ³	2188.00	2182.00	2167.00	ESPEORES		
VOLUMEN, cm ³		523.00	523.00	514.00	6.55	6.60	6.55
ESTABILIDAD MARSHALL							
DIAL		360.00	358.00	362.00	284.00	288.00	282.00
ESTABILIDAD LEIDA, lb		1933.00	1922.00	1944.00	1525.00	1546.00	1514.00
L	ESTABILIDAD CORREGIDA, lb	1856.00	1845.00	1944.00	1434.00	1453.00	1438.00
O	PERDIDA DE ESTABILIDAD, %	23.40					
FLUJO, 1/1000 in							
CONTENIDO DE HUMEDAD							
H	PESO DE BRIQUETA FALLADA	1155.30	1165.00	1131.50	1182.10	1186.20	1211.40
I	PESO DE BRIQUETA SECADA EN HORNO, g	1142.70	1150.30	1108.50	1155.10	1145.00	1152.70
J	PESO ENVASE, g						
K	CONTENIDO DE HUMEDAD, %	0.66	0.74	0.42	2.46	3.79	5.37
M	HUMEDAD ABSORBIDA, %	3.27					
N	VACIOS TOTALES MAXIMOS, %	10.32	10.55	11.17			
O	VACIOS LLENOS DE AGUA, %	1.38	1.54	0.86			
Q	VACIOS DE AIRE, %	8.94	9.01	10.31			

$$P = 100 + A + K$$

$$T = (L1 + L2 + L3) / 3$$

$$U = (L4 + L5 + L6) / 3$$

$$W = (K1 + K2 + K3) / 3$$

$$X = (K4 + K5 + K6) / 3$$

$$G = (D / (F - E))$$

$$Gd = G * (100 + A) / (100 + P)$$

$$VAM, \% = [(P / G - 100 / C) / (P / G)] * 100$$

$$N, \% = [(P / G - 100 / C - A / B) / (P / G)] * 100$$

$$K = [(H - I) - (F - D)] / (I - J) * (100 + A)$$

$$O, \% = [(T - U) / T] * 100$$

$$M, \% = W - X$$

* REFERIDO AL PESO DEL AGREGADO
 ** INCLUYE LA HUM. DEL AGREG. SECADO AL AIRE
 *** INMEDIATAMENTE ANTES DE COMPACTAR

Rodolfo Liendo
 REALIZADO POR

REVISADO

ANEXO A.2

Diseño de Mezclas Asfálticas en frío

PORCENTAJE TEORICO DE ASFALTO RESIDUAL.

(Método del Factor de Superficie Especifica (Duriez). Fórmula de Illinois).

OBRA:

% RET. Nº.8, A	
% PAS Nº. 8 y RET. Nº 200, B	
% PAS Nº.200, C	

PORCENTAJE DE EMULSIÓN, %E	
% C.A TEÓRICO ASUMIDO	
PORCENTAJE DE C. ASFÁLTICO, %C.A	

PESO ESP. DEL MATERIAL PÉTREO, P	
FACTOR, F.D	

DIÁMETRO MAYOR, D (mm)	
DIÁMETRO MENOR, d (mm)	
FACTOR DE SUP. ESPECIFICA, F.S.E	

Tamiz No.	Tamiz mm.	F.S.E	% Ret. Parc.	F.S.E * % Ret.
1"	25.400	0.081		
3/4"	19.100	0.1135		
1/2"	12.200	0.1638		
3/8"	9.550	0.2316		
No.4	4.760	0.3708		
No.8	2.380	0.7428		
No.30	0.590	2.1097		
No.50	0.297	5.9722		
No.100	0.149	11.8842		
No.200	0.074	23.8084		
Pasa200		130.0000		
				S

VALORES DE K.		
MEZCLA	NORMA	K
LECHADA	AL-2	4,4 - 4,5
	AL-3	4,5 - 4,8
	AL-4	4,9 - 5,1
DENSA		3,7 - 4,0
GRAVA-EMULSIÓN		2,5 - 3,5
ABIERTA	ROD.	3,5 - 3,7
	OTROS.	2,5 - 2,7
ARENA-EMULSIÓN		3,2

OBSERVACIONES

COEFICIENTE, K	
PORCENTAJE DE C. ASFÁLTICO, % C.A.	
CONCENTRACIÓN, C	
PORCENTAJE DE EMULSIÓN, % E	

REALIZADO _____

REVISADO _____

BIBLIOGRAFÍA

*Para el Desarrollo de las **Especificaciones de Materiales de Construcción y Mantenimiento**, se realizaron los Estudios como Normas Base al:*

MANUAL DE CARRETERAS DE BOLIVIA

Gobierno de Bolivia. Administradora Boliviana de Carreteras

Edición: APIA XXI – Ingenieros y Arquitectos Consultores.

Fecha de Edición: Febrero 2.008

MANUAL Y PLANILLAS DE ENSAYOS DE SUELOS, AGREGADOS, ASFALTO Y CONCRETO DE VENEZUELA.

Gobierno de Venezuela. Ministerio de Infraestructura

Fundación de Laboratorio Nacional de Vialidad

FUNFALANAVIAL- Noviembre 2.003

MANUAL DE ENSAYOS DE MATERIALES PARA OBRAS VIALES (EM-200)

República del Perú. Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción y la Dirección General de Caminos.

ICG – Instituto de la Construcción y Gerencia

Segunda Edición – Lima 2.000

También se revisó las normativas e informes vigentes:

AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials.

Guide for Design of Pavement Structures and 1998 Supplement.

ASTM –American Society for Testing and Materials.

Standards International, USA 2000

Un Manual Básico de Emulsiones Asfálticas.

Germán, A y otros - 1era edición

Colombia – 1993

Emulsiones Asfálticas.

Espinal, R. - Su control en obras y aplicaciones. s/e.

Falcón - 1995

Anderson, J. (1975). Asphalt Emulsions in Paving Mixes: Open graded and Dense graded. (s/e). Asphalt Emulsion L Association.

Ban, S. Y Hardin, J (1978). The Properties of Asphalt Emulsion Residue. (s/e). Atlanta: The Asphalt Institute, College Park, Maryland.

Coyne, L y Ripple, R. (1975). Emulsified Asphalt Mix Design and Construction.(s/e). Washington, D.C: Transportation Reserch Board Meeting.

Dybalski, J. (1975). Asphalt Emulsions.(s/e). Iowa: Iouwa Asphalt Paving Conference.

Epps, J y otros (1977). Use of Asphalt Emulsions in Pavement Recycling.(s/e). Phoenix: Asphalt Emulsion Manufacturers Association.

Espinal, R. (1995). Emulsiones Asfálticas. Su control en obras y aplicaciones. s/e. Falcón: s/e.

Ferm, R y Borgfeldt M (S/F). Cationic Mixing Grade Emulsions. (s/e). U.S.A: Highway Reserch Board.

Germán, A y otros (1993). Un Manual Básico de Emulsiones Asfálticas. (1era edición). Colombia: s/e.

Huffman, J. (1975). Emulsified Asphalt in Paving and Maintenance. (s/e).

Toronto: Canadian Technical Asphalt Association.

Kari, W. (1975). Emulsified Asphalt: Properties and uses. (s/e). U.S.A: Chevron Asphalt Company.

Kennedy, D. (S/F). Emulsion Basics – Mixes. (s/e). Washington, D.C: Asphalt Emulsion Manufacturers Association.

Ramos, N. (1954). Emulsiones Asfálticas. s/e. México: California Standard Oil Company de México.

Rivera, G. (1987). Emulsiones Asfálticas (3era edición). México: Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A.

The Asphalt Institute. College Park Maryland, (1976); Emulsified Asphalt Bases.

The Asphalt Institute. College Park. Maryland, (1975); Typical Uses of Emulsified Asphalt.

The Asphalt Institute; The Asphalt Handbook, Manual Series N° 19(MS-19), U.S.A

Transportation Reserch Board. National Cooperative Highway Research Program; Bituminous Emulsions For Higway Pavements, Synthesis of Higway Practice Report N°. 30, Washington, D.C.



TETÁ REMBIAPO
HA MARANDU
Motenondeha
Ministerio
OBRAS PÚBLICAS
Y COMUNICACIONES

**GOBIERNO
NACIONAL**

*Paraguay
de la gente*

Manual de Carreteras del Paraguay



UNIDAD

6

ENSAYOS DE MATERIALES
PARA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

Volumen 6.3 - Ensayos de Hormigón

APC
ASOCIACIÓN PARAGUAYA DE CARRETERAS

WORLD ROAD
ASSOCIATION
MONDIALE
DE LA ROUTE
COMITÉ
NACIONAL
PARAGUAYO

Revisión 2019

UNIDAD 6 VOLUMEN 6.3
Ensayos de Hormigón

INDICE

GLOSARIO	1232
CAPITULO 6.3.1. ÁRIDOS COMPONENTES DEL HORMIGÓN	1244
SECCION 6.3.1.1. MÉTODO PARA EXTRAER Y PREPARAR MUESTRAS (ASTM C 75 AASHTO T2).....	1245
6.3.1.1.1. OBJETO	1245
6.3.1.1.2. DEFINICIONES	1245
6.3.1.1.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1245
6.3.1.1.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	1245
6.3.1.1.5. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS PARA RECONOCIMIENTO DE YACIMIENTOS	1246
6.3.1.1.6. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DE PRODUCCIÓN	1247
6.3.1.1.7. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DE OBRA	1247
6.3.1.1.8. PREPARACIÓN DE MUESTRAS	1248
6.3.1.1.9. REGISTRO	1248
SECCION 6.3.1.2. MÉTODO PARA EL CUARTEO DE MUESTRAS (ASTM C 702 AASHTO T248)	1250
6.3.1.2.1. OBJETO	1250
6.3.1.2.2. PROCEDIMIENTO MANUAL	1250
6.3.1.2.3. PROCEDIMIENTO CON CUARTEADOR METÁLICO O MECÁNICO	1251
SECCION 6.3.1.3. MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE PARTÍCULAS DESMENUZABLES (ASTM C 142 AASHTO T112).....	1253
6.3.1.3.1. OBJETO	1253
6.3.1.3.2. DEFINICIONES	1253
6.3.1.3.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1253
6.3.1.3.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	1253
6.3.1.3.5. PROCEDIMIENTO	1254
6.3.1.3.6. CÁLCULOS	1255
6.3.1.3.7. INFORME	1256
SECCION 6.3.1.4. MÉTODO PARA TAMIZAR Y DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA (ASTM C 136 AASHTO T27).....	1257
6.3.1.4.1. OBJETO	1257
6.3.1.4.2. DEFINICIONES	1257
6.3.1.4.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1257
6.3.1.4.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	1258
6.3.1.4.5. PROCEDIMIENTO	1260
6.3.1.4.6. CÁLCULOS	1261
6.3.1.4.7. EXPRESIÓN GRÁFICA	1261
SECCION 6.3.1.5. CONTENIDO APROXIMADO DE MATERIA ORGÁNICA EN ARENAS USADAS EN LA PREPARACIÓN DE MORTEROS Y HORMIGONES (ASTM C 40 AASHTO T21)	1262
6.3.1.5.1. OBJETO	1262
6.3.1.5.2. DEFINICIONES	1262
6.3.1.5.3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....	1262
6.3.1.5.4. REACTIVOS	1262
6.3.1.5.5. PROCEDIMIENTO	1263

SECCION 6.3.1.6. MÉTODO PARA DETERMINAR EL MATERIAL FINO MENOR QUE 0,075 MM (ASTM C 117 AASHTO T11)	1264
6.3.1.6.1. OBJETO	1264
6.3.1.6.2. EQUIPOS Y MATERIALES	1264
6.3.1.6.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	1264
6.3.1.6.4. PROCEDIMIENTO	1265
6.3.1.6.5. CÁLCULOS	1265
6.3.1.6.6. INFORME	1266
SECCION 6.3.1.7. CONTENIDO TOTAL DE AGUA DE LOS ÁRIDOS PORSECADO (ASTM C 566)	1267
6.3.1.7.1. OBJETO	1267
6.3.1.7.2. USO Y SIGNIFICADO	1267
6.3.1.7.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1267
6.3.1.7.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	1267
6.3.1.7.5. PROCEDIMIENTO	1268
6.3.1.7.6. CÁLCULOS	1268
6.3.1.7.7. PRECISIÓN Y EXACTITUD	1269
SECCION 6.3.1.8. MÉTODOS PARA DETERMINAR LA DENSIDAD APARENTE (ASTM E 30 ASTM C 29)	1270
6.3.1.8.1. OBJETO	1270
6.3.1.8.2. DEFINICIONES	1270
6.3.1.8.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1270
6.3.1.8.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	1271
6.3.1.8.5. PROCEDIMIENTO	1272
6.3.1.8.6. CÁLCULOS	1273
6.3.1.8.7. INFORME	1274
SECCION 6.3.1.9. MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL, LA DENSIDAD NETA Y LA ABSORCIÓN DE AGUA EN ÁRIDOS GRUESOS (ASTM C 127 AASHTO T85)	1276
6.3.1.9.1. OBJETO	1276
6.3.1.9.2. DEFINICIONES	1276
6.3.1.9.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1277
6.3.1.9.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS	1277
6.3.1.9.5. PROCEDIMIENTO	1278
6.3.1.9.6. CÁLCULOS	1279
6.3.1.9.7. PRECISIÓN	1279
6.3.1.9.8. INFORME	1280
SECCION 6.3.1.10. MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL, LA DENSIDAD NETA Y LA ABSORCIÓN DE AGUA EN ÁRIDOS FINOS (ASTM C 128 AASHTO T84)	1281
6.3.1.10.1. OBJETO	1281
6.3.1.10.2. DEFINICIONES	1281
6.3.1.10.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1282
6.3.1.10.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	1282
6.3.1.10.5. PROCEDIMIENTO	1283
6.3.1.10.6. CÁLCULOS	1284
6.3.1.10.7. PRECISIÓN	1285
6.3.1.10.8. INFORME	1286
SECCION 6.3.1.11. MÉTODO PARA DETERMINACIÓN DEL DESGASTE MEDIANTE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (ASTM C 131 AASHTO T96)	1287
6.3.1.11.1. OBJETO	1287
6.3.1.11.2. EQUIPOS Y MATERIALES	1287
6.3.1.11.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	1288
6.3.1.11.4. PROCEDIMIENTO	1288

6.3.1.11.5. CÁLCULOS	1289
6.3.1.11.6. INFORME	1289
SECCION 6.3.1.12. MÉTODO PARA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE TRITURACIÓN (BS-812-75)	1292
6.3.1.12.1. INTRODUCCIÓN	1292
6.3.1.12.2. ÍNDICE DE TRITURACIÓN DE LOS ÁRIDOS GRUESOS	1292
6.3.1.12.3. ÍNDICE DE TRITURACIÓN DE LOS ÁRIDOS FINOS	1293
6.3.1.12.4. CÁLCULOS	1294
SECCION 6.3.1.13. MÉTODO PARA DETERMINAR EL EQUIVALENTE DE ARENA (ASTM D2419)	1296
6.3.1.13.1. OBJETO	1296
6.3.1.13.2. DEFINICIONES	1296
6.3.1.13.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1296
6.3.1.13.4. REACTIVOS	1297
6.3.1.13.5. CONDICIONES GENERALES	1297
6.3.1.13.6. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	1298
6.3.1.13.7. PROCEDIMIENTO	1298
6.3.1.13.8. CÁLCULOS	1299
6.3.1.13.9. PRECISIÓN	1300
6.3.1.13.10. INFORME	1300
SECCION 6.3.1.14. MÉTODO DE LOS SULFATOS PARA DETERMINAR LA DESINTEGRACIÓN (ASTM C 88 AASHTO T104)	1302
6.3.1.14.1. OBJETO	1302
6.3.1.14.2. EQUIPOS Y MATERIALES	1302
6.3.1.14.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	1303
6.3.1.14.4. CICLOS DE INMERSIÓN Y SECADO	1305
6.3.1.14.5. CÁLCULOS	1306
6.3.1.14.6. INFORME	1307
SECCION 6.3.1.15. CANTIDAD DE PARTÍCULAS LIVIANAS EN LOS ÁRIDOS (ASTM C 123 AASHTO T113)	1308
6.3.1.15.1. OBJETO	1308
6.3.1.15.2. EQUIPO.....	1308
6.3.1.15.3. PREPARACION DE LA MUESTRA	1309
6.3.1.15.4. PROCEDIMIENTO	1309
6.3.1.15.5. CÁLCULOS	1310
6.3.1.15.6. PRECAUCIONES	1310
6.3.1.15.7. INFORME	1310
SECCION 6.3.1.16. HUMEDAD SUPERFICIAL EN ÁRIDOS FINOS (ASTM C 70 AASHTO T142)	1311
6.3.1.16.1. OBJETO	1311
6.3.1.16.2. USO Y SIGNIFICADO	1311
6.3.1.16.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1311
6.3.1.16.4. PREPARACION DE LA MUESTRA	1311
6.3.1.16.5. PROCEDIMIENTO	1311
6.3.1.16.6. CÁLCULOS.....	1312
SECCION 6.3.1.17. ÍNDICE DE DURABILIDAD DE ÁRIDOS (ASTM D 3744 AASHTO T210)	1314
6.3.1.17.1. OBJETO	1314
6.3.1.17.2. USO Y SIGNIFICADO	1314
6.3.1.17.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1314
6.3.1.17.4. MATERIALES Y REACTIVOS	1315

6.3.1.17.5. CONTROL DE TEMPERATURA	1315
6.3.1.17.6. MUESTREO	1315
6.3.1.17.7. PREPARACION INICIAL DE LA MUESTRA.....	1315
6.3.1.17.8. PROCEDIMIENTO A - ÁRIDO GRUESO	1316
6.3.1.17.9. PROCEDIMIENTO B - ÁRIDO FINO	1319
6.3.1.17.10. PROCEDIMIENTO C - ÁRIDOS MUY FINOS PARA SER ENSAYADOS COMO ÁRIDOS GRUESOS Y MUY GRUESOS PARA SER ENSAYADOS COMO ÁRIDOS FINOS	1320
6.3.1.17.11. CÁLCULOS.....	1321
6.3.1.17.12. PRECAUCIONES	1322
6.3.1.17.13. INFORME	1322
6.3.1.17.14. PRECISIÓN	1322
SECCION 6.3.1.18. PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS ÁRIDOS (D 5821 NTL358).....	1324
6.3.1.18.1. OBJETO	1324
6.3.1.18.2. EQUIPOS Y MATERIALES	1324
6.3.1.18.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....	1324
6.3.1.18.4. PROCEDIMIENTO	1324
6.3.1.18.5. CÁLCULOS.....	1325
SECCION 6.3.1.19. COEFICIENTE DE FRIABILIDAD DE LOS ÁRIDOS (UNE 83115)	1327
6.3.1.19.1. OBJETO	1327
6.3.1.19.2. EQUIPOS Y MATERIALES	1327
6.3.1.19.3. PREPARACION DE LA MUESTRA	1328
6.3.1.19.4. PROCEDIMIENTO	1328
6.3.1.19.5. CÁLCULOS.....	1330
SECCION 6.3.1.20. MÉTODO PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE VOLUMÉTRICO MEDIO DE LOS ÁRIDOS GRUESOS	1331
6.3.1.20.1. OBJETO	1331
6.3.1.20.2. DEFINICIONES	1331
6.3.1.20.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1331
6.3.1.20.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....	1331
6.3.1.20.5. PROCEDIMIENTO	1332
6.3.1.20.6. CÁLCULOS	1333
6.3.1.20.7. PRECISIÓN	1333
6.3.1.20.8. INFORME	1333
SECCION 6.3.1.21. ÍNDICE DE APLANAMIENTO Y DE ALARGAMIENTO DE LOS ÁRIDOS PARA CARRETERAS (NTL 354).....	1335
6.3.1.21.1. OBJETO	1335
6.3.1.21.2. EQUIPO.....	1335
6.3.1.21.3. PREPARACION DE LA MUESTRA	1335
6.3.1.21.4. PROCEDIMIENTO	1336
6.3.1.21.5. CÁLCULOS.....	1337
6.3.1.21.6. INFORME	1337
SECCION 6.3.1.22. ÍNDICE DE FORMA Y DE TEXTURA DE LAS PARTÍCULAS DE ÁRIDO (ASTM D 3398).....	1340
6.3.1.22.1. OBJETO	1340
6.3.1.22.2. USO Y SIGNIFICADO	1340
6.3.1.22.3. EQUIPOS	1340
6.3.1.22.4. CALIBRACIÓN DEL MOLDE	1340
6.3.1.22.5. TOMA DE MUESTRAS	1341
6.3.1.22.6. ESPECÍMENES DE ENSAYO	1341
6.3.1.22.7. PORCENTAJE DE VACIOS	1342
6.3.1.22.8. ÍNDICE DE PARTICULAS.....	1343

SECCION 6.3.1.23. MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE CLORUROS Y SULFATOS (ASTM D 1411).....	1345
6.3.1.23.1. OBJETO	1345
6.3.1.23.2. EQUIPOS Y MATERIALES	1345
6.3.1.23.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	1346
6.3.1.23.4. DETERMINACIONES.....	1347
6.3.1.23.5. INFORME.	1349

SECCION 6.3.1.24. DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE LOS COMPUESTOS DE AZUFRE EN LOS ÁRIDOS (UNE 83211).....	1350
6.3.1.24.1. OBJETO	1350
6.3.1.24.2. FUNDAMENTOS DEL MÉTODO	1350
6.3.1.24.3. PREPARACION DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO	1350
6.3.1.24.4. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LOS COMPUESTOS DE AZUFRE TOTALES	1351
6.3.1.24.5. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE COMPUESTOS DE AZUFRE EN ESTADO DE SULFATOS	1355
6.3.1.24.6. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SULFUROS TOTALES	1356

SECCION 6.3.1.25. DETERMINACIÓN DE LA REACTIVIDAD ÁRIDO/ ÁLCALI (MÉTODO QUÍMICO) (ASTM C 289)	1357
6.3.1.25.1. OBJETO	1357
6.3.1.25.2. EQUIPOS Y MATERIALES	1357
6.3.1.25.3. PROCEDIMIENTO	1357
6.3.1.25.4. OBTENCIÓN Y PRECISIÓN DE LOS RESULTADOS	1359

SECCION 6.3.1.26. VALORACIÓN DE ELEMENTOS ARCILLOSOS EN LOS MATERIALES FINOS POR MEDIO DEL AZUL DE METILENO (NTL 171)	1361
6.3.1.26.1. OBJETO	1361
6.3.1.26.2. EQUIPOS Y MATERIALES	1361
6.3.1.26.3. PROCEDIMIENTO	1362
6.3.1.26.4. ESCALA DE COLORES	1363
6.3.1.26.5. CÁLCULOS	1363
6.3.1.26.6. PRECISIÓN	1364

CAPITULO 6.3.2. ENSAYOS EN CEMENTOS Y MORTEROS 1365

SECCION 6.3.2.1. MUESTREO Y ACEPTACIÓN DEL CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C 183 AASHTO T127).....	1366
6.3.2.1.1.OBJETO	1366
6.3.2.1.2. DEFINICIONES	1366
6.3.2.1.3. TOMA DE MUESTRAS	1367

SECCION 6.3.2.2. FINURA DEL CEMENTO PORTLAND MÉTODO DEL APARATO BLAINE (ASTM C 204 AASHTO T153)	1372
6.3.2.2.1. EQUIPO Y MATERIALES.....	1372
6.3.2.2.2. CALIBRACIÓN DEL APARATO	1373
6.3.2.2.3. PROCEDIMIENTO.....	1376
6.3.2.2.4. CÁLCULOS.....	1376
6.3.2.2.5. INFORME.....	1377
6.3.2.2.6. PRECISIÓN	1378

SECCION 6.3.2.3. FINURA DEL CEMENTO PÓRTLAND MÉTODO DEL TURBIDÍMETRO (ASTM C 115 AASHTO T98).....	1380
6.3.2.3.1. OBJETO	1380
6.3.2.3.2. EQUIPO Y MATERIALES.....	1380

6.3.2.3.3. CALIBRACIÓN DEL TURBIDÍMETRO	1383
6.3.2.3.4. MUESTRA DE ENSAYO.....	1385
6.3.2.3.5. PROCEDIMIENTO	1385
6.3.2.3.6. CÁLCULOS.....	1386
6.3.2.3.7. PRECISIÓN	1388
6.3.2.3.8. APÉNDICE - INDICACIONES COMPLEMENTARIAS	1388
SECCION 6.3.2.4. EXPANSIÓN DEL CEMENTO EN EL AUTOCLAVE (ASTMC 151 AASHTO T107)	1391
6.3.2.4.1. OBJETO	1391
6.3.2.4.2. EQUIPO Y MATERIALES.....	1391
6.3.2.4.3. CONDICIONES GENERALES	1393
6.3.2.4.4. PRECAUCIONES DE SEGURIDAD	1393
6.3.2.4.5. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	1393
6.3.2.4.6. PROCEDIMIENTO.....	1394
6.3.2.4.7. CÁLCULOS.....	1395
6.3.2.4.8. PRECISIÓN	1395
SECCION 6.3.2.5. TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO HIDRÁULICO MÉTODO DEL APARATO DE VICAT (ASTM C 191 AASHTO T131)	1396
6.3.2.5.1. OBJETO	1396
6.3.2.5.2. EQUIPO Y MATERIALES.....	1396
6.3.2.5.3. CONDICIONES AMBIENTALES	1397
6.3.2.5.4. PREPARACIÓN DE LA PASTA DE CEMENTO	1397
6.3.2.5.5. PROCEDIMIENTO.....	1397
6.3.2.5.6. PRECAUCIONES	1398
SECCION 6.3.2.6. TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO HIDRÁULICO MÉTODO DE LAS AGUJAS DE GILLMORE (ASTM C 266 AASHTO T154).....	1399
6.3.2.6.1. OBJETO	1399
6.3.2.6.2. EQUIPO Y MATERIALES.....	1399
6.3.2.6.3. CONDICIONES AMBIENTALES	1399
6.3.2.6.4. PROCEDIMIENTO	1400
6.3.2.6.5. PRECAUCIONES	1400
SECCION 6.3.2.7. PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO HIDRÁULICO (ASTMC 188 AASHTO T133)	1402
6.3.2.7.1. OBJETO	1402
6.3.2.7.2. EQUIPO Y MATERIALES.....	1402
6.3.2.7.3. PROCEDIMIENTO.....	1402
6.3.2.7.4. CÁLCULOS.....	1403
6.3.2.7.5. PRECISIÓN	1403
SECCION 6.3.2.8. FALSO FRAGUADO DEL CEMENTO PORTLAND MÉTODO DE LA PASTA (ASTM C 451AASHTO T186)	1404
6.3.2.8.1. OBJETO	1404
6.3.2.8.2. DEFINICIONES	1404
6.3.2.8.3. USO Y SIGNIFICADO	1404
6.3.2.8.4. EQUIPO Y MATERIALES.....	1405
6.3.2.8.5. CONDICIONES GENERALES.....	1405
6.3.2.8.6. PROCEDIMIENTO.....	1405
6.3.2.8.7. CÁLCULOS E INFORME.....	1407
SECCION 6.3.2.9. CALOR DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C 186).....	1408
6.3.2.9.1. OBJETO	1408
6.3.2.9.2. DEFINICIONES	1408

6.3.2.9.3. EQUIPO.....	1408
6.3.2.9.4. REACTIVOS	1410
6.3.2.9.5. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD CALORÍFICA DEL SISTEMA	1410
6.3.2.9.6. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CALOR DE HIDRATACIÓN ...	1412
6.3.2.9.7. CÁLCULOS.....	1413
6.3.2.9.8. REENSAYOS.....	1414
6.3.2.9.9. PRECISIÓN	1415
SECCION 6.3.2.10. CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO (ASTM C 187AASHTO T129)	1416
6.3.2.10.1. OBJETO	1416
6.3.2.10.2. EQUIPO.....	1416
6.3.2.10.3. CONDICIONES AMBIENTALES	1417
6.3.2.10.4. PROCEDIMIENTO.....	1417
6.3.2.10.5. CÁLCULOS.....	1417
6.3.2.10.6. PRECISIÓN	1418
SECCION 6.3.2.11. MEZCLA MECÁNICA DE PASTAS DE CEMENTO HIDRÁULICO Y MORTEROS DE CONSISTENCIA PLÁSTICA (ASTM C 305 AASHTO T162)	1419
6.3.2.11.1. OBJETO	1419
6.3.2.11.2. EQUIPO.....	1419
6.3.2.11.3. TEMPERATURA Y HUMEDAD	1420
6.3.2.11.4. MATERIALES	1420
6.3.2.11.5. PROCEDIMIENTO.....	1420
6.3.2.11.6. ADVERTENCIA	1421
SECCION 6.3.2.12. EXUDACIÓN DE PASTAS Y MORTEROS DE CEMENTO (ASTM C 243)	1422
6.3.2.12.1. OBJETO	1422
6.3.2.12.2. EQUIPOS.....	1422
6.3.2.12.3. CONDICIONES AMBIENTALES	1423
6.3.2.12.4. ENSAYO SOBRE PASTAS.....	1423
6.3.2.12.5. ENSAYO SOBRE MORTEROS	1424
6.3.2.12.6. CÁLCULOS.....	1424
6.3.2.12.7. INFORME	1425
6.3.2.12.8. PRECAUCIÓN	1425
SECCION 6.3.2.13. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C 109)	1426
6.3.2.13.1. OBJETO	1426
6.3.2.13.2. EQUIPO.....	1426
6.3.2.13.3. MATERIALES - ARENA	1427
6.3.2.13.4. CONDICIONES DE ENSAYO	1427
6.3.2.13.5. PROCEDIMIENTO.....	1428
6.3.2.13.6. CÁLCULOS E INFORME.....	1429
SECCION 6.3.2.14. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C 348)	1430
6.3.2.14.1. OBJETO	1430
6.3.2.14.2. EQUIPO.....	1430
6.3.2.14.3. MUESTRAS.....	1431
6.3.2.14.4. PREPARACIÓN Y LLENADO DE LOS MOLDES	1431
6.3.2.14.5. ENSAYO.....	1432
6.3.2.14.6. CÁLCULOS.....	1432

SECCION 6.3.2.15 FLUIDEZ DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C 230 AASHTO M152)	1436
6.3.2.15.1.OBJETO	1436
6.3.2.15.2. EQUIPO.....	1436
6.3.2.15.3. PROCEDIMIENTO.....	1437
SECCION 6.3.2.16. CONTRACCIÓN POR SECADO DE MORTEROS DE CEMENTO PÓRTLAND (ASTM C 596)	1440
6.3.2.16.1. OBJETO	1440
6.3.2.16.2. DEFINICIÓN	1440
6.3.2.16.3. USO Y SIGNIFICADO	1440
6.3.2.16.4. EQUIPO.....	1440
6.3.2.16.5. TEMPERATURA Y HUMEDAD	1441
6.3.2.16.6. TOMA DE MUESTRAS	1441
6.3.2.16.7. PREPARACIÓN DE LOS ESPECIMENES DE ENSAYO	1441
6.3.2.16.8. PROCEDIMIENTO.....	1442
6.3.2.16.9. CÁLCULOS.....	1442
6.3.2.16.10. PRECISIÓN	1443
SECCION 6.3.2.17. RESISTENCIA A LA TENSIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C 190 AASHTO T132)	1444
6.3.2.17.1. OBJETO	1444
6.3.2.17.2. EQUIPO Y MATERIALES.....	1444
6.3.2.17.3. CONDICIONES AMBIENTALES	1445
6.3.2.17.4. MUESTRAS PARA ENSAYO.....	1445
6.3.2.17.5. PROCEDIMIENTO.....	1446
6.3.2.17.6. ENSAYO.....	1447
6.3.2.17.7. CÁLCULOS.....	1447
SECCION 6.3.2.18. CONTENIDO DE AIRE EN MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C 185 AASHTO T137).....	1449
6.3.2.18.1. OBJETO	1449
6.3.2.18.2. CONDICIONES GENERALES	1449
6.3.2.18.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1449
6.3.2.18.4. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	1450
6.3.2.18.5. PROCEDIMIENTO.....	1451
6.3.2.18.6. CÁLCULOS.....	1452
6.3.2.18.7. INFORME	1452
6.3.2.18.8. PRECISIÓN Y TOLERANCIAS	1452
SECCION 6.3.2.19. EXPANSIÓN POTENCIAL DE MORTEROS DE CEMENTO PORTLAND EXPUESTOS A LA ACCIÓN DE SULFATOS (ASTM C452)	1453
6.3.2.19.1. OBJETO	1453
6.3.2.19.2. EQUIPO.....	1453
6.3.2.19.3. MATERIALES	1453
6.3.2.19.4. TEMPERATURA Y HUMEDAD	1454
6.3.2.19.5. NÚMERO Y DIMENSIONES DE LOS ESPECÍMENES DE ENSAYO	1454
6.3.2.19.6. PREPARACIÓN DE LOS MOLDES.....	1454
6.3.2.19.7. PROPORCIONES, CONSISTENCIA Y MEZCLA DEL MORTERO	1455
6.3.2.19.8. LLENADO DE MOLDES	1455
6.3.2.19.9. ALMACENAMIENTO DE LOS ESPECÍMENES DE ENSAYO	1455
6.3.2.19.10. MEDIDA DE LONGITUD.....	1455
6.3.2.19.11. CÁLCULOS.....	1456
6.3.2.19.12. PRECISIÓN	1456

CAPITULO 6.3.3. ENSAYOS DEL HORMIGÓN 1457

SECCION 6.3.3.1. MÉTODO PARA EXTRAER MUESTRAS DEL HORMIGÓN FRESCO (ASTM C 172 AASHTO T141).....	1458
6.3.3.1.1. OBJETO	1458
6.3.3.1.2. DEFINICIONES	1458
6.3.3.1.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1458
6.3.3.1.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRAS	1459
6.3.3.1.5. PROCEDIMIENTO	1460
SECCION 6.3.3.2. ELABORACIÓN Y CURADO EN EL LABORATORIO DE MUESTRAS DE HORMIGÓN PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN Y FLEXIÓN (ASTM 192 AASHTO T126).....	1461
6.3.3.2.1. OBJETO	1461
6.3.3.2.2. DEFINICIONES	1461
6.3.3.2.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1461
6.3.3.2.4. CONDICIONES GENERALES	1462
6.3.3.2.5. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA PROBETAS	1465
6.3.3.2.6. PROCEDIMIENTO	1465
6.3.3.2.7. CURADO	1469
6.3.3.2.8. INFORME	1469
SECCION 6.3.3.3. MÉTODO PARA REFRENTAR PROBETAS (ASTM 617 AASHTO T231).....	1470
6.3.3.3.1. OBJETO	1470
6.3.3.3.2. DEFINICIONES	1470
6.3.3.3.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1470
6.3.3.3.4. CONDICIONES GENERALES	1471
6.3.3.3.5. PROCEDIMIENTO	1472
SECCION 6.3.3.4. MÉTODO PARA DETERMINAR LA DOCILIDAD MEDIANTE EL CONO DE ABRAMS (ASTM C 143 AASHTO T119).....	1477
6.3.3.4.1. OBJETO	1477
6.3.3.4.2. DEFINICIONES	1477
6.3.3.4.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1477
6.3.3.4.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS	1478
6.3.3.4.5. CÁLCULOS.....	1479
6.3.3.4.6. INFORME	1479
SECCION 6.3.3.5. MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD APARENTE, EL RENDIMIENTO Y LOS CONTENIDOS DE CEMENTO Y AIRE EN EL HORMIGÓN FRESCO (ASTM C 138 AASHTO T121).....	1483
6.3.3.5.1. OBJETO	1483
6.3.3.5.2. DEFINICIONES	1483
6.3.3.5.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1483
6.3.3.5.4. PROCEDIMIENTO	1484
6.3.3.5.5. CÁLCULOS	1486
6.3.3.5.6. INFORME	1489
SECCION 6.3.3.6. TIEMPO DE FLUJO DEL HORMIGÓN A TRAVÉS DEL CONO DE ASENTAMIENTO INVERTIDO (ASTM C 1611).....	1490
6.3.3.6.1. ALCANCE	1490
6.3.3.6.2. PROCESOS DEL ENSAYO	1490
6.3.3.6.3. SIGNIFICADO Y USO	1490
6.3.3.6.4. EQUIPOS Y MATERIALES	1490
6.3.3.6.5. MUESTRA	1491
6.3.3.6.6. PROCEDIMIENTO	1491
6.3.3.6.7. CÁLCULO.....	1492
6.3.3.6.8. PRECISIÓN	1492

6.3.3.6.9. INFORMES	1493
SECCION 6.3.3.7. MÉTODO DE ENSAYO A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CÚBICAS Y CILÍNDRICAS (ASTM C 39 AASHTO T22).....	1496
6.3.3.7.1. OBJETO	1496
6.3.3.7.2. EQUIPOS Y MATERIALES	1496
6.3.3.7.3. PROCEDIMIENTO	1497
6.3.3.7.4. CÁLCULOS.....	1498
6.3.3.7.5. INFORME	1499
SECCION 6.3.3.8. ENSAYO ACELERADO PARA LA PREDICCIÓN DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN (ASTM C 1073)	1501
6.3.3.8.1. OBJETO	1501
6.3.3.8.2. DEFINICIONES.....	1501
6.3.3.8.3. EQUIPO Y MATERIALES	1502
6.3.3.8.4. PROCEDIMIENTOS	1503
6.3.3.8.5. CÁLCULOS.....	1503
6.3.3.8.6. PRECISIÓN	1504
6.3.3.8.7. INFORME	1505
SECCION 6.3.3.9. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN USANDO UNA PORCIÓN DE VIGA ROTA EN EL ENSAYO DE FLEXIÓN (ASTM C 116 AASHTO T40)	1506
6.3.3.9.1. OBJETO	1506
6.3.3.9.2. DEFINICIONES.....	1506
6.3.3.9.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1506
6.3.3.9.4. CONDICIONES GENERALES	1506
6.3.3.9.5. PROCEDIMIENTO	1507
6.3.3.9.6. CALCULOS	1507
6.3.3.9.7. INFORME	1507
SECCION 6.3.3.10. MÉTODO DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCION DE PROBETAS PRISMÁTICAS (ASTM C 78 Y C293 AASHTO T97 Y T77).....	1509
6.3.3.10.1. OBJETO	1509
6.3.3.10.2. EQUIPOS Y MATERIALES	1509
6.3.3.10.3. PROCEDIMIENTO.....	1510
6.3.3.10.4. CÁLCULOS.....	1511
6.3.3.10.5. INFORME	1512
SECCION 6.3.3.11. MÉTODO DE ENSAYO A LA TRACCIÓN POR HENDIMIENTO DE PROBETAS CILÍNDRICAS (ASTM C 496)	1515
6.3.3.11.1. OBJETO	1515
6.3.3.11.2. EQUIPOS Y MATERIALES	1515
6.3.3.11.3. PROCEDIMIENTO	1515
6.3.3.11.4. CÁLCULOS	1516
6.3.3.11.5. INFORME	1517
SECCION 6.3.3.12. FLUENCIA DEL HORMIGÓN A LA COMPRESIÓN (ASTM C 512)	1520
6.3.3.12.1. OBJETO	1520
6.3.3.12.2. DEFINICIONES.....	1520
6.3.3.12.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1521
6.3.3.12.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	1521
6.3.3.12.5. PROCEDIMIENTO	1523
6.3.3.12.6. CÁLCULOS.....	1523
6.3.3.12.7. INFORME	1524

SECCION 6.3.3.13. CALIDAD DEL AGUA PARA HORMIGONES (AASHTO T26)	1525
6.3.3.13.1. OBJETO	1525
6.3.3.13.2. ACIDEZ Y ALCALINIDAD	1525
6.3.3.13.3. SÓLIDOS TOTALES Y MATERIA ORGÁNICA	1526
SECCION 6.3.3.14. TOMA DE NÚCLEOS Y VIGAS EN HORMIGONES ENDURECIDOS (ASTM C 42 AASHTO T24)	1527
6.3.3.14.1. OBJETO	1527
6.3.3.14.2. EQUIPO Y MATERIALES	1527
6.3.3.14.3. CONDICIONES GENERALES	1527
6.3.3.14.4. NÚCLEOS	1528
6.3.3.14.5. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA	1530
6.3.3.14.6. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	1531
6.3.3.14.7. INFORME	1532
SECCION 6.3.3.15. MEDIDA DE LA LONGITUD DE NÚCLEOS DE HORMIGÓN (ASTM C 174 AASHTO T148)	1533
6.3.3.15.1. OBJETO	1533
6.3.3.15.2. EQUIPOS Y MATERIALES	1533
6.3.3.15.3. PROCEDIMIENTO	1533
6.3.3.15.4. INFORME	1534
SECCION 6.3.3.16. ANEXO I	1535
SECCION 6.3.3.17. ANEXO II	1578
BIBLIOGRAFIA	1534

INDICE DE TABLAS

Tabla 6.3_1. Tamaño mínimo de la muestra de ensayo	1254
Tabla 6.3_2. Tamices para separar residuos	1255
Tabla 6.3_3. Serie de tamices escogidos	1257
Tabla 6.3_4. Tamaño de la muestra de ensayo del árido fino	1259
Tabla 6.3_5. Tamaño de la muestra de ensayo del árido grueso	1259
Tabla 6.3_6. Tamaño de la muestra de ensayo	1265
Tabla 6.3_7. Tamaño de muestras de áridos con peso normal	1268
Tabla 6.3_8. Dimensiones de las medidas	1271
Tabla 6.3_9. Cantidad mínima de muestra según tamaño máximo nominal del árido	1277
Tabla 6.3_10. Grados de ensayo (definidos por sus rangos de tamaño, en mm)	1290
Tabla 6.3_11. Cortes de las granulometrías	1292
Tabla 6.3_12. Tamaño de la muestra de ensayo de áridos finos	1303
Tabla 6.3_13. Áridos gruesos	1304
Tabla 6.3_14. Serie de tamices para examen cuantitativo	1306
Tabla 6.3_15. Peso específico de los compuestos de base para los reactivos del ensayo ...	1308
Tabla 6.3_16. Peso mínimo de la muestra de ensayo	1309
Tabla 6.3_17. Tamices requeridos para el ensayo	1328
Tabla 6.3_18. Moldes y pesos de la muestra para el ensayo	1328
Tabla 6.3_19. Tamaños de moldes	1329
Tabla 6.3_20. Tamaño mínimo de la muestra de ensayo	1332
Tabla 6.3_21. Dimensiones de los calibradores para espesor y longitud de tamices	1336
Tabla 6.3_22. Volumen específico del agua a diferentes temperaturas	1343
Tabla 6.3_23. Ejemplo de cálculo de un índice ponderado de las partículas de un árido ...	1344
Tabla 6.3_24. Tamaño mínimo de la muestra y aforo	1346
Tabla 6.3_25.	1350
Tabla 6.3_26. Número de muestras para ensayo	1370
Tabla 6.3_27. Peso específico del mercurio, viscosidad del aire (n) y v_n a algunas temperaturas	1378
Tabla 6.3_28. Porosidad de la capa de cemento	1378
Tabla 6.3_29. Valores de h, d y h/d^2 empleados en la calibración del turbidímetro	1382
Tabla 6.3_30. Dimensiones de la bureta	1383
Tabla 6.3_31. Ejemplo de anotación de datos	1387
Tabla 6.3_32. Ejemplo de cálculo de distribución del tamaño de partículas	1389
Tabla 6.3_33. Ejemplo de cálculo de distribución del tamaño de partículas	1389
Tabla 6.3_34. Molde doble	1395
Tabla 6.3_35. Tamices para normalización y gradación de arena	1427
Tabla 6.3_36. Orden de apisonado de las capas	1432
Tabla 6.3_37. Tolerancias	1432
Tabla 6.3_38. Porcentaje de agua para morteros estándar	1445
Tabla 6.3_39. Tolerancias	1447
Tabla 6.3_40. Granulometría para el yeso a ser usado	1453
Tabla 6.3_42. Número de capas requeridas en la elaboración de las muestras	1467
Tabla 6.3_43. Diámetro de varilla y número de golpes por capa	1468
Tabla 6.3_44. Dimensiones de las medidas volumétricas	1484
Tabla 6.3_45. Procedimiento para compactar en función del asentamiento	1485
Tabla 6.3_46. Valores de índice de estabilidad visual	1493

INDICE DE FIGURAS

Figura 6.3_1. Cuarteo de muestras	1251
Figura 6.3_2. Cuarteador	1252
Figura 6.3_3. Máquina de los ángeles	1291
Figura 6.3_4 Fig1. Cilindro de acero para áridos gruesos	1295
Figura 6.3_5. Fig1. Probeta graduada, fig2.Pisón, fig3. Sifón.	1301
Figura 6.3_6. Vaso mecánico de lavado.....	1323
Figura 6.3_7. Ejemplo de determinación del porcentaje de caras fracturadas de un agregado.....	1326
Figura 6.3_8. Dimensiones de los moldes de ensayo	1330
Figura 6.3_9. Calibrador de aplanamiento	1338
Figura 6.3_10. Calibrador de alargamiento	1339
Figura 6.3_11. Molde cilíndrico	1344
Figura 6.3_12. Sacamuestras rasurado	1370
Figura 6.3_13. Tubo sacamuestras	1371
Figura 6.3_14. Aparato blaine	1379
Figura 6.3_15. Turbidímetro	1390
Figura 6.3_16. Molde simple.	1395
Figura 6.3_17. Calzada de los moldes.....	1395
Figura 6.3_18. Hormigón sobre placa de vidrio.....	1400
Figura 6.3_19. Agujas de gillmore	1401
Figura 6.3_20. Frasco patrón de le chatelier	1403
Figura 6.3_21. Calorímetro.....	1415
Figura 6.3_22. Agitador	1415
Figura 6.3_23. Aparato de vicat.....	1418
Figura 6.3_24. Paleta mezcladora.....	1421
Figura 6.3_25. Recipiente de mezcla	1421
Figura 6.3_26. Compactador	1433
Figura 6.3_27. Guía de compactador	1433
Figura 6.3_28. Dispositivos especiales para ensayar prismas de morteros de 40 x 40 x 160 mm	1434
Figura 6.3_29. Dispositivos especiales para ensayar prismas de morteros de 40 x 40 x 160 mm	1435
Figura 6.3_30. Soporte	1438
Figura 6.3_31. Plataforma, leva y árbol	1439
Figura 6.3_32. Molde	1439
Figura 6.3_33. Calibrador	1439
Figura 6.3_34. Molde	1448
Figura 6.3_35. Agarraderas.....	1448
Figura 6.3_36. Muestras para ensayos	1448
Figura 6.3_37. Aparato para refrentar probetas.....	1475
Figura 6.3_38. Molde para determinar el asentamiento.....	1480
Figura 6.3_39. Desarrollo del molde – medida de asentamiento.....	1481
Figura 6.3_40. La masa de hormigón es homogénea y no hay evidencia de segregación ..	1494
Figura 6.3_41. El hormigón muestra algo de exudación como brillo en la superficie	1495
Figura 6.3_42. Evidencia de un halo de mortero y brillo de agua	1495
Figura 6.3_43. Concentración de árido grueso al centro de la masa de hormigón y presencia de un halo de mortero	1495
Figura 6.3_44. Determinación de las dimensiones de probetas	1500
Figura 6.3_45. Fig1. Y fig2. Esquema de ensayos de tracción por flexión	1514
Figura 6.3_46. Dispositivo de trazado	1518
Figura 6.3_47. Dispositivo de alineación	1519

INTRODUCCIÓN

El presente Volumen está referido al **Hormigón y sus componentes**, dentro del tomo II de Especificaciones Técnicas de Materiales de Construcción y Mantenimiento, correspondiente a las normas y requisitos esenciales para la determinación de los materiales a incorporar como parte de los diferentes elementos que son utilizados en obras viales encaradas por el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, en la República del Paraguay, así como a los sistemas para diseñar mezclas de materiales para que cumplan con esos requisitos, a los procedimientos a que se debe ajustar la extracción de muestras representativas, a los métodos que se deben seguir para ensayarlas en el laboratorio y a los métodos para determinar “in situ” las propiedades y características de los materiales y de las obras a ser ejecutadas y del glosario de términos más comunes.

El contenido de este volumen está constituido por normas y procedimientos que no deben cambiarse bajo ninguna circunstancia. En especial, los ensayos de laboratorio deben ajustarse exactamente a procedimientos y criterios que se indican. Cualquier alteración de los mismos obliga a anular el resultado obtenido, pues imposibilita su comparación con otras especificaciones y resultados obtenidos de otros ensayos.

Las normas están referidas en capitulas que abarcan todas las condiciones de utilización del hormigón; **ensayos relacionados a los áridos componentes del hormigón, ensayos en cementos y morteros, ensayos de hormigón**. El contenido de este manual es una recopilación de normas ya establecidas y desarrolladas por organismos especializados. En el título de cada método se incluyó el nombre de las normas base.

Cada norma de ensayo correspondiente incluye detalles del **objeto, definición de los procesos, equipos y materiales, extracción y preparación de la muestra, procedimientos, cálculos, presentación de informes y notas**. Algunos ensayos más importantes también cuentan con detalles específicos en la parte final de este volumen.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

A

Abrasión.- Proceso de desgaste producido en una superficie por pérdidas de material causadas por agentes externos.

Absorción de Agua.- Masa de agua necesaria para llevar un material pétreo del estado seco al estado saturado superficialmente seco. Se expresa como porcentaje referido a la masa del pétreo seco.

Aditivos (hormigón).- Materiales, además del cemento, agua y áridos, que se añaden al hormigón o mortero inmediatamente antes o durante el mezclado. Su objetivo es modificar, acentuar o conferir alguna propiedad que de por sí la mezcla no posee y hacerla temporal o permanente durante su estado fresco o endurecido.

Agregado Pétreo.- Árido compuesto de partículas duras, de forma y tamaño estables.

Agua de Amasado.- Agua utilizada para hidratar el cemento en la confección de un hormigón o mortero y que debe cumplir requisitos químicos básicos en cuanto a pH, sólidos en suspensión, sólidos disueltos y materias orgánicas.

Agua Libre (hormigón).- Agua utilizada para otorgar trabajabilidad a la mezcla de hormigón fresco.

Alabeo.- Deformación de curvatura de una losa de hormigón, producida por gradientes de temperatura o por la acción del agua (alabeo hídrico).

Alargamiento de una Partícula.- Es la relación entre el largo y el ancho de una partícula de suelo.

Arena.- Material resultante de la desintegración, molienda o trituración de la roca, cuyas partículas pasan por el tamiz de 5 mm y son retenidas por el de 0,08 mm.

Árido.- Material pétreo compuesto de partículas duras, de forma y tamaño estables.

Árido Combinado.- Árido resultante de la combinación de árido fino y árido grueso en proporciones definidas por el estudio de dosificación y que ha de emplearse en la fabricación de un hormigón.

Árido Fino.- Árido que pasa por el tamiz de abertura nominal 5 mm (hormigón) y 2,5 mm (asfalto) y es retenido en el de 0,08 mm.

Árido Grueso.- Árido retenido en el tamiz de abertura nominal 5 mm cuando se emplea en hormigón y 2,5 mm cuando se utiliza en asfalto.

Árido Integral.- Árido grueso y árido fino mezclados en proporción no definida.

Árido Natural.- Árido procedente de yacimientos pétreos y que no ha sido sometido a tratamiento alguno.

Árido Tratado.- Árido que ha sido sometido a tratamiento de trituración, clasificación por tamaños y/o lavado, en operaciones mecánicas controladas.

Arista de un Pétreo.- Línea que resulta de la intersección de dos superficies fracturadas.

Asentamiento del Hormigón.- Descenso del cono que experimenta una muestra de hormigón fresco ensayada de acuerdo con el Método 6.3.3.4, y que se utiliza como indicador de la docilidad.

B

Bache.- Hoyos de diversos tamaños que se producen en la superficie de rodadura por desintegración local.

Barras de Amarre (pavimento).- Barras de acero redondo con resaltes que se instalan habitualmente en las juntas de construcción, tanto longitudinales como transversales, con el objetivo de impedir la separación entre pistas continuas en el primer caso y asegurar el empotramiento entre el hormigón antiguo y el nuevo, en el segundo. Se colocan de manera que ambos extremos queden empotrados. Si la junta de construcción transversal coincide con la junta de contracción, ésta debería funcionar como barra de traspaso de carga.

Barras de Traspaso de Cargas (pavimento).- Barras de acero redondo que se instalan en las juntas de contracción con el objetivo de transferir (distribuir) parte de la carga que solicita una losa a la vecina; se colocan de manera que un extremo quede empotrado y el otro pueda deslizarse.

Base Abierta Ligada.- Los materiales deberán cumplir con los requisitos establecidos en el presente Manual y con la banda granulométrica TM-40a. Las partículas deben ser 100% chancadas y tener una resistencia al desgaste, medida por el ensayo de Los Ángeles, no mayor que 35%.

Base Granular.- Ver Base no Ligada.

Base no Ligada.- Base conformada exclusivamente por una mezcla de suelos, que habitualmente cumplen con ciertos requisitos en cuanto a granulometría, límites de Atterberg, capacidad de soporte y otros.

Base Tratada con Cemento. - Los materiales para BTC deberán cumplir con lo establecido en el presente Manual, a excepción de las partículas chancadas, cuyo porcentaje deberá ser mayor que 50% y de la resistencia a la compresión, que debe ser de 4,5 MPa, con una dosis mínima de 5% de cemento.

Bloque.-Fragmento de roca mayor a 300mm.

Bolón.-Fragmento de roca entre 80 y 300mm.

C

Calor de Hidratación.- Cantidad de calor liberado durante el proceso exotérmico de reacción del cemento con el agua.

Capa de Rodadura.- Capa superficial de un camino que recibe directamente la acción del tránsito. Debe ser resistente al deslizamiento, a la abrasión y a la desintegración por efectos ambientales.

Carga en Eje Doble.- Fuerza ejercida sobre un dispositivo que la distribuye en un tándem conformado por dos ejes generalmente de doble rueda.

Carga en Eje Simple.- Fuerza ejercida sobre un dispositivo que la distribuye en un eje de rueda doble o simple.

Cemento Pórtland.- Producto obtenido de la pulverización de clínquer, mezclado con sulfato de calcio (yeso) finamente molido. Tiene la propiedad de fraguar por hidratación y obtener gran dureza.

Cemento Pórtland Puzolánico.- Cemento Pórtland al que se le ha añadido puzolanas en una cantidad inferior al 30%. Estas sustancias en sí mismas no tienen propiedades conglomerantes, pero reaccionan con la cal a la temperatura ordinaria para formar compuestos estables insolubles con propiedades conglomerantes.

Cemento Pórtland Siderúrgico.- Cemento Pórtland que contiene menos de 30% de escoria granulada obtenida de la fabricación del hierro en el alto horno.

Cemento Puzolánico.- Cemento Pórtland al que se le ha añadido puzolanas entre un 30% y un 50%.

Cemento Siderúrgico.- Cemento Pórtland que contiene entre 30% y 75 % de escoria granulada obtenida de la fabricación del hierro en el alto horno.

Cepillado (pavimento).- Ranurado superficial de la superficie cuyo objetivo es reducir irregularidades. Se debe ejecutar con una máquina especialmente diseñada para suavizar y dar una textura adecuada a la superficie.

Coeficiente de Capa.- Factor para transformar el espesor de una capa estructural del pavimento en el Número Estructural (Método AASHTO de diseño de pavimentos).

Coeficiente Volumétrico de una Partícula.- Cociente entre el volumen real de una partícula y el volumen de una esfera de diámetro igual a la mayor dimensión de esa partícula.

Coeficiente Volumétrico Medio.- Cociente entre la suma de los volúmenes reales de las partículas que constituyen un pétreo y la suma de los volúmenes de las respectivas esferas circunscritas.

Compactación (hormigón).- Operación mecanizada para dar al hormigón la homogeneidad y densidad convenientes.

Comportamiento Estructural.- Variación de la respuesta estructural de un pavimento con el tiempo.

Cono de Abrams.- Molde tronco-cónico, recto, metálico, abierto por ambos extremos, utilizado en el método para determinar la docilidad (trabajabilidad) del hormigón. Ver Sección 6.3.3.4.

Cordón (En juntas de pavimentos de hormigón).- Elemento ligeramente compresible y normalmente de forma cilíndrica que se coloca al fondo de la caja y que sirve para evitar que el sello de la junta penetre hacia abajo.

Cuarteo.- Procedimiento empleado para reducir el tamaño original de una muestra de suelo o agregado pétreo, cuyo objetivo es obtener una muestra representativa del material y de un tamaño acorde a los requerimientos del ensayo a realizar.

Cuenco de Deflexiones.- Conjunto de deflexiones, que reflejan la deformada de la superficie de un pavimento, registradas por todos los sensores de un deflectómetro de impacto (FWD) en el momento del ensayo.

Chancado.- Partícula pétreo que tiene dos o más caras fracturadas y que por ello posee al menos una arista. No se consideran como chancado aquellas partículas que aún teniendo dos o más caras fracturadas, presenten cantos redondeados.

D

Densidad (hormigones).- Cociente entre la masa del hormigón y su volumen, a una temperatura determinada. Se expresa normalmente en kg/m^3 .

Densidad (pétreos).- Cociente entre la masa y el volumen de un material pétreo a una temperatura determinada. Se expresa normalmente en kg/m^3 .

Densidad Aparente (Hormigones).- Densidad que se calcula considerando el volumen aparente de mezcla (volumen real de la mezcla más el volumen de aire arrastrado o incorporado a ella). Corresponde a la capacidad de la medida que lo contiene.

Densidad Aparente (Densidad a Granel o Densidad Bruta).- Densidad que considera el volumen macizo de las partículas de un pétreo más el volumen de los poros y de los huecos. Corresponde a la capacidad de la medida que lo contiene.

Densidad Aparente Compactada.- Densidad aparente del pétreo compactado en la medida que lo contiene, según procedimientos normalizados.

Densidad Aparente Suelta.- Densidad aparente del pétreo vaciado en la medida que lo contiene, según procedimientos normalizados.

Densidad Neta.- Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material pétreo más el volumen de los poros inaccesibles.

Densidad Real.- Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material pétreo, más el volumen de los poros accesibles e inaccesibles de esas partículas.

Densidad Real Saturada Superficialmente Seca.- Densidad real en que se considera la masa del pétreo seco más la masa del agua que llena los poros accesibles.

Densidad Real Seca.- Densidad real en que se considera solamente la masa del pétreo seco.

Descimbre.- Desencofrado o desmolde. Operación destinada a retirar los moldes y demás piezas de un encofrado o de una cimbra (Encofrado: Molde formado con tableros de madera o chapas de metal, en el que se vacía el hormigón hasta que fragua, y que se desmonta después).

Destilación.- Operación destinada a separar por medio del calor, en alambiques u otros vasos, una sustancia volátil de otras menos volátiles, asada en sus diferentes temperaturas de ebullición.

Dispositivo de Transferencia de Carga.- Elemento que se coloca en una junta de contracción de un pavimento de hormigón destinado a transmitir parte de la carga desde una losa a la adyacente.

Docilidad o Trabajabilidad (hormigón fresco).- Propiedad del hormigón fresco que se manifiesta por la facilidad para ser transportado, colocado y compactado, sin producir segregación. Ver H0304.

Dosímetro.- Aparato o dispositivo que mide dosis de radiactividad, que se usa cuando se emplean métodos nucleares para determinar humedad y densidad.

E

Eje Equivalente (Factor de).- Razón entre el número de ejes de cierto peso que causan una determinada pérdida de serviciabilidad y el número de ejes de 80 kN que causan la misma pérdida de serviciabilidad.

Equivalente de Arena.- Porcentaje de arena propiamente tal, con respecto al total de arena y de impurezas coloidales floculadas, particularmente arcillosas, húmicas y eventualmente ferruginosas, presentes en un pétreo fino (bajo tamiz 5 mm).

Esbeltez.- Cociente entre la altura de ensayo de un testigo cilíndrico de hormigón endurecido y su diámetro.

Escalonamiento de Juntas y Grietas (pavimento).- Diferencia de nivel que se produce entre dos losas separadas por una junta o grieta. Se mide en mm y se determina a 300 y 750 mm del borde exterior del pavimento.

Esclerometría: Ensayo que mide la dureza superficial del hormigón por medio del rebote de una masa proyectada contra su superficie. La medición, denominada índice esclerométrico o de rebote puede relacionarse con la resistencia a compresión del hormigón.

Espécimen (hormigón).- Probeta normalizada moldeada con hormigón de la muestra.

Esponjamiento (arenas).- Aumento parente de un volumen dado de arena cuando aumenta su humedad libre.

Exudación (hormigón).- Fenómeno que se produce durante la colocación del hormigón por sedimentación de las partículas sólidas debido a la acción de la fuerza de gravedad y de la vibración, desplazando el agua hacia la superficie.

F

Factor de Carga Equivalente.- Es un número que convierte las solicitaciones de un eje o configuraciones de ejes, en la sollicitación equivalente de un eje normalizado (80 kN) (Ver Eje Equivalente).

Finisher.- Pavimentadora.

Finura de Blaine.- Finura del cemento determinada mediante el método del permeabilímetro de Blaine, con el cual se mide la superficie específica del cemento por la permeabilidad al aire de una capa de cemento de dimensiones y compacidad normalizadas. Cuanto más fino es el cemento, menos permeable es al paso del aire a través de los huecos que quedan entre los granos.

Fisura (hormigones).- Quiebre o rotura que afecta a las losas del pavimento, de variados orígenes, y cuyo ancho superficial es igual o menor que 3 mm. Las fisuras pueden durante el proceso de construcción o en el hormigón ya endurecido.

Fisuras por Retracción o Tipo Malla (pavimento de hormigón).- Falla superficial caracterizada por una serie de fisuras conectadas entre sí que crean una especie de malla. Se originan en un exceso de acabado final durante la construcción, mala construcción.

Flexotracción.- Ensayo a que se somete una probeta de hormigón endurecido, para determinar su resistencia a la tracción por flexión.

Fraguado (Hormigón).- Proceso exotérmico en el cual la pasta acuosa de un conglomerante adquiere trabazón, consistencia y endurecimiento, merced a las modificaciones físico-químicas que tienen lugar entre el conglomerado y el agua.

G

Granulometría de un Árido.- Distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un árido, determinada de acuerdo con el Método 6.3.1.4.

Grieta (hormigones).- Quiebre o rotura que afecta al pavimento, de variados orígenes, y cuyo ancho superficial es mayor que 3 mm.

Grieta de Borde.- Grieta predominantemente paralela al eje de la calzada y localizada en las inmediaciones del borde externo del pavimento. A veces presenta ramificaciones de grietas transversales hacia la banquina.

Grieta Longitudinal.- Grieta predominantemente paralela al eje de la calzada, que a veces coincide con la junta longitudinal entre dos pistas pavimentadas.

H

Hendimiento.- Ensayo de tracción indirecta por el cual una probeta cilíndrica de hormigón se carga según la generatriz hasta provocar su ruptura.

Hidroplaneo.- Pérdida de fricción entre el neumático y el pavimento causada por una película de agua que se forma bajo el neumático, que evita que entre en contacto con el pavimento.

Hormigón de Prueba.- Hormigón preparado en laboratorio, destinado a verificar principalmente el cumplimiento de los requisitos de densidad y resistencia exigidos en la obra.

Hormigón Endurecido.- Para los efectos de muestreo debe considerarse como endurecido el hormigón que no cumple con la definición de hormigón fresco.

Hormigón Fresco.- Aquel que ha terminado su proceso de mezclado y aún no ha sido colocado, sin sobrepasar un tiempo de dos horas para los cementos de grado corriente y una hora para los cementos de alta resistencia. El tiempo señalado se mide desde el comienzo del amasado.

Hormigón Pobre.- Aquel cuyo contenido en cemento es bajo y su resistencia es, por tanto, reducida.

Huecos.- Espacios vacíos entre las partículas de un pétreo.

Humedad.- Cociente entre la masa de agua presente en un suelo y su masa seca. Se expresa en porcentaje.

I

Índice de Lajas.- Porcentaje en peso de partículas que tienen un espesor (dimensión mínima) inferior a 0,6 veces la dimensión media de la fracción de agregado considerada.

Índice de Serviciabilidad.- Es un número, en una escala de 0 a 5, que indica la condición de un pavimento en un determinado momento, para proveer un manejo seguro y confortable a los usuarios.

Índice de Servicio Actual.- Índice que estima la serviciabilidad en un determinado momento de la vida útil de un pavimento, a partir de medidas de su condición superficial.

J

Junta de Construcción.- Juntas en los pavimentos de hormigón de tipo transversal, cuando la faena de hormigonado se interrumpe por fuerza mayor; o de tipo longitudinal, que son aquellas que separan las distintas fajas del camino, son paralelas al eje y tienen un perfil machihembrado especial para la transmisión de cargas verticales de una faja a otra.

Junta de Contracción.- Corte realizado en una losa para controlar la retracción del hormigón hidráulico por cambios de temperatura u otras causas.

Junta Esviada: Junta transversal que no forma un ángulo recto con el eje del camino (pavimento).

Junta Saltada (pavimento).- Falla en los bordes de una junta que se caracteriza por una serie de fracturas o astillamientos del hormigón. Esta falla es conocida también como desconche.

L

Laja.- Partícula pétreo en que la razón o cociente entre las dimensiones máximas y mínima, referida a un prisma rectangular circunscrito, es mayor que 5.

M

Macrotextura. (Pavimento).- Las microtexturas y macro texturas son irregularidades superficiales deseables por contribuir a la resistencia al deslizamiento y a la prevención de accidentes. Las micro texturas corresponden a longitudes de onda λ entre 0 y 0,5 mm y amplitud A entre 0,01 y 0,5 mm.

Las macrotexturas corresponden a longitudes de onda λ entre 0,5 y 50 mm y amplitud A entre 0,01 y 20 mm.

Madurez: relación entre la temperatura del hormigón y el tiempo transcurrido desde su vertido y colocación. La madurez está relacionada a la resistencia a compresión del hormigón.

Microtextura.- Ver macrotextura.

Módulo de Finura.- Uno de los índices que sirven para clasificar los agregados en función de su granulometría.

Monografía.- (en caminos). Descripción esquemática gráfica de una determinada característica de la obra, indicando la ubicación (kilometraje). Se utiliza para indicar avance físico de la obra, controles realizados, etc.

Mortero.- Mezcla de cemento, arena y agua en proporciones definidas. Puede llevar incorporado un determinado aditivo.

Muestra de Laboratorio.- Cantidad mínima de material necesario para realizar los ensayos de laboratorio requeridos.

Muestra de Obra.- Muestra representativa de un pétreo que se encuentra en una obra, ya sea sobre un vehículo de transporte o almacenado.

Muestra de Producción.- Muestra representativa de un pétreo removido de su depósito natural y sometido a cualquier tratamiento como trituración, lavado o clasificación y que se encuentra sobre cintas transportadoras o almacenado junto al lugar de extracción o tratamiento.

Muestra de Terreno.- Muestra representativa de un pétreo tomada en la obra y reducida por cuarteo hasta alcanzar un tamaño mínimo equivalente al doble de la muestra de laboratorio.

Muestra de Yacimiento.- Muestra representativa del pétreo en su sitio de depósito natural, no sometido a tratamiento alguno.

Muestras Gemelas.- Conjunto de dos o más fracciones de muestras separadas por cuarteo según Método 6.3.1.2. Dichas muestras pueden emplearse para verificar el efecto de los procedimientos de ensayo en la dispersión de resultados.

N

Nido de Piedra.- Acumulación o concentración de agregado pétreo grueso (piedras) no rodeado por suelos finos, en zonas localizadas de extensión variable.

Nivel de Servicio.- Es el grado de comodidad y seguridad que experimentan los usuarios al circular por un pavimento a la velocidad de diseño.

Número Estructural.- Número que evalúa la calidad del paquete estructural de un pavimento. Se determina como la suma ponderada de los espesores por los coeficientes estructurales, determinados experimentalmente. Los coeficientes estructurales son correlacionables con los módulos de las capas estructurales.

O

Obra Básica.- La sección de una carretera comprendida entre la subrasante y el terreno natural, que se prepara como fundación del pavimento. Comprende los movimientos de tierras, las alcantarillas y las obras de drenaje que evitan que las aguas afecten las obras de tierra.

P

Partículas Desmenzables.- Partículas contenidas en los pétreos que pueden desmenuzarse con la presión de los dedos.

Pavimento Rígido.- Estructura conformada por losas de hormigón de cemento hidráulico.

Pavimento.- Estructura formada por una o más capas de materiales seleccionados y eventualmente tratados, que se colocan sobre la subrasante con el objetivo de proveer una superficie de rodadura adecuada y segura bajo diferentes condiciones ambientales y que soporta las sollicitaciones que impone el tránsito.

Pedraplén.- Relleno conformado por suelos gruesos con alto contenido de bolones y escaso contenido de finos y que se construye en forma similar a un terraplén.

Péndulo de Fricción.- Equipo portátil de ensayo no destructivo que permite medir la resistencia al deslizamiento de un pavimento. Para ello utiliza un brazo oscilante en cuyo extremo se ubica un patín de goma con amortiguador que se deja oscilar libremente y que toma contacto con la superficie del pavimento mojado en una longitud normalizada. Se mide la pérdida de energía producto del roce, a través de la altura que alcanza después del contacto con el pavimento.

Peso Específico.- Cociente entre la masa de un material y la masa de un volumen igual de agua a 4° C. Es adimensional.

Poros.- Espacios vacíos interiores de una partícula de pétreo.

Probeta de Hormigón.- Muestra de hormigón endurecido de dimensiones predeterminadas y conservada en condiciones preestablecidas, para posteriormente ser sometida a ensayos.

Puente de Adherencia.- Adhesivo para unir hormigón o mortero fresco con hormigón endurecido, mortero endurecido, piedra, acero, fierro, fibrocemento o madera.

R

Ranurado del Pavimento (Grooving).- Cortes sobre la superficie del pavimento, ejecutado mediante discos diamantados en una profundidad de 10 mm aproximadamente y un ancho de 2 mm, con un espaciamiento del orden de los 50 mm a 100 mm. El objetivo es mejorar la macrotextura superficial, facilitando el contacto neumático pavimento en situaciones de pavimento muy sellado que puedan provocar hidropneumático.

Rapidez del Curado.- Tiempo que demora un asfalto líquido (asfalto cortado) en coagular, el que depende de la mayor o menor volatilidad del agente fluidificante del que está compuesto.

Rasante.- Plano que define la superficie de una carretera.

Razón Agua-Cemento.- Cociente entre la cantidad de agua de amasado y la dosis de cemento, utilizados en la confección de un hormigón.

Redondez de una Partícula.- Es la medida de la agudeza de sus vértices y se define como el cociente entre el radio promedio de los vértices y aristas y el radio de la esfera máxima inscrita.

Refrentado (Capa de).- Capa de material, normalmente azufre, aplicado y moldeado para cubrir y nivelar una superficie de carga en una probeta de hormigón.

Rendimiento Funcional.- Variación del Nivel de Servicio con el tiempo.

Reposición de Pavimentos.- Se refiere a cualquiera de las técnicas destinadas a reforzar estructuralmente un pavimento de manera que esté en condiciones de soportar el tránsito previsto.

Resistencia al Deslizamiento (coeficiente de fricción).- La fuerza que se desarrolla en la superficie de contacto entre neumático y pavimento y que resiste el deslizamiento cuando el vehículo frena.

Resistencia Mecánica (hormigón).- Resistencia a la ruptura de probetas de hormigón endurecido.

Restauración de Pavimentos.- Técnicas destinadas al mantenimiento de los pavimentos, es decir, a devolverles su condición original. Aún cuando no están orientadas específicamente a aumentar la capacidad estructural, muchas de ellas alargan la vida útil del pavimento. Estas técnicas integran las denominadas operaciones de restauración.

Retracción (hormigón).- Variación del volumen del hormigón por efecto del fraguado, por su desecación y su humedecimiento. Esta variación se produce en parte antes de fraguar y en parte en el hormigón fraguado y ya endurecido.

Roca Ignea.- Rocas de origen profundo, resultado del enfriamiento y cristalización de la masa fundida, el magma.

Roca Metamórfica.- Tienen su origen en rocas ya existentes que, sometidas a transformaciones químicas o al calor y la presión en el interior de la corteza terrestre, han sufrido una metamorfosis química, mineralógica o física. **Roca Sedimentaria**.- Rocas procedentes de productos de erosión que se han depositado en capas generalmente muy compactas (sedimentos) sobre el suelo o, más comúnmente, en el fondo del mar.

Rugosidad (pavimento).- Irregularidad superficial de una capa de rodadura. Es el parámetro de estado más característico de la condición funcional de ésta y el que incide directamente en los costos de operación de los vehículos. Se mide a través del Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

S

Secado hasta Masa Constante.- Límite de secado en que dos pesadas sucesivas, separadas por 1 hora de secado al horno, difieren en un porcentaje igual o inferior al 0,1% de la menor masa determinada.

Segregación (hormigón).- Separación de la fracción gruesa del mortero durante el transporte o colocación del hormigón fresco.

Serviciabilidad.-La capacidad que tiene en un determinado momento el pavimento para servir al tránsito que lo utilizará.

Singularidades (pavimento).- Cualquier alteración del perfil longitudinal del camino que no provenga de fallas constructivas y que incremente el valor del IRI en el tramo en que se encuentra. Entre ellas se pueden citar puentes, badenes, tapas de alcantarillas, cuñas, vados, cruces de calles y otras, que por diseño geométrico alteren el perfil del camino.

Sobretamaño.- Partículas de un suelo de mayor tamaño que el máximo especificado.

Subbase Granular.- Capa constituida por un material de calidad y espesor determinados y que se coloca entre la subrasante y la base.

Subrasante.- Plano superior del movimiento de tierras, que se ajusta a requerimientos específicos de geometría y que ha sido conformada para resistir los efectos del medio ambiente y las sollicitaciones que genera el tránsito. Sobre la subrasante se construye el pavimento y las banquetas.

Superficie Específica.- Cociente entre el área superficial o superficie externa de un agregado y su volumen; se expresa en m^{-1} .

Surgencia de Finos (Bombeo de finos).- Fenómeno que se manifiesta por la eyección, a través de las juntas, grietas y bordes del pavimento, de material fino húmedo de la base o subbase. Se origina en la succión que provoca el movimiento vertical debido a la carga y descarga de las losas móviles de un pavimento rígido. Como consecuencia de la surgencia se produce una progresiva socavación bajo los bordes de las juntas, grietas y lados del pavimento, provocando su ruptura por falta de apoyo.

T

Talud.- Tangente del ángulo que forma el paramento de un corte con respecto a la vertical .

Tamaño Máximo Absoluto de un Árido.- Corresponde a la abertura del menor tamiz de la serie establecida en el Método 6.3.1.4., que deja pasar el 100% de la masa del árido.

Tamaño Máximo Nominal de un Árido.-Corresponde a la abertura del tamiz inmediatamente menor al Tamaño Máximo Absoluto, cuando por dicho tamiz pasa el 90% o más de la masa del árido.

Cuando pasa menos del 90%, el Tamaño Máximo Nominal se considera igual al Tamaño Máximo Absoluto.

Tamaño Medio (de un agregado pétreo).- Corresponde a la abertura teórica de tamiz (mm) por donde pasa el 50% del material. Se obtiene a partir de la granulometría por interpolación semilogarítmica.

Tamizado.- Operación que consiste en separar por tamaño las partículas.

Tensión Capilar.- Fuerza originada por la tensión superficial de un líquido y que hace que ascienda por un tubo capilar.

Tensión Superficial.- Si sobre la superficie de un líquido se traza una línea cualquiera, la tensión superficial es la fuerza superficial normal a dicha línea por unidad de longitud. La tensión superficial explica el fenómeno de ascensión de un líquido en tubos capilares. Se expresa en dina/cm o erg/cm^2 .

Terraplén.- Obra construida empleando suelos apropiados, debidamente compactados, para establecer la fundación de un pavimento.

Testigo: probetas cilíndricas extraídas de un elemento de hormigón por medio de una sonda rotativa que incorporan coronas diamantadas. Se emplean para la determinación de la resistencia a compresión simple del hormigón

Textura (pavimentos).- El aspecto o característica de la superficie del pavimento que depende del tamaño, forma, disposición y distribución del árido y del agente ligante. Una mezcla densa que da una superficie suave tendrá una textura fina; una superficie abierta tendrá una textura gruesa. Las irregularidades de la superficie, tales como baches, escalonamientos de juntas y otras, no definen la textura, la que se encuentra relacionada con irregularidades de longitudes de onda inferiores que 50 mm.

Textura de una Partícula de Pétreo.- Características secundarias de la superficie de la partícula, independiente de la forma y tamaño. Para su descripción se emplean los términos opaca, brillante, suave, áspera, estriada, etc.

U

Ultrasonido: onda mecánica originada por la vibración de un cuerpo elástico (cristal piezoeléctrico) y propagada por un medio material (elemento de hormigón u otros) cuya frecuencia se ubica por encima de los 20.000 ciclos/segundo ó 20 kHz, superando la del sonido audible por el ser humano. La velocidad de propagación de la onda se relaciona con la resistencia a compresión del hormigón.

V

Viga Benkelman.- Equipo de ensayo no destructivo que se posiciona sobre la superficie del pavimento y que cuenta con un brazo articulado cuyo punto de contacto con el pavimento (palpador) detecta la deformación elástica vertical ante la aproximación de una rueda doble cargada con 40 KN.

Z

Zapata de Traspaso de Carga.- En pavimentos de hormigón. Dispositivo de transferencia de carga en las juntas de contracción.

CAPITULO 6.3.1.

ÁRIDOS COMPONENTES DEL HORMIGÓN

SECCION 6.3.1.1. | MÉTODO PARA EXTRAER Y PREPARAR MUESTRAS (ASTM C 75 AASHTO T2)

6.3.1.1.1. OBJETO

Este método de ensayo establece los procedimientos para extraer y preparar las muestras representativas de áridos finos, gruesos e integrales para fines de ensayo. Se aplicará a los áridos naturales y triturados.

6.3.1.1.2. DEFINICIONES

A. MUESTRAS DEL YACIMIENTO

Muestra representativa de áridos en su sitio de depósito natural, no sometido a tratamiento alguno.

B. MUESTRA DE PRODUCCIÓN

Muestra representativa de áridos removido de su depósito natural y sometido a cualquier tratamiento como trituración, lavado o clasificación y que se encuentra sobre cintas transportadoras, o almacenado junto al lugar de extracción o tratamiento.

C. MUESTRA DE OBRA

Muestra representativa de áridos que se encuentra en una obra, ya sea sobre vehículos o almacenado.

D. MUESTRA GEMELA

Conjunto de dos o más fracciones de muestra, separadas por cuarteo según Sección 6.3.1.2. Dichas muestras pueden emplearse para verificar el efecto de los procedimientos de ensayo (operador, equipo, etc.) en la dispersión de los resultados.

6.3.1.1.3. EQUIPOS Y MATERIALES

Las herramientas y accesorios mínimos necesarios para las operaciones de muestreo incluyen pala, bolsas o sacos, cajas o recipientes y otros que sean necesarios considerar para los procedimientos que se establecen en el presente método.

6.3.1.1.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. ASPECTOS GENERALES

Dado que el muestreo es tan importante como los ensayos mismos, el muestreador debe tomar todas las precauciones necesarias para obtener muestras que sean representativas del material que se va a analizar.

Para ello, personal debidamente experimentado debe inspeccionar el material por muestrear en superficie o a través de pozos de prueba o sondajes, según corresponda, a fin de determinar su homogeneidad con un adecuado nivel de confiabilidad

B. TAMAÑO DE LA MUESTRA

B.1. Muestra de terreno.

La cantidad de muestra tomada en terreno debe ser tal que represente la naturaleza y condición de los áridos. Redúzcala por cuarteo según Sección 6.3.1.2 hasta obtener una cantidad de al menos el doble de la requerida como muestra de laboratorio, conservando el material restante de la reducción como contramuestra ante cualquier eventualidad.

Nota 1: La contramuestra se conservará en el lugar de extracción debidamente identificada y almacenada en bolsas, cajas o recipientes, de modo de evitar contaminaciones, pérdidas o alteraciones del material.

B.2. Muestra de laboratorio.

La cantidad de muestra necesaria para ser enviada al laboratorio depende del tipo y número de ensayos a los cuales será sometido el material. Generalmente las cantidades mínimas requeridas para los ensayos básicos de calidad son las siguientes:

- Áridos fino: 30 kg.
- Áridos gruesos: Una cantidad en Kg equivalente a 2 veces el tamaño máximo absoluto de los áridos grueso, expresado este último en mm.
- Áridos integral: En este caso se cumplirá simultáneamente con las cantidades mínimas requeridas para los distintos tipos de áridos antes mencionados.

Nota 2: Para ensayos adicionales y/o especiales se aumentarán los tamaños indicados en 6 b) en la cantidad requerida para ellos.

6.3.1.1.5. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS PARA RECONOCIMIENTO DE YACIMIEN- TOS

A. PROCEDIMIENTOS DE EXTRACCIÓN

a) Yacimiento con frente descubierto. Inspeccione la(s) cara(s) del yacimiento, para determinar variaciones importantes o existencia de estratos. Extraiga muestras por fajas verticales del frente de explotación, de acuerdo con la homogeneidad del material, la forma de explotación y la facilidad de acceso. Registre el ancho de la faja, la profundidad horizontal y las cotas verticales de extracción de muestras si ello es procedente, además registre las diferencias observables en el color y la estructura.

b) Yacimiento sin frente descubierto. Extraiga muestras representativas de los diferentes estratos, identificados en cada pozo de prueba o sondaje, tomando tres o más porciones de cada uno de ellos. Registre la profundidad relativa de extracción de la muestra y el espesor del (de los) estrato (s).

B. FRECUENCIA DE MUESTREO

a) En yacimientos con frente descubierto, extraiga muestras de fajas verticales ubicadas a distancias inferiores a 30 m.

b) En yacimientos sin frente descubierto, ejecute al menos un pozo de prueba o sondeo cada 5.000 m², uniformemente distribuidos y cubriendo el área de estudio.

6.3.1.1.6. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DE PRODUCCIÓN

De preferencia las muestras de material procesado se extraerán de cintas transportadoras. Si esto no es aplicable, se extraerán muestras desde silos, tolvas o depósitos, o bien desde acopios.

A. PROCEDIMIENTOS DE EXTRACCIÓN

a) Cintas transportadoras. Detenga la cinta a intervalos regulares de tiempo y extraiga porciones de áridos, que correspondan a todo material comprendido entre dos secciones transversales a la cinta, distanciadas en aproximadamente 1 m. Extraiga tres o más porciones de áridos hasta completar la muestra.

b) Silos, tolvas o depósitos. Extraiga porciones de áridos en el flujo de la descarga sin incluir el primer y último 10% de ésta. Tome tres o más porciones de material hasta completar la muestra. Emplee, en lo posible, un recipiente que abarque todo el flujo del material.

c) Acopios. Utilizando un cargador frontal, extraiga porciones de áridos en distintos niveles y ubicaciones rodeando el acopio, evitando sacar material de las zonas inferior y superior de éste.

Con las porciones extraídas forme un pequeño acopio debidamente homogeneizado, aplanando su parte superior. Desde éste extraiga manualmente las porciones necesarias para conformar la muestra.

B. FRECUENCIA DE MUESTREO

Adopte como frecuencia mínima de muestreo la correspondiente al menor volumen indicado en los siguientes puntos:

a) Extraiga una muestra cada 1.000 m³ de cada tipo de áridos producido.

b) Extraiga una muestra correspondiente al volumen de cada tipo de áridos producido en un mes.

6.3.1.1.7. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DE OBRA

Las muestras se extraerán desde vehículos o desde el material almacenado. Establezca un control de calidad durante la recepción del material y disponga los acopios según las diferencias que se observen.

Nota 3: El control del material almacenado tiene por objetivo cuantificar los efectos de las manipulaciones realizadas y proporcionar antecedentes para el uso de los áridos.

A. PROCEDIMIENTOS DE EXTRACCIÓN

a) Vehículos. Extraiga porciones de áridos en tres o más puntos, profundizando aproximadamente hasta la mitad de la altura de la carga o a intervalos regulares de tiempo durante la descarga.

b) Silos, tolvas o depósitos. Proceda de acuerdo con 9 b).

c) Acopios. Proceda de acuerdo con 9 c).

B. FRECUENCIA DE MUESTREO

a) Control de recepción

Extraiga al menos una muestra de cada tipo de áridos por cada 500 m³ recepcionados.

Extraiga una muestra cada vez que se cambie de fuente de abastecimiento o se aprecien cambios de calidad del material.

El profesional a cargo podrá disminuir la frecuencia mínima establecida hasta en un 50%, cuando se verifique que no hay cambios significativos en las características del material.

c) Control para el uso

Extraiga una o más muestras de cada tipo de pétreo por cada 250 m³ por emplear.

Extraiga una muestra cada vez que se aprecien cambios de calidad del material, debido a tiempo prolongado de almacenamiento en obra, contaminaciones, segregaciones, etc.

El profesional a cargo podrá disminuir la frecuencia mínima establecida hasta en un 50%, cuando se verifique que no hay cambios significativos en las características del material.

6.3.1.1.8. PREPARACIÓN DE MUESTRAS

A. MEZCLADO

Mezcle con pala, sobre una superficie horizontal y limpia, las porciones de áridos obtenidas del muestreo hasta obtener una muestra homogénea, asegurando la incorporación de todas las partículas más finas que la componen. Si se requiere determinar el grado de variabilidad de un acopio, las porciones extraídas de las distintas zonas de éste no deben mezclarse entre sí.

B. REDUCCIÓN

Reduzca por cuarteo según Sección 6.3.1.2 el tamaño de la muestra extraída, para obtener el tamaño de muestra de laboratorio especificado en 6 b).

C. TRANSPORTE A LABORATORIO

Transporte las muestras en bolsas, cajas o recipientes confeccionados de tal manera de evitar pérdidas de material. Identifíquelas claramente, de acuerdo a lo indicado en "Registro", con marcas indelebles protegidas de cualquier eventual deterioro.

6.3.1.1.9. REGISTRO

Cada muestra para laboratorio llevará un registro en que se indicarán los siguientes datos:

A. INFORMACIÓN MÍNIMA.

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Identificación del muestreador (nombre, entidad y/o laboratorio).
- c) Tipo de material.
- d) Procedencia del material.
- e) Tamaño aproximado de la muestra (kg/m³).
- f) Cantidad de material que representa la muestra (m³).
- g) Procedimiento de extracción utilizado.

h) Empleo propuesto.

i) Ensayos requeridos.

j) Fecha de extracción.

Información Optativa

a) Ubicación y nombre del yacimiento, depósito, planta de manufacturado u obra.

b) Capacidad de producción o consumo diario estimado.

c) Procedimientos de explotación y/o manufacturado.

d) Radio de alcance (zona que abastece).

e) Cualquier información específica relativa a las características del árido o a los requisitos de empleo.

SECCION 6.3.1.2. | MÉTODO PARA EL CUARTEO DE MUESTRAS (ASTM C 702 AASHTO T248)

6.3.1.2.1. OBJETO

Los diferentes tipos y tamaños de áridos requieren que la muestra sea representativa para los varios ensayos a los que será sometida. El material obtenido en terreno debe ser siempre mayor que la cantidad de la muestra requerida para el ensayo.

El material debe ser reducido en cantidad de acuerdo al ensayo que se le va a practicar. Este método establece dos procedimientos, uno manual y otro mecánico, para la reducción de muestras de suelos y áridos en general. Los mejores resultados se obtienen usando un cuarteador metálico de un tamaño adecuado.

6.3.1.2.2. PROCEDIMIENTO MANUAL

A continuación se describe un método para reducir la cantidad del material, cuarteándola manualmente, para obtener muestras menores que 100 kg.

- a) Para llevar a cabo el cuarteo, el material debe estar húmedo; si está seco, humedézcalo añadiendo agua limpia con un rociador. Mezcle bien el material hasta formar una pila en forma de cono; revuelva de nuevo hasta formar un nuevo cono; repita esta operación tres veces.
- b) Distribuya una palada llena del material tan uniformemente como sea posible sobre una lona u otra superficie lisa, plana y ancha. Una lona de 150 x 150 cm. será suficiente. Cuando la cantidad del material es pequeña, se puede usar una plana de albañil.

Continúe colocando material en capas, una sobre la otra, hasta que se haya distribuido todo el material formando un montón plano y ancho, cuyo espesor y distribución de los tamaños de áridos sea razonablemente uniforme. No permita la conicidad de áridos.

- c) Divida el montón en cuatro partes iguales, con una pala de borde recto o una plancha de metal.
- d) Cuando emplee una lona, el cuarteo puede hacerse convenientemente insertando un palo delgado o varilla por debajo de la lona y levantándola para así dividir la muestra en partes iguales, primero en dos mitades iguales y luego en cuartas partes. (Ver Figura 6.3_1).
- e) Remueva dos cuartas partes opuestas y colóquelas a un lado, cuidando de retirar todo el material fino limpiando los espacios despejados con una brocha o escoba.
- f) Repita el procedimiento indicado desde a) a d) con la porción restante de áridos, hasta que obtenga una muestra de ensayo del tamaño deseado.

- g) Si lo desea, puede guardar la porción que colocó a un lado para luego hacer un posible ensayo de comprobación.

6.3.1.2.3. PROCEDIMIENTO CON CUARTEADOR METÁLICO O MECÁNICO

El método para reducir a muestras menores que 100 kg mediante un cuarteador metálico es el siguiente: **(Ver Figura 6.3_2).**

- a) Coloque la muestra en uno de los recipientes del cuarteador.
- b) Vacíe la muestra en el cuarteador.
- c) Separe el material correspondiente a uno de los recipientes.
- d) Repita el procedimiento con el material del recipiente restante hasta obtener el tamaño de muestra requerido.

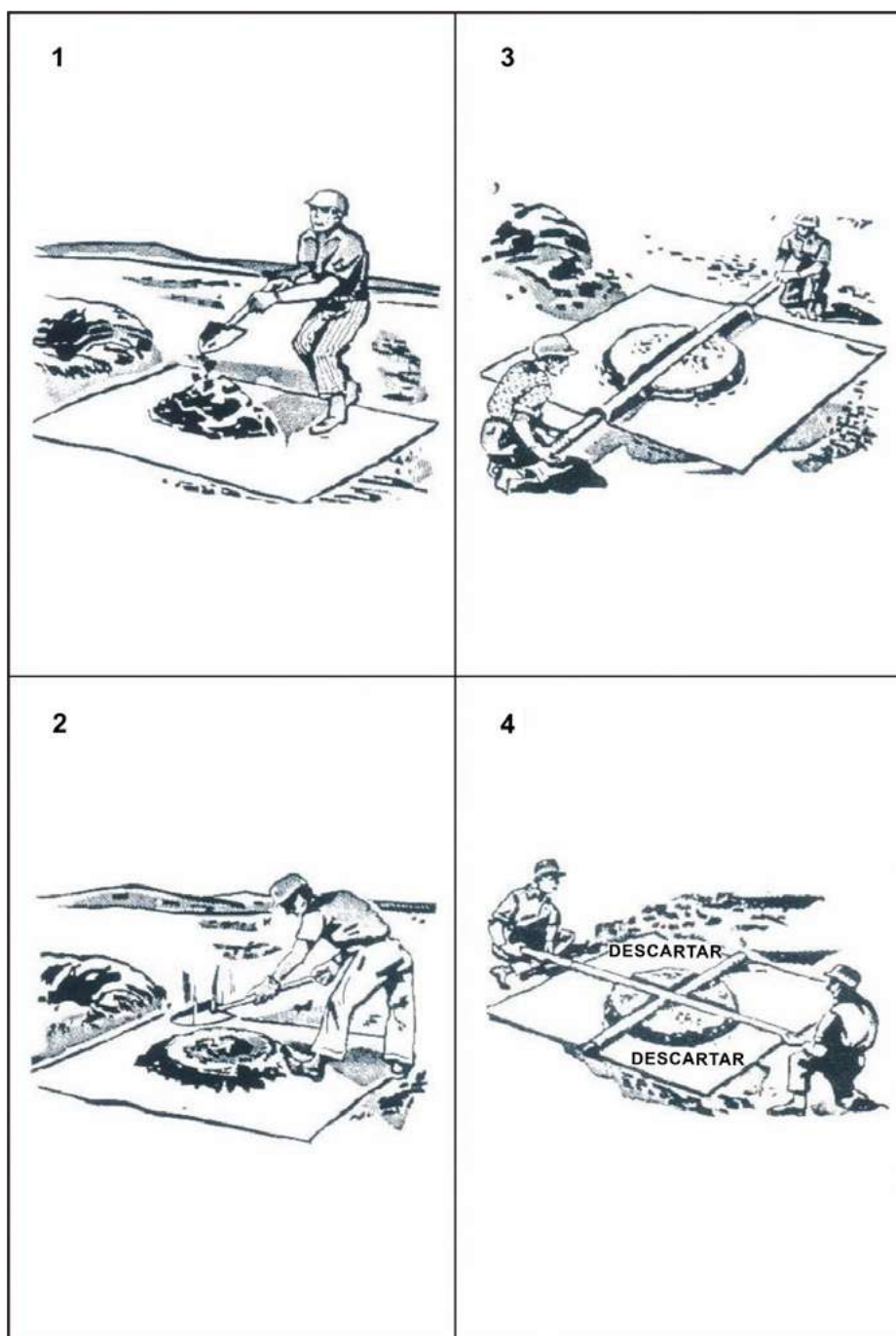


Figura 6.3_1. CUARTEO DE MUESTRAS

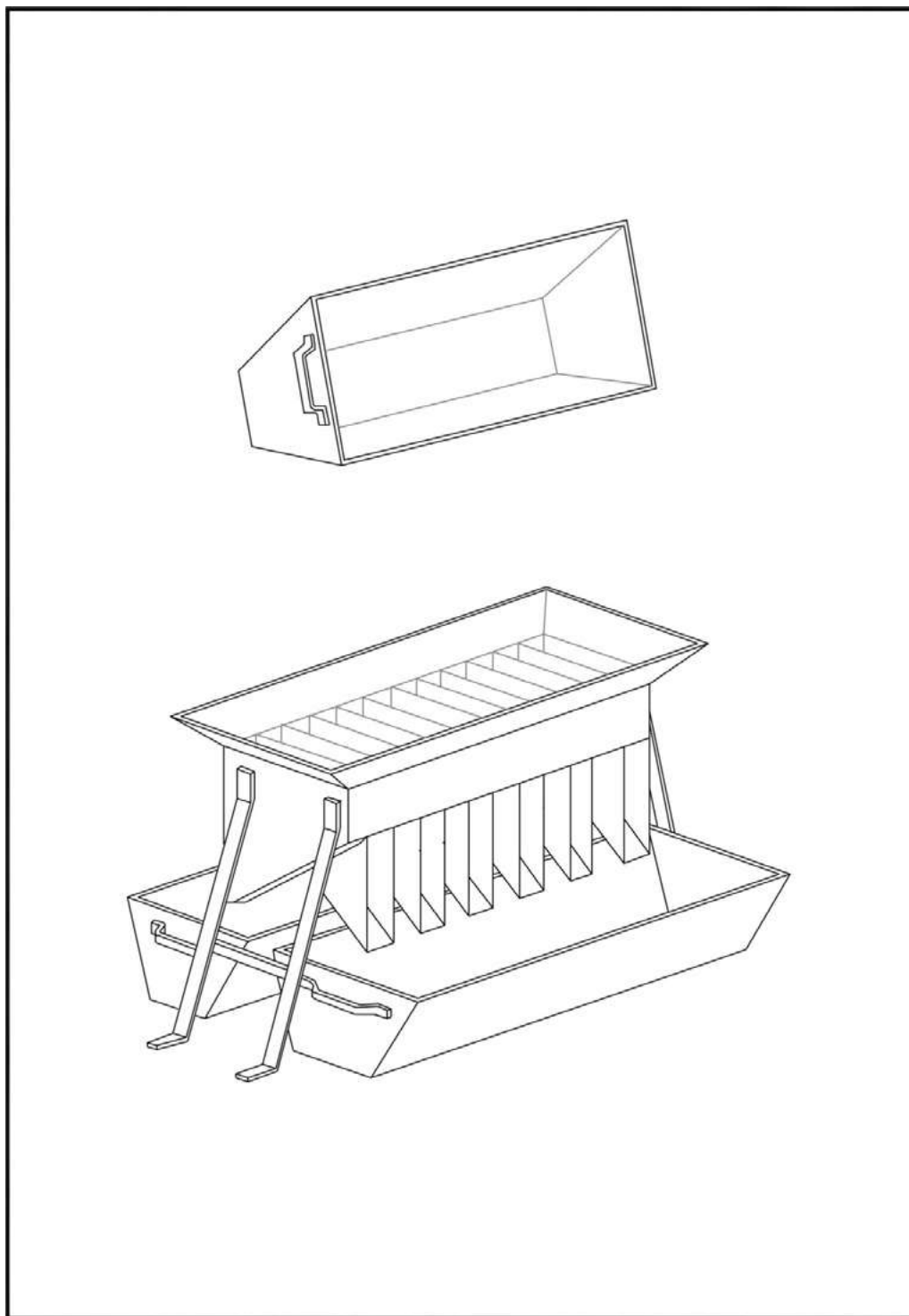


Figura 6.3_2. CUARTEADOR

SECCION 6.3.1.3.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE PARTÍCULAS DESMENU- ZABLES (ASTM C 142 AASHTO T112)

6.3.1.3.1. OBJETO

Este método establece un procedimiento para determinar el contenido de partículas desmenuzables en los áridos. Se aplica a los áridos que se utilizan en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

6.3.1.3.2. DEFINICIONES

A. PARTÍCULAS DESMENUZABLES

Son aquellas partículas contenidas en los áridos que pueden desmenuzarse con la presión de los dedos.

6.3.1.3.3. EQUIPOS Y MATERIALES

A. BALANZA

De capacidad superior a la masa de la muestra de ensayo y una precisión de 0,1 g.

B. RECIPIENTES

De material resistente, no absorbente y químicamente inerte con los áridos y el agua, estancos y de capacidad tal que permitan distribuir toda la muestra de ensayo en una capa delgada.

C. TAMICES

De malla de alambre y abertura cuadrada que cumplan con la Sección 6.3.1.4. Emplee la serie de aberturas nominales de: 37,5mm (1 1/2"), 19mm (3/4"), 9,5mm (3/8"), 4,75mm (Nº 4), 2,36mm (Nº 8), 1,18mm (Nº 16), 0,6mm (Nº 30) y 0,3mm (Nº 50).

D. HORNO

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

6.3.1.3.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con las **Secciones 6.3.1.1 y 6.3.1.2.**

B. ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Emplee material previamente lavado o bien material proveniente del ensayo de determinación de material fino inferior a 0,075mm (Nº 200), según **Sección 6.3.1.6.**

En el caso de materiales integrales o mal harneados, deje constancia en el informe y separe el material en áridos fino y áridos grueso mediante el tamiz de 4,75mm (Nº 4) o 2,36mm (Nº 8),

según corresponda a hormigón o asfalto respectivamente. Determine y registre el porcentaje en masa de ambas fracciones.

Nota 1: Se consideran mal harneados los áridos finos que retienen más de 5% sobre el tamiz de referencia y los áridos gruesos que dejan pasar más de 5 % por el mismo tamiz.

- a. Seque la muestra hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 10^{\circ}\text{F}$).

C. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

C.1.Árido fino.

Debe tener el tamaño especificado en la **Tabla 6.3_ 1**

C.2.Árido Grueso.

Debe tener un tamaño tal, que permita obtener las fracciones de muestra especificadas en **Tabla 6.3_ 1**

Tabla 6.3_1. TAMAÑO MÍNIMO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Árido fino

Tamaño de partículas (mm)	Masa mínima de la muestra (g)
Hormigón 1,18 – 4,75	100
Asfalto 0,6 – 2,36	100

Árido grueso

* Fracción	Tamaño de partículas (mm)	Masa mínima de la fracción (g)
1	37,5	5.000
2	19 - 37,5	3.000
3	9,5 - 19	2.000
4	4,75 - 9,5	1.000
5	2,36 - 4,75	500

* Fracción 1, 2, 3 y 4 para hormigón.

Fracción 1, 2, 3, 4 y 5 para asfalto.

- b. Los tamaños de muestra del árido grueso, se deben tomar considerando el porcentaje parcial retenido (Ppr) de cada fracción, determinado mediante tamizado según **Sección 6.3.1.4**, en la forma siguiente:

- a) Ensaye las fracciones indicadas siempre que el Ppr sea igual o mayor que 5 %.
- b) No ensaye las fracciones que tengan un Ppr menor que 5% (ver 19).

6.3.1.3.5. PROCEDIMIENTO

- a. Pese la muestra o fracción de muestra de ensayo en estado seco y registre su masa inicial (mi), aproximando a 0,1 g en el pétreo fino y a 1 g en el pétreo grueso.
- b. Esparza el material de cada muestra o fracción de muestra en una capa delgada sobre el

fondo de un recipiente, cúbrala con agua destilada y déjela remojando durante 24 ± 4 h.

- c. Finalizado el plazo de inmersión, deshaga las partículas desmenuzables, comprimiéndolas y frotándolas entre los dedos.

Nota 2: Las partículas no deben deshacerse empleando las uñas ni comprimiéndolas contra superficies duras.

- d. Después de deshacer todas las partículas desmenuzables, separe el residuo mediante tamizado húmedo, empleando el tamiz que corresponda de acuerdo con la **Tabla 6.3_2**, según el tamaño de las partículas ensayadas.

Tabla 6.3_2. tAMICES PARA SEPARAR RESIDUOS

Árido fino

Tamaño de partículas (mm)	Abertura nominal del tamiz (mm)
Hormigón 1,18 – 4,75	0,630
Asfalto 0,6 – 2,36	0,315

Árido grueso

* Fracción	Tamaño de partículas (mm)	Abertura nominal del tamiz (mm)
1	37,5	4,75 (Nº 4)
2	19 - 37,5	4,75 (Nº 4)
3	9,5 - 19	4,75 (Nº 4)
4	4,75 - 9,5	2,36 (Nº 8)
5	2,36 - 4,75	1,18 (Nº 16)

*Fracción 1, 2, 3 y 4 para hormigón

Fracción 1, 2, 3, 4 y 5 para asfalto

- e. Efectúe el lavado dejando caer agua corriente sobre la muestra o fracción de muestra colocada en el tamiz correspondiente, agite manualmente hasta eliminar todos los residuos de partículas desmenuzables.
- f. Retire las partículas retenidas y séquelas hasta masa constante en horno a temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 10^\circ \text{F}$). Luego deje enfriar a temperatura ambiente.
- g. Mida y registre la masa del material retenido como masa final de la fracción correspondiente (m_f), aproximando a 0,1 g en el árido fino y a 1 g en el árido grueso.

6.3.1.3.6. CÁLCULOS

A.ÁRIDO FINO

Calcule el contenido de partículas desmenuzables del árido fino como la pérdida de masa de la muestra de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 0,1%:

$$P (\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100$$

Donde:

- P: Pérdida de masa del árido fino (%).
- m_i : Masa inicial de la muestra del árido fino (g).
- m_f : Masa final de la muestra del árido fino (g).

B.ÁRIDO GRUESO

- a) Calcule el porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción de muestra de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 0,1 %:

$$P_n (\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times P_{pr}$$

Donde:

- P_n : Porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción de muestra de árido grueso (%)
 - m_i : Masa inicial de la fracción (g)
 - m_f : Masa final de la fracción (g)
 - P_{pr} : Porcentaje parcial retenido correspondiente a la fracción el análisis granulométrico (%).
- b) Considere que las fracciones no ensayadas de acuerdo con lo especificado en el punto 10, tienen una pérdida de masa igual a la media aritmética de las pérdidas de las dos fracciones inmediatamente superior e inferior. Si se trata de una fracción extrema, considere que tiene una pérdida igual a la de la fracción más próxima.
- c) Calcule el contenido de partículas desmenuzables del árido grueso como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra, de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a 0,1 %:

$$P(\%) = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4)$$

Nota 3: para Asfalto, considerar además P_5 .

6.3.1.3.7. INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Procedencia de la muestra.
- c) Resultado del ensayo.
- d) Fecha de ensayo.
- e) Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al pétreo (por ejemplo serie de tamices empleada).
- f) Referencia a este método.

SECCION 6.3.1.4. MÉTODO PARA TAMIZAR Y DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA (ASTM C 136 AASHTO T27)

6.3.1.4.1. OBJETO

Este método establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

6.3.1.4.2. DEFINICIONES

A. GRANULOMETRÍA

Distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un árido.

B. PORCENTAJE PARCIAL RETENIDO EN UN TAMIZ

Porcentaje en masa correspondiente a la fracción directamente retenida en un determinado tamiz.

C. PORCENTAJE ACUMULADO RETENIDO EN UN TAMIZ

Porcentaje en masa de todas las partículas de mayor tamaño que la abertura de un determinado tamiz. Se calcula como la suma del porcentaje parcial retenido en ese tamiz, más todos los porcentajes parciales retenidos en los tamices de mayor abertura.

D. PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA POR UN TAMIZ

Porcentaje en masa de todas las partículas de menor tamaño que la abertura de un determinado tamiz. Se calcula como la diferencia entre el 100% y el porcentaje acumulado retenido en ese tamiz.

6.3.1.4.3. EQUIPOS Y MATERIALES

1. Balanza

Debe tener una capacidad superior a la masa de la muestra más el recipiente de pesaje y una precisión de 0,1 g.

2. Tamices

Son tejidos, de alambre y abertura cuadrada, y sus tamaños nominales de abertura pertenecen a las series que se indican en la **Tabla 6.3_3**, esta serie de tamaños numerales esta normada por IBNORCA.

Tabla 6.3_3. SERIE DE TAMICES ESCOGIDOS

Tamaños nominales de abertura	mm	75	63	50	37,5	25	19	12,5	9,5	6,3
ASTM		(3")	(2 ½")	(2")	(1 ½")	(3/8")	(3/4")	(1/2")	(3/8")	(¼")

Tamaños nominales de abertura	mm	4,75	2,36	2,0	1,18	0,6	0,3	0,15	0,075
	ASTM	(Nº4)	(Nº8)	(Nº10)	(Nº 16)	(Nº 30)	(Nº50)	(Nº100)	(Nº200)

Nota 1: Cuando no se cuente con tamices de aberturas nominales en mm, los tamaños nominales de los tamices podrán ser los correspondientes a ASTM.

- a) Los marcos de los tamices deben ser metálicos y suficientemente rígidos y firmes para fijar y ajustar las telas de alambre, a fin de evitar pérdidas de material durante el tamizado y alteraciones en la abertura de las mallas. Deben ser circulares, con diámetros de 200 mm y 300 mm, preferentemente para los gruesos.
- b) Cada juego de tamices debe contar con un depósito que ajuste perfectamente, para la recepción del residuo más fino.
- c) Cada juego de tamices debe contar con una tapa que ajuste perfectamente para evitar pérdidas de material.

3. Horno

Provisto de circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

4. Herramientas y accesorios

Espátulas, brochas, recipientes para secado, recipientes para pesaje, etc.

6.3.1.4.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con las Secciones 6.3.1.1 y 6.3.1.2

Nota 2: Las muestras de áridos finos o áridos mezclados deben humedecerse antes de la reducción para evitar segregaciones y pérdida de polvo.

B. ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

- a) Homogenice cuidadosamente el total de la muestra de laboratorio en estado húmedo y redúzcala por cuarteo, de acuerdo con la Sección 6.3.1.2 hasta que obtenga, cuando esté seca, un tamaño de muestra ligeramente superior a los valores que se indican en el punto "Tamaño de la muestra de ensayo".
- b) No se debe reducir la muestra de laboratorio en estado seco, ni tampoco reducirla a una masa exacta predeterminada.
- c) Seque la muestra hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$.

C. TAMAÑO DE A MUESTRA DE ENSAYO

C.1. Para el árido fino

- a) Cuando se emplean los tamices de 200 mm de diámetro, la muestra de ensayo en estado seco debe tener una masa ligeramente superior a los valores que se indican en **Tabla 6.3_4**.

Tabla 6.3_4. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO DEL ÁRIDO FINO

Tamiz (mm)	% Retenido	Masa mínima de la muestra (g)
4,75	≤ 5	500
2,36	≤ 5	100

- b) Los tamaños de muestra indicados en la **Tabla 6.3_4** podrán aumentarse proporcionalmente cuando se empleen tamices de mayor tamaño, siempre que se cumpla lo establecido en 9 c).
- c) La masa máxima de la muestra será tal que la fracción retenida en cualquiera de los tamices al terminar la operación de tamizado sea inferior a 0,6 g por cm³ de superficie de tamizado. En tamices de 200 mm de diámetro dicha fracción debe ser inferior a 200 g.

C.2. Para los áridos gruesos.

- a) Cuando se emplean tamices de 300 mm de diámetro, la muestra de ensayo en estado seco debe tener una masa ligeramente superior a los valores que se indican en **Tabla 6.3_5**

Tabla 6.3_5. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO DEL ÁRIDO GRUESO

Tamaño máximo absoluto (mm)	Masa mínima de la muestra (KG)
75	32
63	25
50	20
37,5	16
25,0	10
19	8
12,5	5
9,5	4

- b) Cuando una muestra contenga una fracción de árido fino superior al 15%, el material debe separarse por el tamiz de 4,75 mm o 2,36 mm, según corresponda a hormigón o asfalto, respectivamente, debiéndose determinar y registrar el porcentaje en masa de ambas fracciones. Trate las fracciones de árido fino y árido grueso de acuerdo con 9 y 10, respectivamente.
- c) Los tamaños de muestra indicados en la **Tabla 6.3_5** podrán aumentarse proporcionalmente cuando se empleen tamices de mayor tamaño, siempre que se cumpla lo que establece el 10 d).
- d) La masa máxima de la muestra debe ser tal que la fracción retenida en cualquiera de los tamices al terminar la operación de tamizado pueda distribuirse en una sola capa sobre la malla de tejido de alambre.

6.3.1.4.5. PROCEDIMIENTO

A. PREPARACIÓN DE TAMICES

Seleccione un juego de tamices de acuerdo con la especificación correspondiente al material por ensayar. Dispóngalos según aberturas decrecientes, montados sobre el depósito receptor y provisto de su tapa. Todos estos elementos deben estar limpios y secos. Verifique los tamaños de abertura de las mallas, a lo menos una vez cada seis meses.

B. TAMIZADO

Efectúelo en dos etapas:

- Un tamizado inicial que puede ser manual o mecánico
- Un tamizado final que debe ser manual.

Nota 3: Se recomienda efectuar primero un tamizado húmedo por el tamiz de 0,075 mm de acuerdo con la Sección 6.3.1.6, y después efectuar el tamizado de acuerdo con el presente método. Para el cálculo de la granulometría tome como base 100%, la pesada de la muestra de ensayo en estado seco previa al tamizado húmedo.

C. TAMIZADO INICIAL

- Determine la masa de la muestra de ensayo en estado seco, registre aproximando a 1 g para áridos finos y a 10 g para áridos gruesos; vacíela sobre el tamiz superior y cubra con la tapa.
- Agite el conjunto de tamices por un período suficiente para aproximarse a la condición que se establece en 14 g).

D. TAMIZADO FINAL

- Retire el primer tamiz, provisto de depósito y tapa.
- Sosténgalo de un costado con una mano, manteniéndolo ligeramente inclinado.
- Golpee firmemente el costado libre hacia arriba con la palma de la otra mano a un ritmo de 150 golpes/min.
- Gire el tamiz cada 25 golpes en 1/6 de vuelta. Al completar cada ciclo de 150 golpes, pese separadamente el material retenido sobre el tamiz y el material que pasa, recogido en el depósito.
- Traslade el material que pasa en cada ciclo al tamiz siguiente.
- Repita el ciclo en el mismo tamiz con el material retenido hasta que se recoja en el depósito una masa inferior al 1% de la masa retenida, con lo cual dé por terminado el tamizado de esa fracción.
- Retire el tamiz siguiente provisto de depósito y tapa para efectuar con dicho tamiz los ciclos necesarios, y así sucesivamente hasta completar todos los tamices.

Nota 4: Si resulta difícil el tamizado manual de gravas con tamices de 300 mm de diámetro, se recomienda efectuar los ciclos en tamices de 200 mm de diámetro, cuidando que el material pueda distribuirse formando una sola capa.

E. DETERMINACIÓN DE LA MASA

- Determine la masa final del material retenido en cada tamiz y del material que pasa por el tamiz de menor abertura, recogido en el depósito. Registre con la aproximación que sea mayor entre 1 g y 0,1% de la pesada.

6.3.1.4.6. CÁLCULOS

- a. Sume y registre la masa total (100%) de las fracciones retenidas en todos los tamices y en el depósito receptor. Esta suma no debe diferir de la masa inicial registrada en 13, en más de 3% para los áridos finos y de 0,5% para los áridos gruesos.
- b. Cuando no se cumpla con lo especificado en 16, rechace el ensayo y efectúe otro con una muestra gemela.
- c. Calcule el porcentaje parcial retenido en cada tamiz, referido a la masa total de las fracciones retenidas, aproximando al 1%.
- d. Exprese la granulometría como porcentaje acumulado que pasa, indicando como primer resultado el del menor tamiz en que pasa el 100% y como último resultado, el del primer tamiz en que el porcentaje sea 0%.
- e. Adicionalmente la granulometría se puede expresar de acuerdo con cualquiera de las siguientes formas:
 - Como porcentaje acumulado retenido, indicando como primer resultado el del menor tamiz en que queda retenido un porcentaje igual a 0%, y como último resultado el del primer tamiz en que el porcentaje acumulado retenido sea 100%.
 - Como porcentaje parcial retenido.

6.3.1.4.7. EXPRESIÓN GRÁFICA

La expresión gráfica de la granulometría de los áridos, se debe hacer en un sistema de coordenadas ortogonales, cuya abscisa, a escala logarítmica, indica las aberturas nominales y cuya ordenada, a escala lineal, indica los valores de la granulometría en las formas señaladas en 19 y 20.

SECCION 6.3.1.5. CONTENIDO APROXIMADO DE MATERIA ORGÁNICA EN ARENAS USADAS EN LA PREPARACIÓN DE MORTEROS Y HORMIGONES (ASTM C 40 AASHTO T21)

6.3.1.5.1. OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar, por comparación de coloraciones, la presencia de impurezas orgánicas en las arenas. Las prescripciones de este método se aplican a las arenas para hormigones.

6.3.1.5.2. DEFINICIONES

E.1. Índice de Coloración

En términos de ácido tánico, superior a 500 partes por millón, es la característica de una solución que tiene una intensidad de color superior a la solución tipo preparada de acuerdo con el punto 5.

6.3.1.5.3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Extraiga y prepare las muestras de arena en conformidad con la Sección 6.3.1.1 y 6.3.1.2.

6.3.1.5.4. REACTIVOS

E.1. Solución de Ácido Tánico al 2%.

Se prepara disolviendo 2 g de ácido tánico en una mezcla de 10 ml de alcohol de 95% y 90 ml de agua destilada.

E.2. Solución de Hidróxido de Sodio al 3%.

Se prepara disolviendo 30 g de hidróxido de sodio en 970 g de agua destilada.

E.3. Solución Tipo de Ácido Tánico, de 500 partes por millón.

Se prepara agregando 2,5 ml de la solución de ácido tánico al 2% a 97,5 ml de la solución de hidróxido de sodio al 3%. Agite y deje en reposo durante 24 h.

E.4. Ácido Tánico

El ácido tánico empleado en la preparación de la solución tipo indicada en el punto 5, debe cumplir con las siguientes condiciones:

- a) Al adicionar un volumen igual de alcohol a una solución acuosa de ácido tánico al 20%, no deberá producirse turbidez.
- b) Al agitar una solución acuosa al 20% con la mitad de su volumen de éter, éste debe permanecer límpido.

- c) La pérdida en peso del ácido tánico, determinada por calentamiento de éste a 100°C, no debe exceder del 10%.
- d) El peso de las cenizas obtenidas por calcinación de una muestra de ácido tánico, no debe exceder del 0,2 % del peso de ésta.

6.3.1.5.5. PROCEDIMIENTO

- a) Coloque en un frasco, de vidrio blanco transparente, 200 g de la muestra de arena junto con 100 ml de la solución de hidróxido de sodio al 3%, o un múltiplo de esas cantidades. Agite vigorosamente el frasco y deje en reposo durante 24 h.
- b) Compare por colorimetría la solución tipo, colocada en un vaso de dimensiones y calidad igual al especificado en el párrafo anterior, con la solución indicada en el punto a). Ambas soluciones deberán prepararse simultáneamente.
- c) Como resultado de la determinación colorimétrica, informe la coloración de la solución en estudio, indicando si es más o menos intensa o de igual color que la solución tipo. Si la coloración es más intensa se considera que la muestra puede contener materia orgánica perjudicial.

SECCION 6.3.1.6.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL MATERIAL FINO MENOR QUE 0,075 MM (ASTM C 117 AASHTO T11)

6.3.1.6.1. OBJETO

El método establece el procedimiento mediante el tamizado húmedo para determinar el contenido de material fino compuesto por partículas inferiores a 0,075mm (Nº 200) en los áridos.

Este método se aplica al ensayo de áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, mezclas asfálticas y tratamientos superficiales. Es aplicable a materiales cuyo material fino no experimente alteraciones físicas o se aglomere por efecto del secado.

6.3.1.6.2. EQUIPOS Y MATERIALES

E.1. Balanza

Debe tener una capacidad superior a la masa de la muestra de ensayo más el recipiente de pesaje y una precisión de 0,1 g.

E.2. Tamices

Serán dos tamices, el superior de 1,18mm (Nº 16) y el inferior de 0,075mm (Nº 200).

E.3. Recipiente para lavado

Debe ser impermeable, estanco y de forma y tamaño tales que permitan contener la muestra de ensayo completamente cubierta por agua, y agitarla sin pérdida de partes de la muestra o del agua.

E.4. Horno

Provisto de circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

E.5. Herramientas y accesorios

Espátula, brocha, recipiente para pesaje, recipiente para secado, etc.

6.3.1.6.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

E.1. Extracción de muestras

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con las **Secciones 6.3.1.1** y **6.3.1.2**

E.2. Acondicionamiento de la muestra de ensayo

a. Homogenice cuidadosamente el total de la muestra de laboratorio en estado húmedo y redúzcala por cuarteo de acuerdo con la Sección 6.3.1.2, hasta obtener, cuando esté seca, el tamaño de muestra de ensayo que se indica en el punto "Tamaño de la muestra de ensayo". No se debe reducir cuando la muestra esté en estado seco, ni tampoco reducir hasta una masa exacta predeterminada.

b. Seque la muestra hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

Tamaño de la muestra de ensayo

- c. La muestra de ensayo en estado seco debe tener una masa ligeramente superior a los valores indicados en **Tabla 6.3_6**, de acuerdo al tamaño máximo nominal del árido.

Tabla 6.3_6. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Tamaño máximo de los áridos	Masa mínima de la muestra seca
37,5	5.000
19	2.500
9,5	2.000
4,75	500
2,36	100

6.3.1.6.4. PROCEDIMIENTO

- a. Determine y registre la masa inicial de la muestra de ensayo en estado seco (B), aproximando a 0,1 g para los áridos finos y a 1 g para los áridos gruesos o integral.
- b. Coloque la muestra de ensayo en el recipiente de lavado y agregue agua potable en cantidad suficiente para cubrirla.

Nota 1: Al agua no deben agregarse detergentes, agentes diluyentes o floculantes ni otras sustancias.

- c. Agite la muestra con agua, de modo de separar el material más fino, dejándolo en suspensión o en disolución.
- d. Vacíe inmediatamente el agua con el material más fino en suspensión y en disolución, a través de los tamices dispuestos de mayor a menor.
- e. Agregue nuevas cargas de agua y repita la operación hasta que el agua agitada con la muestra permanezca limpia y clara.
- f. Reúna el material retenido en ambos tamices con el material decantado en el recipiente de lavado.
- g. Seque el material reunido hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- h. Pese y registre la masa de la muestra de ensayo lavado y seco (C), aproximando a 0,1 g para los áridos finos y a 1 g para los áridos gruesos e integral.

6.3.1.6.5. CÁLCULOS

- a. Calcule el contenido de material fino inferior que 0,075mm (Nº 200) aproximando a 0,1%, según la fórmula siguiente:

$$A(\%) = \frac{B - C}{B} \times 100$$

Donde:

A: Contenido de material fino inferior que 0,075 (%)

- B: Masa inicial de la muestra de ensayo seca (g).
- C: Masa de la muestra de ensayo lavada y seca.
- b. Cuando el árido contenga sales solubles, determine previamente su contenido según el Método correspondiente y descuéntelo del resultado obtenido en 17.

6.3.1.6.6. INFORME

El informe incluirá lo siguiente:

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Clase de áridos.
- c) Procedencia de la muestra.
- d) Resultado del ensayo.
- e) Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al árido.
- f) Referencia a este método.

SECCION 6.3.1.7. | CONTENIDO TOTAL DE AGUA DE LOS ÁRIDOS POR SECADO (ASTM C 566)

6.3.1.7.1. OBJETO

Este método se aplica para determinar, por secado, el porcentaje de humedad evaporable, en una muestra de áridos.

6.3.1.7.2. USO Y SIGNIFICADO

- a. Este método es suficientemente exacto para propósitos normales, tales como el reajuste del peso de tongadas, durante la preparación de mezclas de hormigón. Generalmente, con él se mide la humedad en la muestra de ensayo, lo más confiablemente que puede hacerse, para representar un suministro de áridos.
- b. En raras ocasiones, cuando el árido mismo es afectado por la acción del calor, o cuando se necesitan medidas más refinadas, este ensayo puede no ser aplicable, o requerir modificaciones.
- c. En el caso de áridos gruesos, las partículas más grandes, especialmente las mayores de 50 mm (2"), requerirán de tiempos más prolongados para que el agua viaje del interior de la partícula hasta la superficie. El usuario del método deberá determinar por tanteos, si existen formas más rápidas y confiables para ejecutar este ensayo, con las partículas grandes.

6.3.1.7.3. EQUIPOS Y MATERIALES

E.1. Balanza

Una balanza o báscula exacta, legible y con precisión dentro del 0,1% de la carga de ensayo, en cualquier punto del intervalo de utilización. Dentro de cualquier intervalo igual al 10% de la capacidad del aparato de pesaje, la indicación del peso será exacta dentro del 0,1%, para las diferentes pesadas.

- Horno ventilado capaz de mantener la temperatura alrededor de la muestra, en $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$).
- Recipientes para muestras, que no se afecten por el calor; de un tamaño suficiente para contener la muestra, sin peligro de derramamiento, y con una forma tal, que el espesor de la muestra depositada, no exceda de un quinto de la menor dimensión lateral.

Precaución: Cuando se utilice horno microondas, el recipiente no deberá ser metálico.

- Agitador, cuchara metálica o espátula, de tamaño adecuado.

6.3.1.7.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

E.1. Muestreo

- a. El muestreo se hará generalmente de acuerdo a lo establecido en las **Secciones 6.3.1.1 y 6.3.1.2.**

E.2. Características de la muestra

- a. Obténgase una muestra representativa de áridos, con el contenido de agua que tiene, cuando se reciba de la fuente de suministro que está siendo ensayada, y que en el caso de áridos con peso normal, tengan el tamaño indicado en la **Tabla 6.3_7**.

Tabla 6.3_7. TAMAÑO DE MUESTRAS DE ÁRIDOS CON PESO NORMAL

Tamaño máximo nominal del agregado (A)		Peso mínimo de la muestra (B) (kg)
Normal (mm)	Alternativo (pulg)	
4,75	(Nº4)	0,5
9,5	(3/8")	1,5
12,5	(1/2")	2
19	(3/4")	3
25,0	(1")	4
37,5	(1 ½")	6
50,0	(2")	8
63,0	(2 ½")	10
75,0	(3")	13
90,0	(3 ½")	16
100,0	(4")	25
150,0	(6")	50

Basado en tamices de malla cuadrada.

Para determinar el peso mínimo de muestras de áridos livianos, multiplíquese el valor señalado, por la disminución aproximada de peso unitario seco en kg/m³ y divídase por 1600.

6.3.1.7.5. PROCEDIMIENTO

- Pésese la muestra con precisión del 0,1%, evitando pérdidas de humedad, por posibles demoras.
- Séquese enteramente la muestra en el recipiente, utilizando el horno, cuidando mucho que no se pierdan partículas de áridos. Un calentamiento demasiado rápido, puede ocasionar la explosión de algunas partículas, con la pérdida consecuente.
- La muestra estará enteramente seca, cuando un calentamiento posterior cause menos del 0,1% de pérdida de peso.
- Pésese la muestra seca con precisión del 0,1%, después de que se ha enfriado suficientemente, para no dañar la balanza.

6.3.1.7.6. CÁLCULOS

Calcúlese el contenido total de agua como sigue:

$$w_p = \frac{100 (W - D)}{D}$$

Donde:

- w_p : Humedad de la muestra (%).
- W: Peso original de la muestra (g).
- D: Peso de la muestra seca (g).

La humedad superficial es igual a la diferencia entre el contenido total de agua y la absorción, con todos los valores basados, en el peso seco. La absorción puede determinarse a partir de los ensayos **H0110**, para áridos finos y **H0109**, para áridos gruesos.

6.3.1.7.7. PRECISIÓN Y EXACTITUD

No hay datos suficientes para establecer un planteamiento sobre precisión y exactitud. Puesto que cualquier tamaño de muestra que supere las cantidades mínimas de la **Tabla 6.3_7** es admitido, se cree que no es posible establecer un planteamiento prefijado.

Puede desarrollarse, para cada aplicación particular de este método de ensayo, un señalamiento de precisión asociado con el tamaño real de la muestra y el equipo utilizado, (1) haciendo ensayos duplicados sobre porciones iguales de la misma muestra; (2) tomando muestras duplicadas, representativas del mismo árido. También, se podrían sacar datos de precisión de los procedimientos aplicados, añadiendo una cantidad conocida de agua, al árido seco, cuidando que no se pierda agua antes del ensayo.

SECCION 6.3.1.8.

MÉTODOS PARA DETERMINAR LA DENSIDAD APARENTE (ASTM E 30 ASTM C 29)

6.3.1.8.1. OBJETO

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad aparente de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

6.3.1.8.2. DEFINICIONES

E.1. Huecos

Espacios vacíos entre las partículas de un árido.

E.2. Poros

Espacios vacíos interiores de una partícula de áridos.

- a) Poro accesible: poro permeable o abierto.
- b) Poro inaccesible: poro impermeable o cerrado.

E.3. Densidad

Es la tasa entre la masa (m) de una sustancia y su volumen (v) a una temperatura especificada.

Se expresa en kilogramos por metro cúbico (kg/m³).

- a) Densidad aparente (densidad a granel; densidad bruta) (a). Densidad que considera el volumen macizo de las partículas de un árido más el volumen de los poros y de los huecos. Corresponde a la capacidad de la medida que lo contiene.
- b) Densidad aparente compactada (ac). Densidad aparente del árido compactado en la medida que lo contiene, según los procedimientos indicados en este método.
- c) Densidad aparente suelta (as). Densidad aparente de áridos vaciado en la medida que lo contiene, según el procedimiento indicado en este método.

E.4. Medida

Recipiente de capacidad volumétrica normal.

E.5. Secado hasta masa constante

Límite de secado en que dos pesadas sucesivas, separadas por una hora de secado en horno, difieren en un porcentaje igual o inferior al 0,1 % de la menor masa determinada.

6.3.1.8.3. EQUIPOS Y MATERIALES

E.1. Balanza

De capacidad superior a la masa de la medida llena con un árido de densidad aparente de 2.000 kg/m³ y una precisión de 0,1 g.

E.2. Horno

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

E.3. Varilla pisón

Barra cilíndrica de acero liso de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud, con sus extremos terminados en semiesferas de 16 mm de diámetro.

E.4. Medidas

Metálicas, impermeables y provistas de dos asas. Su forma interior debe ser un cilindro recto abierto por una de sus caras planas y rectificado para asegurar sus dimensiones.

- a) Dimensiones. Las dimensiones son las que se indican en la **Tabla 6.3_8** y podrán emplearse para áridos de tamaño máximo nominal igual o inferior a los señalados en la primera columna.

Tabla 6.3_8. DIMENSIONES DE LAS MEDIDAS

Tamaño máximo nominal de áridos (mm)	Capacidad volumétrica		Diámetro interior (mm)	Altura interior (mm)	Espesor mínimo del metal	
	m ³	L			Base (mm)	Pared (mm)
16	0,003	3	155±2	160±2	5	2,5
25	0,010	10	205±2	305±2	5	2,5
50	0,015	15	255±2	295±2	5	3,0
100	0,030	30	355±2	305±2	5	3,0

* Basado en tamices de abertura cuadrada de acuerdo con la **Sección 6.3.1.4**.

- b) Refuerzos. Además de cumplir con los espesores mínimos indicados en la **Tabla 6.3_8**, las medidas de 15 y 30 litros serán reforzadas en sus bordes por una pletina de 3 a 5 mm de espesor y 40 mm de ancho, a fin de conservar su forma y dimensiones interiores en el trabajo brusco que requiera este ensayo.
- c) Determinación de la capacidad volumétrica de la medida. Determine el volumen de la medida con una precisión de 0,1%, pesando la masa de agua que llena la medida y dividiendo esta masa por la densidad del agua a la temperatura en que se encuentra.

E.5. Herramientas y accesorios

Palas, brocha, caja para secado, etc., necesarias para los procedimientos establecidos en el presente método.

6.3.1.8.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con las **Secciones 6.3.1.2 y 6.3.1.2**.

B. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Será un volumen de áridos aproximadamente igual al doble de la capacidad volumétrica de la medida correspondiente.

C. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Pueden emplearse áridos provenientes del ensayo de tamizado, debidamente homogeneizados.

Seque la muestra de ensayo hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ y homogenícela cuidadosamente, asegurando la incorporación de todas las partículas más finas que la componen.

6.3.1.8.5. PROCEDIMIENTO

A. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE COMPACTADA

A.1. Procedimiento por apisonado

Se aplica a áridos de tamaño nominal igual o menor que 50mm (2").

- a) Llene la medida en tres capas de espesores aproximadamente iguales, teniendo la última capa un exceso de áridos por sobre el borde de la medida.
- b) Empareje cada capa y compacte mediante 25 golpes de pisón uniformemente repartidos.
- c) Apisone la capa inferior en todo su espesor evitando dañar el fondo de la medida.
- d) Apisone las capas superiores haciendo penetrar el pisón en la capa inmediatamente inferior.
- e) Elimine el exceso de áridos empleando la varilla pisón como regla de enrase, sin presionar (Nota 1).
- f) Determine y registre la masa (kg/m^3) de áridos compactado que llena la medida, aproximando al 0,1 %.

Nota 1: En los áridos gruesos se considera que las pequeñas salientes de algunas partículas se compensan con los huecos que quedan hacia el interior en relación al plano del borde de la medida, por lo tanto evite rellenar dichos huecos agregando partículas menores.

A.2. Procedimiento por percusión

Se aplica a los áridos de tamaño máximo nominal o superior que 50mm (2") e igual o inferior que 100mm (4").

- a) Llene la medida en tres capas de espesores aproximadamente iguales, teniendo la última capa un exceso de áridos por sobre el borde de la medida.
- b) Empareje cada capa.
- c) Compacte cada capa levantando la medida alternativamente por sus asas opuestas, a una altura aproximada de 5 cm. y dejándola caer contra una base firme (por ejemplo un pavimento de hormigón).
- d) Repita hasta completar 50 percusiones dejando caer la medida 25 veces de cada asa.

- e) Elimine el exceso de áridos empleando la varilla pisón como regla de enrase, sin presionar (**Nota 1**).
- f) Determine y registre la masa (kg/m^3) de áridos compactado que llena la medida, aproximando al 0,1%.

B. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE SUELTA

B.1. Procedimiento por simple vaciado

Se aplica a los áridos de tamaño máximo nominal igual o inferior que 100 mm.

Nota 2: Este procedimiento es también aplicable a los áridos finos en estado húmedo.

- a) Llene la medida con una pala, descargándola desde una altura de aproximadamente 5 cm sobre el borde superior de la medida.
- b) Desplace la pala o poruña alrededor del borde, distribuyendo uniformemente el vaciado.
- c) Elimine el exceso de pétreo empleando la varilla pisón como regla de enrase, sin presionar
- d) (**Nota 1**).
- e) Determine y registre la masa (kg/m^3) de áridos suelto que llena la medida aproximando al 0,1%.

C. DETERMINACIÓN DE HUECOS

Efectué la determinación de densidad real seca de acuerdo con la **Sección 6.3.1.9** para los áridos gruesos y con la **Sección 6.3.1.10** para los áridos finos.

Efectúe la determinación de densidad aparente como se hizo anteriormente.

6.3.1.8.6. CÁLCULOS

A. DENSIDAD APARENTE COMPACTADA (P_{AC})

Calcule la densidad aparente compactada para cada ensayo según la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m^3 :

$$\rho_{ac}(\text{kg/m}^3) = \frac{m_c}{V}$$

Donde:

m_c : masa de áridos compactado que llena la medida (kg/m^3).

V : Capacidad volumétrica de la medida (m^3).

B. DENSIDAD APARENTE SUELTA (P_{AS})

Calcule la densidad aparente suelta (**Nota 3**) para cada ensayo según la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m^3 .

$$\rho_{as}(\text{kg/m}^3) = \frac{m_s}{V}$$

Donde:

m_s : masa de áridos compactado que llena la medida (kg/m^3).

V: Capacidad volumétrica de la medida (m^3).

Calcule la densidad aparente como el promedio aritmético de dos ensayos sobre muestras gemelas, aproximando a $10 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Calcule el contenido de huecos de acuerdo con la formula siguiente, aproximando al 1%.

$$H(\%) = \frac{\rho_{RS} - \rho_a}{\rho_{RS}} \times 1.000$$

Donde:

H: Contenido de huecos (%)

ρ_{RS} : Densidad real seca de áridos, determinado en el punto 15b del método H0109 (Kg/m^3).

ρ_a : Densidad aparente de áridos determinado en el punto 18 (Kg/m^3).

C. ACEPTACIÓN DE RESULTADOS

Acepte la determinación de cada densidad aparente, cuando la diferencia entre los resultados obtenidos por un mismo operador, en ensayos sobre muestras gemelas, sea igual o inferior que $30 \text{ (kg}/\text{m}^3)$.

Ensaye dos nuevas muestras gemelas cuando no se cumpla con lo especificado en el párrafo Anterior.

Nota 3: Para el uso de los áridos finos en estado húmedo, calcule la densidad aparente suelta según la fórmula siguiente:

$$\rho_{as\text{húmeda}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{m_s\text{húmeda}}{V}$$

Para aceptar la determinación, la diferencia entre resultados de ensayo sobre muestras gemelas, deberá ser igual o inferior que $50 \text{ Kg.} / \text{m}^3$.

Cuando se realice este ensayo, en el Informe deberá indicarse también el contenido de humedad de áridos expresado como porcentaje de la masa de áridos seco.

6.3.1.8.7. INFORME

El informe incluirá lo siguiente:

- Nombre del contrato y contratista.
- Clase de áridos.
- Procedencia de la muestra.
- Procedimiento del ensayo empleado.

- e) Resultado del ensayo.
- f) Fecha de ensayo.
- g) Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al árido analizado.

SECCION 6.3.1.9. MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL, LA DENSIDAD NETA Y LA ABSORCIÓN DE AGUA EN ÁRIDOS GRUESOS (ASTM C 127 AASHTO T85)

6.3.1.9.1. OBJETO

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos.

Es aplicable a los áridos gruesos que se emplean en el análisis de suelos, elaboración de hormigones y obras asfálticas.

6.3.1.9.2. DEFINICIONES

C.1. Áridos grueso

Material árido retenido en el tamiz de 4,75 mm (Nº 4) en el caso de suelos y hormigones, y en el tamiz de 2,36 mm (Nº 8) cuando se utiliza en asfaltos.

C.2. Huecos

Espacios vacíos entre las partículas de un material árido.

C.3. Poros

Espacios vacíos interiores de una partícula de material árido.

- a) Poro accesible: poro permeable o abierto.
- b) Poro inaccesible: poro impermeable o cerrado.

C.4. Densidad (ρ)

Es la tasa entre la masa (m) y el volumen (v) de un material árido a una temperatura específica. Se expresa en kg/m^3 .

- a) Densidad real (ρ_R). Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material árido, más el volumen de los poros accesibles e inaccesibles de esas partículas.
 - Densidad real de áridos seco (ρ_{RS}). Densidad real en que se considera solamente la masa de áridos seco.
 - Densidad real de áridos saturado superficialmente seco (ρ_{RT}). Densidad real en que se considera la masa de áridos seco más la masa del agua que llena los poros accesibles.
- b) Densidad neta (ρ_N). Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material árido más el volumen de los poros inaccesibles.

C.5. Absorción de agua (α)

Masa de agua necesaria para llevar un material árido del estado seco al estado saturado superficialmente seco. Se expresa como porcentaje referido a la masa de áridos seco.

C.6. Áridos seco

Material secado en horno hasta masa constante. Esta condición se obtiene cuando dos pesadas sucesivas, separadas por 1 h de secado a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 10^\circ \text{F}$), difieren en un porcentaje igual o inferior al 0,1 % de la menor masa determinada.

6.3.1.9.3. EQUIPOS Y MATERIALES

C.1. Balanza

De capacidad superior a la masa del canastillo portamuestra más la masa de la muestra de ensayo y una precisión mínima de 1 g.

C.2. Horno

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

C.3. Canastillo porta muestra

De alambre de acero inoxidable lo suficientemente resistente para soportar el peso de la muestra, con malla de abertura igual o inferior que 2 mm y de capacidad igual o superior a 4l.

Además, debe estar provisto de un dispositivo que permita suspenderlo del platillo de la balanza.

C.4. Estanque

Impermeable, inoxidable, de forma y capacidad tal, que permita contener totalmente y con holgura el canastillo porta muestra, de acuerdo con el procedimiento especificado en este método.

C.5. Recipientes

Deben estar limpios, de material resistente, estancos y de capacidad suficiente para contener la muestra de ensayo.

6.3.1.9.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS

A. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con las **Secciones 6.3.1.2 y 6.3.1.1.**

B. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

La cantidad mínima de muestra para el ensayo se determina según la **Tabla 6.3_9**, en función del tamaño máximo nominal del árido.

Tabla 6.3_9. cANTIDAD MÍNIMA DE MUESTRA SEGÚN TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL ÁRIDO

Tamaño máximo nominal (mm)	Cantidad mínima de muestra (g)
12,5	2.000
19	3.000
25,0	4.000
37,5	5.000
50	8.000

Preparación de la muestra de ensayo

- a) Puede emplear el material proveniente del ensayo de tamizado, debidamente homogeneizado.
- b) Elimine por tamizado las partículas inferiores a 4,75mm (Nº 4), en el caso de hormigones y suelos y las partículas inferiores a 2,36mm (Nº 8), en el caso de asfaltos.
- c) Lave la muestra hasta remover el polvo superficial o cualquier materia extraña adherida a las partículas.
- d) Seque la muestra hasta masa constante en un horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 10^{\circ}\text{F}$).
- e) Enfríe la muestra al aire a temperatura ambiente por un período de 24 ± 4 h.
- f) Sumerja la muestra en agua a temperatura ambiente por un período de 24 ± 4 h.

Nota 1: Se debe tener presente que existen áridos cuya saturación no se completa en 24 h. En ese caso es necesario continuar el control de absorción hasta que dos pesadas sucesivas, separadas por una hora de inmersión, difieran en un porcentaje igual o inferior que el 0,1 % de la menor masa determinada.

6.3.1.9.5. PROCEDIMIENTO

Efectúe las siguientes pesadas a la muestra de ensayo:

A. PESADA AL AIRE AMBIENTE DEL PÉTREO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO

- Retire la muestra del agua y seque superficialmente las partículas, haciéndolas rodar sobre un paño absorbente húmedo hasta que desaparezca la película visible de agua adherida. Seque individualmente las partículas mayores manteniendo el árido, ya secado superficialmente, cubierto por un paño húmedo hasta el momento de pesar. Efectúe toda la operación en el menor tiempo posible.
- Determine inmediatamente la masa de áridos saturado superficialmente seco, por pesada al aire ambiente, aproximando a 1 g. Registre su valor como MSSS.

B. PESADA SUMERGIDA

- Coloque la muestra inmediatamente en el canastillo portamuestra.
- Sumerja el canastillo en agua a $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ($68 \pm 5^{\circ}\text{F}$), por un período de al menos 3 min.
- Determine la masa sumergida, aproximando a 1 g. Registre su valor como MSUM.

Nota 2: Mantenga el canastillo y su contenido totalmente sumergidos durante la operación. Debe procurarse que el elemento de suspensión del canastillo tenga la menor dimensión posible, a fin de minimizar su efecto sobre los resultados.

C. PESADA AL AIRE AMBIENTE DE ÁRIDOS SECO

- Retire la muestra del canastillo y vacíela completamente del recipiente, cuidando de no dejar partículas atrapadas.
- Seque la muestra hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 10^{\circ}\text{F}$).
- Enfríe la muestra hasta temperatura ambiente, en lo posible dentro de un recipiente protegido, para evitar la absorción de humedad del aire.

- Determine la masa de la muestra seca, por pesada al aire ambiente, aproximando a 1 g. Registre su valor como MS.

6.3.1.9.6. CÁLCULOS

A. DENSIDAD REAL (P_R).

- Densidad real del áridos saturado superficialmente seco (ρ_{RT}). Calcule la densidad real de áridos saturado superficialmente seco según la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m³.

$$\rho_{RT} (kg/m^3) = \frac{M_{SSS}}{M_{SSS} - M_{SUM}} \times 1.000 (kg/m^3)$$

- Densidad real de áridos seco (ρ_{RS}). Calcule la densidad real de áridos seco según la fórmula siguiente, aproximando a 1 Kg/m³:

$$\rho_{RS} (kg/m^3) = \frac{M_S}{M_{SSS} - M_{SUM}} \times 1.000 (kg/m^3)$$

B. DENSIDAD NETA (P_N)

Calcule la densidad neta según la fórmula siguiente, aproximado a 1 kg/m³:

$$\alpha (\%) = \frac{M_{SSS} - M_S}{M_S} \times 100$$

Donde:

ρ : Densidad (kg/m³)

α : Absorción (%)

M_{SUM} : Masa del árido sumergido (g).

M_{SSS} : Masa del árido saturado superficialmente seco (g).

M_S : Masa del árido seco

Nota 3: para efectos prácticos se considerará la densidad del agua como 1.000 kg/m³ en lugar del valor real a 20 °C (68 °F) que es 998,20 kg/m³.

C. ABSORCIÓN DE AGUA

Calcule la absorción de agua según la fórmula siguiente, aproximando a la centésima en porcentaje.

D. EXPRESIÓN DE RESULTADOS

- Determine la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de un árido, como el promedio aritmético de dos ensayos sobre muestras gemelas.
- Exprese las densidades en kg/m³, aproximando a 1 kg/m³. Exprese la absorción en porcentaje, aproximando a la centésima.

6.3.1.9.7. PRECISIÓN

Acepte la determinación de densidad real, densidad neta y absorción de agua de los áridos gruesos, cuando la diferencia entre los valores obtenidos de los dos ensayos realizados por uno o más laboratoristas, sea:

- a) Igual o inferior que 20 kg/m^3 en la determinación de densidades.
- b) Igual o inferior que 3 décimas porcentuales en la determinación de la absorción de agua.

6.3.1.9.8. INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Identificación y procedencia de la muestra.
- c) Fecha de muestreo.
- d) Resultado del ensayo.
- e) Fecha de ensayo.
- f) Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al árido analizado.
- g) Referencia a este método.

SECCION 6.3.1.10. MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL, LA DENSIDAD NETA Y LA ABSORCIÓN DE AGUA EN ÁRIDOS FINOS (ASTM C 128 AASHTO T84)

6.3.1.10.1. OBJETO

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los áridos finos.

Es aplicable a los áridos finos, que se emplean en la elaboración de hormigones y obras asfálticas.

6.3.1.10.2. DEFINICIONES

D.1. Áridos Fino

Material árido que pasa el tamiz de 4,75 mm (Nº 4) en el caso de hormigones, y que pasa el tamiz de 2,36 mm (Nº 8) cuando se utiliza en asfaltos.

D.2. Huecos

Espacios vacíos entre las partículas de un material árido.

D.3. Poros

Espacios vacíos interiores de una partícula de material árido.

- a) Poro Accesible: poro permeable o abierto.
- b) Poro Inaccesible: poro impermeable o cerrado.

D.4. Densidad

Es el cociente entre la masa (m) y el volumen (v) de un material árido a una temperatura especificada. Se expresa en kg/m^3 .

- a) Densidad real (ρ_R). Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material árido, más el volumen de los poros accesibles e inaccesibles de esas partículas.
 - Densidad real del árido seco (ρ_{RS}). Densidad real en que se considera solamente la masa del pétreo seco.
 - Densidad real del árido saturado superficialmente seco (ρ_{RT}).
 - Densidad real en que se considera la masa de áridos seco más la masa del agua que llena los poros accesibles.
- b) Densidad neta (ρ_N). Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material árido más el volumen de los poros inaccesibles.

D.5. Absorción de agua

Masa de agua necesaria para llevar un material árido del estado seco al estado saturado superficialmente seco. Se expresa como porcentaje referido a la masa de áridos seco.

D.6. Áridos seco

Material secado en horno hasta masa constante. Esta condición se obtiene cuando dos pesadas sucesivas, separadas por 1 hora de secado a 110 ± 5 °C (230 ± 10 ° F), difieren en un porcentaje igual o inferior al 0,1 % de la menor masa determinada.

6.3.1.10.3. EQUIPOS Y MATERIALES

D.1. Balanza

De capacidad superior a 1 kg y una precisión mínima de 0,1 g.

D.2. Horno

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

D.3. Recipientes

Limpios, de material resistente, estancos y de capacidad suficiente para contener la muestra del ensayo.

D.4. Matraz

Es un matraz aforado en el que se pueda introducir fácilmente la muestra de ensayo. Debe llevar una marca de calibración que indique el volumen contenido con una precisión de $\pm 0,1$ ml.

Dicho volumen excederá a lo menos en un 50 % al volumen aparente de la muestra de áridos fino. Se recomienda emplear un matraz de 500 cm³ de capacidad. También puede emplearse un picnómetro.

D.5. Molde

Con forma tronco - cónica, de 40 ± 3 mm de diámetro en la parte superior, 90 ± 3 mm de diámetro en la parte inferior y 75 ± 3 mm de altura. Confeccionado con una plancha metálica de un espesor igual o superior que 0,8 mm.

D.6. Pisón

Es una varilla metálica, con uno de sus extremos de sección plana y circular, de 25 ± 3 mm de diámetro. Debe tener una masa de 340 ± 15 g.

6.3.1.10.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

D.1. Extracción de muestras

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con las **Secciones 6.3.1.2 y 6.3.1.1**.

D.2. Tamaño de la muestra de ensayo

Para cada ensayo se usará una cantidad de áridos fino superior a 50 g e inferior a 500 g.

D.3. Preparación de la muestra de ensayo

- a) Corte el material retenido en tamiz de referencia (4,75mm (Nº 4) para hormigón o 2,36mm (Nº 8) para asfalto).
- b) Si la muestra de laboratorio contiene un porcentaje superior al 15 % de material

retenido sobre el tamiz de referencia, considérela como un integral y determine los porcentajes de la fracción retenida y de la fracción que pasa respecto del total de dicha muestra.

Ensaye la fracción retenida de acuerdo con la **Sección 6.3.1.9** y la fracción que pasa de acuerdo con este Método de ensayo.

- c) Reduzca por cuarteo, de acuerdo con la **Sección 102**, la muestra de terreno o la fracción que pasa indicada en “Preparación de la muestra de ensayo” punto b), a una cantidad de áridos de aproximadamente el doble del tamaño de muestra de laboratorio requerido.

Nota 1: La muestra debe humedecerse antes de efectuar la reducción para evitar la segregación y pérdidas de polvo.

- d) Seque el árido en horno a una temperatura de 110 ± 5 ° C (230 ± 10 ° F)
- e) Cubra el árido en su totalidad con el mínimo de agua a temperatura ambiente, necesaria para asegurar su saturación en un período de 24 ± 4 h.

6.3.1.10.5. PROCEDIMIENTO

- a) Elimine paulatinamente el exceso de agua, evitando la pérdida de finos. Revuelva la muestra frecuentemente para asegurar un secado uniforme, hasta llevarla a su condición suelta.

Nota 2: La eliminación del exceso de agua de la muestra no se debe realizar a fuego directo, ni tampoco utilizar para ello fuertes corrientes de aire.

- b) Coloque el molde cónico sujeto firmemente contra una superficie lisa, plana y no absorbente, con su diámetro mayor hacia abajo, llénelo con el árido en condición suelta en una capa y enrase.
- c) Compacte suavemente con 25 golpes de pisón uniformemente distribuidos sobre la superficie. En cada golpe deje caer el pisón libremente desde una altura de 5 mm sobre la superficie del áridos. Dicha altura debe conservarse, ajustándola a la nueva elevación de la muestra después de cada golpe.
- d) Remueva cuidadosamente todo material sobrante en la superficie. Levante el molde verticalmente. Si hay humedad libre la muestra conservará la forma del cono. En este caso elimine el exceso de humedad, repitiendo el procedimiento, a intervalos frecuentes, desde a).

Cuando, al retirar el molde, el árido caiga suavemente según su talud natural, será indicación que éste ha alcanzado la condición saturada superficialmente seca.

Nota 3: La primera verificación de humedad mediante el moldeo del cono debe hacerse cuando aún permanece un mínimo de agua libre, por lo tanto, si el cono se asienta en esta primera verificación, mezcle unos pocos cm^3 de agua con el árido y déjelo en un recipiente cubierto durante 30 min y proceda desde a).

- e) Inmediatamente que el árido alcance la condición de saturado superficialmente seco, obtenga el tamaño de muestra de ensayo requerido, pese y registre su masa.
- f) Coloque la muestra en el matraz y cúbrala con agua a una temperatura de 20 ± 3 ° C (68 ± 5 ° F), hasta alcanzar aproximadamente 2/3 del volumen del matraz.

- g) Agite el matraz a fin de eliminar burbujas de aire golpeándolo ligeramente contra la palma de la mano. En caso de áridos muy finos, se debe utilizar una bomba de vacío.
- h) Deje reposar durante 1 h manteniendo una temperatura de 20 ± 3 ° C (68 ± 5 ° F).
- i) Llene con agua a 20 ± 3 ° C (68 ± 5 ° F) hasta la marca de calibración, agite y deje reposar un instante.
- j) Mida y registre la masa total del matraz con la muestra de ensayo y el agua (M_a).
- k) Saque la muestra del matraz, evitando pérdidas de material, y séquela hasta masa constante en horno a una temperatura de 110 ± 5 ° C (230 ± 10 ° F). Déjela enfriar a temperatura ambiente. Determine y registre la masa de la muestra de ensayo en condición seca (M_s).
- l) Llene el matraz solamente con agua a una temperatura de 20 ± 3 ° C marca de calibración. Mida y registre la masa del matraz con agua (M_a).

6.3.1.10.6. CÁLCULOS

A. DENSIDAD REAL

- Densidad Real de áridos saturado superficialmente seco (ρ_{RT}). Calcule la densidad real de áridos saturado superficialmente seco, según la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m^3 :

$$\rho_{RT}(\text{kg/m}^3) = \frac{M_{SSS}}{M_a + M_{SSS} + M_m} \times 1.000 (\text{kg/m}^3)$$

$$\rho_{RS}(\text{kg/m}^3) = \frac{M_s}{M_a + M_{SSS} - M_m} \times 1.000 (\text{kg/m}^3)$$

- Densidad Real de áridos Seco (ρ_{RS}). Calcule la densidad real del áridos seco, según la fórmula siguiente, aproximando a 1 Kg/m^3 :

B. DENSIDAD NETA (ρ_N).

Calcule la densidad neta, según la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m^3 :

$$\rho_N(\text{kg/m}^3) = \frac{M_s}{M_a + M_s - M_m} \times 1.000 (\text{kg/m}^3)$$

C. ABSORCIÓN DE AGUA (A)

Calcule la absorción de agua, según la fórmula siguiente, aproximando a la centésima, en porcentaje:

$$\alpha(\%) = \frac{M_{SSS} - M_s}{M_s} \times 100$$

Donde:

ρ : Densidad (kg/m^3)

α : Absorción (%)

M_s : Masa de la muestra seca (g).

- M_{SSS} : Masa de la muestra saturada superficialmente seca (g).
- M_a : Masa del matraz con agua hasta la marca de calibración (g)
- M_a : Masa del matraz con la muestra más agua hasta la marca de calibración (g).

D. EXPRESIÓN DE RESULTADOS

- La densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de un árido fino, se determinan como el promedio aritmético de dos ensayos sobre muestras gemelas.
- En el caso de un integral, la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los áridos, se calculan como el promedio ponderado de la densidad real, densidad neta y la absorción de agua, respectivamente, obtenidas mediante el ensayo por separado de sus dos fracciones, de acuerdo con las siguientes fórmulas:

$$\rho(\text{kg/m}^3) = \frac{1}{100} \times (\rho_r \cdot P_r + \rho_p \cdot P_p)$$

$$\alpha(\%) = \frac{1}{100} \times (\alpha_r \cdot P_r + \alpha_p \cdot P_p)$$

Donde:

- ρ : Densidad (real o neta) del integral (kg/m^3)
- ρ_r : Densidad (real o neta) de la fracción retenida (kg/m^3)
- ρ_p : Densidad (real o neta) de la fracción que pasa (kg/m^3).
- P_r : Porcentaje en masa de la fracción retenida (%).
- α : Absorción de agua del integral (%).
- α_r : Absorción de agua de la fracción retenida (%).
- α_p : Absorción de agua de la fracción que pasa (%).
- Exprese las densidades en kg/m^3 aproximando a 1 kg/m^3 , y la absorción en porcentaje, aproximando a la centésima.

6.3.1.10.7. PRECISIÓN

Acepte la determinación de densidad real, densidad neta y absorción de agua de los áridos finos, cuando la diferencia entre los valores obtenidos de los dos ensayos realizados por uno o más laboratoristas sea:

- a) Igual o inferior que 20 kg/m^3 en la determinación de densidades.
- b) Igual o inferior que 4 décimas porcentuales en la determinación de la absorción de agua.

6.3.1.10.8. INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Identificación y procedencia de la muestra.
- c) Fecha de muestreo.
- d) Resultado del ensayo.
- e) Fecha de ensayo.
- f) Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al árido analizado.
- g) Referencia a este método.

SECCION 6.3.1.11.

MÉTODO PARA DETERMINACIÓN DEL DESGASTE MEDIANTE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (ASTM C 131 AASHTO T96)

6.3.1.11.1. OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de los áridos mayores a 2,5 mm, mediante la Máquina de Los Ángeles.

6.3.1.11.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A. MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (VER FIGURA 6.3_3)

- a) Tambor de acero de 710 ± 6 mm de diámetro interior y de 510 ± 6 mm de longitud interior montado horizontalmente por sus vástagos axiales con una tolerancia de inclinación de 1 en 100, uno de los cuales debe tener un dispositivo de polea o similar, para acoplar un motor. En su manto cilíndrico debe tener una abertura para introducir la muestra, con una tapa provista de dispositivos para fijarla firmemente en su lugar y que asegure la estanqueidad del material sobre tamiz 0,3 mm (Nº 50).
- b) Debe llevar en su superficie interior una aleta consistente en una plancha de acero desmontable, fijada rígida y firmemente a todo lo largo de una generatriz del cilindro, de modo que se proyecte radialmente hacia el interior en 90 ± 3 mm. La distancia entre la aleta y la abertura, medida a lo largo de la circunferencia exterior del cilindro y en la dirección de rotación, debe ser igual o mayor que 1,25 m.

Nota 1: Es preferible utilizar una aleta de acero de sección rectangular montada independientemente de la tapa. Sin embargo, puede emplearse como aleta una de las alas de un perfil L de acero laminado montado en el interior de la tapa, de modo que la carga se reciba por la cara externa del ángulo. Cuando la aleta se deforma debe ser reparada o reemplazada.

- c) La rotación debe estar comprendida entre 30 y 33 rpm, ser contrapesada e impulsada de modo de mantener una velocidad periférica uniforme y tener incorporado un dispositivo contador de revoluciones con detención automática.

Nota 2: Cualquier deslizamiento o punto muerto en el mecanismo de impulsión puede alterar los resultados de ensayo, lo que los hace no comparables con resultados obtenidos en una máquina que produzca una velocidad periférica uniforme.

B. BALANZA

Con una capacidad superior a 10 kg. y una precisión de 1 g.

C. TAMICES

Deben cumplir con lo especificado en la **Sección 6.3.1.4** numeral 2.

D. HORNO

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

E. ESFERAS (CARGA ABRASIVA)

Un juego de esferas de acero de aproximadamente 47 mm de diámetro y de masas diferentes, distribuidas en un rango entre 390 y 445 g.

6.3.1.11.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. MUESTREO Y PREPARACIÓN

Extraiga y prepare la muestra de acuerdo con las **Secciones 6.3.1.2 y 6.3.1.1**.

Determine la granulometría de la muestra de acuerdo con la **Sección 6.3.1.4**.

B. TAMAÑO DE LA MUESTRA

El tamaño de la muestra (en kg) debe ser igual o mayor que $2 D_n$, en que D_n es el tamaño máximo nominal expresado en mm, y no menor que 50 kg. para los grados 1 al 5 y 25 kg. para los grados 6 y 7.

C. ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Lave la muestra y séquela hasta masa constante en horno a una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 10 ° F).

Tamice la muestra obtenida, de acuerdo con la **Sección 6.3.1.4**, empleando la serie de tamices de aberturas nominales siguientes: 75mm (3"), 63mm (2½"), 50mm (2"), 37,5mm (1½"), 25,0mm (1") 19mm (¾"), 12,5mm (½"), 9,5mm (3/8"), 6,3mm (¼"), 4,75mm (Nº 4) y 2,36mm (Nº 8). Deje el material separado en las fracciones resultantes de este tamizado.

Elija de la **Tabla 6.3_ 10** el grado de ensayo que mejor represente la granulometría de la muestra. Para ello, sume los porcentajes parciales retenidos en los tamices correspondientes a cada uno de los grados y elija para el ensayo el que entregue una mayor suma.

Nota 3: En caso que alguna de las fracciones del grado elegido tenga un porcentaje parcial retenido muy bajo, que requiera tamizar una cantidad de material muy alta para componerlo, se considerará como grado de ensayo aquel que entregue la suma de parciales retenidos inmediatamente inferior a la del grado elegido. En el caso del grado 4 se entenderá como porcentaje parcial retenido muy bajo un valor igual o inferior que 4%.

Cuando se trate de áridos sin tratamiento ni selección, debe procesar la muestra a fin de componer la banda granulométrica adecuada al uso propuesto y elegir de la tabla el grado de ensayo correspondiente a dicha banda granulométrica.

6.3.1.11.4. PROCEDIMIENTO

- Pese los tamaños de las fracciones correspondientes al grado elegido, de acuerdo con la **Tabla 6.3_10**. Registre la masa del total de material por ensayar como masa inicial de la muestra (m_i), aproximando a 1 g.
- Coloque la masa inicial de material en la Máquina de Los Ángeles y ensaye de acuerdo con el grado elegido (número y masa de esferas, y número de revoluciones), según **Tabla 6.3_10**.

Nota 4: Seleccione las esferas de manera tal, que la suma de sus masas individuales cumpla con los valores estipulados en la **Tabla 6.3_ 10**.

- c. Una vez completado el número de revoluciones correspondiente, saque el material de la máquina evitando pérdidas y contaminaciones.
- d. Separe la carga abrasiva.
- e. Efectúe un primer tamizado en un tamiz de 2,36 mm o superior, a fin de evitar dañar el tamiz de corte (1,7 mm).
- f. Tamice manualmente el material bajo 2,36 mm por tamiz de 1,7 mm (N° 12), según procedimiento de tamizado final descrito en el punto 14 de la Sección 6.3.1.4.
- g. Reúna todo el material retenido en ambos tamices, lávelo, séquelo hasta masa constante en horno a 110 ± 5 ° C (230 ± 10 ° F) y deje enfriar a temperatura ambiente.
- h. Pese y registre la masa del material retenido como masa final de la muestra (mf), aproximando a 1 g.

6.3.1.11.5. CÁLCULOS

Calcule el desgaste de áridos, como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra, aproximando a un decimal, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$P(\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100$$

Donde:

P: Pérdida de masas de la muestra

m_i : Masa inicial de la muestra (g)

m_f : Masa final de la muestra (g)

Nota 5: Los resultados de ensayo de los grados 1, 2 y 3 con 1.000 revoluciones, no tienen relación consistente con los resultados de los grados 4, 5, 6 y 7 con 500 revoluciones y, por lo tanto, no son comparables.

6.3.1.11.6. INFORME

El Informe debe incluir al menos los siguientes antecedentes:

C.1. Nombre del contrato y empresa contratista.

- a) Identificación de la muestra (tipo de material, procedencia, lugar y fecha de muestreo).
- b) Grado de ensayo elegido.
- c) Resultado del ensayo.
- d) Fecha del ensayo.
- e) Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al pétreo analizado.
- f) La referencia a este método.

Tabla 6.3_10. GRADOS DE ENSAYO (DEFINIDOS POR SUS RANGOS DE TAMAÑO, EN MM)

Tamaño de partículas (mm)		1	2	3	4	5	6	7
(75-37,5)		(50-2,36)	(37,5-19)	(37,5-9,5)	(19-9,5)	(9,5-4,75)	(4,75-32,36)	
(3"-1 ½")		(2"- N°8)	(1 ½"-3/4")	(1 ½"-3/8")	(3/4"-3/8")	(3/8"-N°4)	(N°-1 ½")	
(mm)	ASTM	Tamaño de las fracciones (g)						
75-63	3" - 2 ½"	2.500±50						
63-50	2 ½"-2"	2.500±50						
50-37,5	2"-1 ½"	5.000±50	5.000±25					
37,5-25,0	1 ½"-1"		5.000±50	5.000±25	1.250±10			
25,0-0,19	1"-¾"			5.000±25	1.250±25			
19-12,5	¾" - ½"				1.250±10	2.500±10		
12,5-9,5	½"-3/8"				1.250±25	2.500±10		
9,5-6,3	3/8"-1/4"						2.500±10	
6,3-4,75	¼"-N°4						2.500±10	
4,75-2,36	N°4-N°8							5.000±10
Masa inicial de muestra (M)		10.000±100	10.000±75	10.000±50	5.000±10	5.000±10	5.000±10	5.000±10
Esferas								
Número masa (g)		12			12	11	8	6
		5.000±25		5.000±25	4.584±25	3.330±25	2.500±25	
Número de revoluciones		1.000			500			

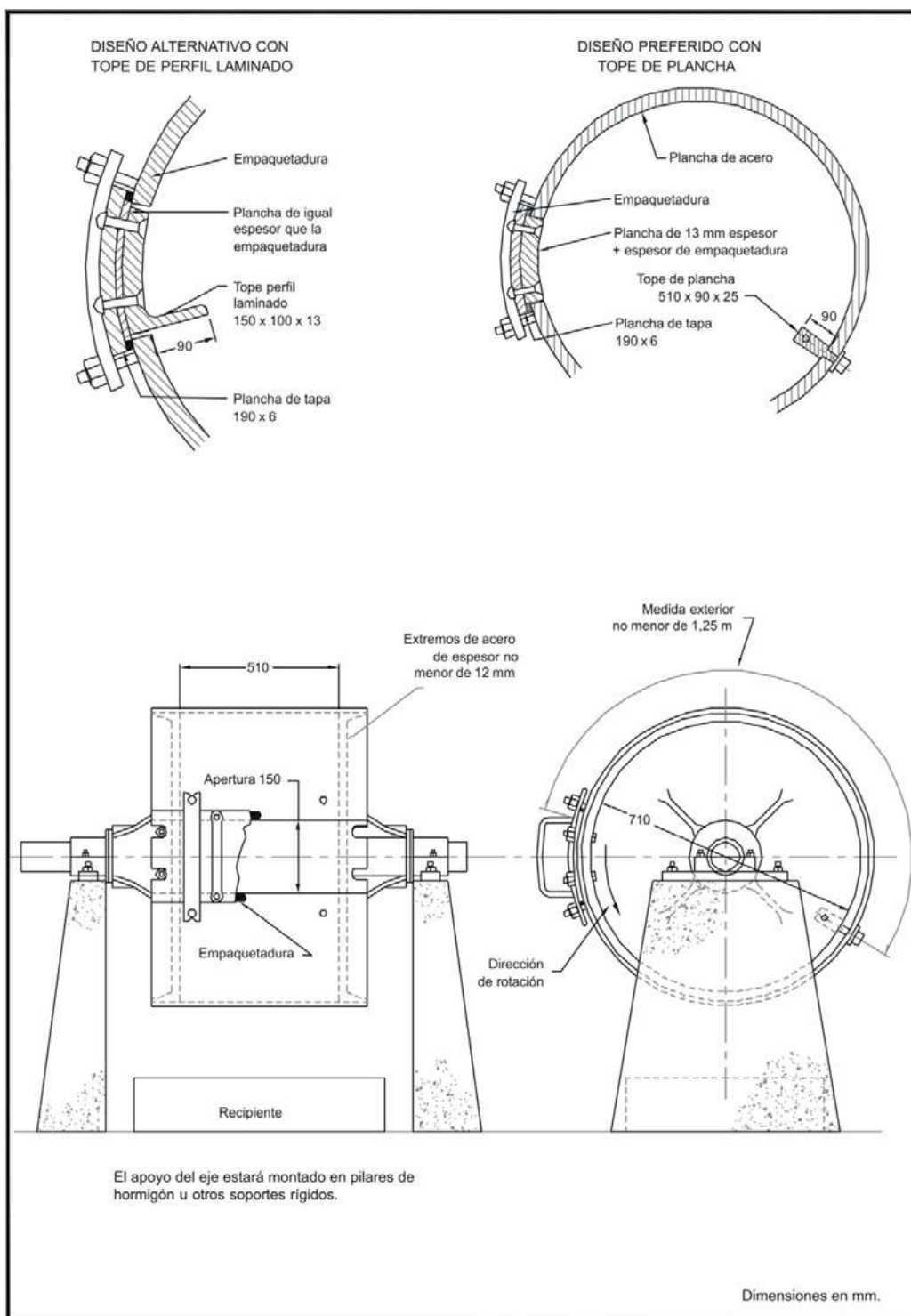


Figura 6.3_3. MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

SECCION 6.3.1.12.

MÉTODO PARA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE TRITURACIÓN (BS-812-75)

6.3.1.12.1. INTRODUCCIÓN

El método es una adaptación parcial de los aspectos pertinentes de la norma británica BS-812-75; pretende medir la resistencia a la desintegración física de los áridos gruesos (37,5(1 1/2")–9,5(3/8") mm) y finos (9,5(3/8")–0,6(Nº 30) mm) de acuerdo a los cortes granulométricos y métodos que se indican en **Tabla 6.3_ 11**

Tabla 6.3_11. CORTES DE LAS GRANULOMETRÍAS

Métodos de ensayo	Material		Tamices en mm para			
	Tipo	Grado	Corte		Finos producidos	
			mm	ASTM	mm	ASTM
Compresión	Grueso	37,5	37,5-19	1 1/2"-3/4"	4,75	Nº 4
		19	19-9,5	3/4"-3/8"	2,36	Nº 8
		9,5	9,5-4,75	3/8"-Nº 4	1,18	Nº 16
Impacto	Fino	4,75	4,75-2,36	Nº4-Nº8	0,6	Nº30
		2,36	2,36-1,18	Nº8-Nº16	0,3	Nº50
		1,18	1,18-0,6	Nº16-Nº30	0,15	Nº100

6.3.1.12.2. ÍNDICE DE TRITURACIÓN DE LOS ÁRIDOS GRUESOS

C.1. Objeto

Se define un procedimiento para determinar el valor del "Índice de Trituración" por compresión de un árido grueso, confinado en un molde y sometido a la acción de una carga gradual de compresión. Se utiliza tanto como complemento del ensayo de Desgaste de Los Ángeles o para sustituirlo cuando no se disponga de éste.

C.2. Equipos y materiales

Para el ensayo se requiere el siguiente equipo:

- Un cilindro de acero de pared gruesa, abierto en sus dos extremos, de 150 mm de diámetro interno y 100 mm de alto, con un plato de acero liso para base y un émbolo de la forma y dimensiones que se señalan en la **Figura 6.3_4, Fig1**.
- Una varilla de acero de 16 mm de diámetro por 600 mm de largo, con un extremo redondeado.
- Una balanza de 5 kg, con precisión de 1 g.
- Tamices de 37.5 mm (1 1/2"), 19mm (3/4"), 9,5 mm (3/8), 4,75 mm (Nº 4), 2,36 (Nº 8).
- Una máquina de compresión, de 400 kN o más de capacidad y velocidad regulable.

C.3. Preparación de la muestra

El material por ensayar, aproximadamente 20 kg, deberá estar seco. Si no lo estuviera, séquelo al horno a una temperatura de 110 ± 5° C hasta masa constante. Una vez seco déjelo enfriar

hasta temperatura ambiente. Tamice y corte el material en los tamices indicados en la **Tabla 6.3_ 11**.

C.4. Procedimiento

- a) Por cada corte de material se efectúan dos ensayos, según el procedimiento que se describe. Los resultados obtenidos se promedian.
- b) Llene el molde por terceras partes, compactando cada una con 25 golpes de la varilla compactadora dados desde 50 mm de altura, en caída libre. Luego enrase y pese, determinando el peso de la muestra (A).
- c) Enseguida, coloque el molde con su base en la máquina de ensayo. Sobre la carga confinada coloque el pistón en posición horizontal.
- d) Aplique la carga de compresión en forma lenta y gradual, de modo de alcanzar el total de la carga de 400 kN en 10 min.
- e) Finalizado el ensayo, levante la carga y tamice el material ensayado para separar el fino, por los tamices indicados en la **Tabla 6.3_ 11**.
- f) Pese cuidadosamente el material retenido (C) y el material fino que pasó (B).

6.3.1.12.3. ÍNDICE DE TRITURACIÓN DE LOS ÁRIDOS FINOS

C.1. Objeto

Se define un procedimiento para determinar el valor del “Índice de Trituración” de un árido fino sometido a la acción de impactos repetidos, en situación de confinamiento, ensayo que equivaldría al de Desgaste Los Ángeles para las graduaciones menores que el grado 7.

C.2. Equipos y materiales

Para este ensayo se requiere del siguiente equipo:

- a) Una máquina para impacto, con un martinete de $14 \pm 0,2$ kg., como se indica en la **Figura 6.3_ 4, Fig2**.
- b) Un molde de acero, con base soldada, de 102 mm de diámetro interno, 51 mm de alto y 6,5 mm de espesor de pared.
- c) Una varilla de acero de 10 mm de diámetro por 230 mm de largo, redondeada en un extremo.
- d) Tamices de (9,5 mm (3/8), 4,75 mm (Nº 4), 2,36 (Nº 8), 1,18 mm (Nº 16), 0,6 mm (Nº 30), 0,3 mm (Nº 50) y 0,15 mm (Nº 100).

C.3. Preparación de la muestra

Para el ensayo, el material debe encontrarse seco; si no lo estuviera, séquelo a $110 \pm 5^\circ$ C hasta masa constante.

El material por ensayar, aproximadamente 12 kg., debe tamizarse y cortarse en los tamices indicados en la **Tabla 6.3_ 11** para los grados 2,36 y 1,18 mm, que son obligatorios. El ensayo para los grados 9,5 y 4,75 mm es optativo, y debe hacerse cuando los valores del Índice de Trituración obtenidos en los grados obligatorios difieran mucho entre sí.

C.4. Procedimiento

- Por cada corte de material se efectúan dos ensayos, según el procedimiento que se describe. Los resultados obtenidos se promedian.
- Llene el molde por terceras partes, compactando cada una con 25 golpes de la varilla compactadora dados desde 50 mm de altura, en caída libre. Luego, enrase y pese.
- Enseguida, asegure el molde en la base de la máquina y dé 15 golpes con el martinete, en caída libre desde 380 mm de altura, espaciados en un tiempo total de 15 seg.
- Pese de nuevo la muestra determinando el peso de la muestra (A) y luego separe los finos por el tamiz que corresponda al grado, de acuerdo a la **Tabla 6.3_ 11**.
- Pese cuidadosamente el material retenido (C) y el material que pasó por el tamiz correspondiente (B).

Nota 1: Se considera el peso de muestra inicial después de aplicar los golpes con el martinete, debido a las pérdidas de material que se producen producto de los golpes.

6.3.1.12.4. CÁLCULOS

A. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE TRITURACIÓN PARCIAL (IT_p)

Con los datos:

A: Peso de la muestra por ensayar (g).

B: Peso del material que pasó por el tamiz de finos producidos (g).

Calcule el IT_p de acuerdo a la expresión:

$$IT_p (\%) = \frac{B}{A} \times 100$$

B. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE TRITURACIÓN TOTAL (IT_t)

Conocidos los valores de IT_p de cada grado, calcule los IT_t del árido grueso y del árido fino, ponderando los IT_{pi} según los porcentajes que cada fracción retenida (n) representa de la muestra ensayada.

$$IT_t (\%) = \sum IT_{pi} \times \frac{n_i}{100}$$

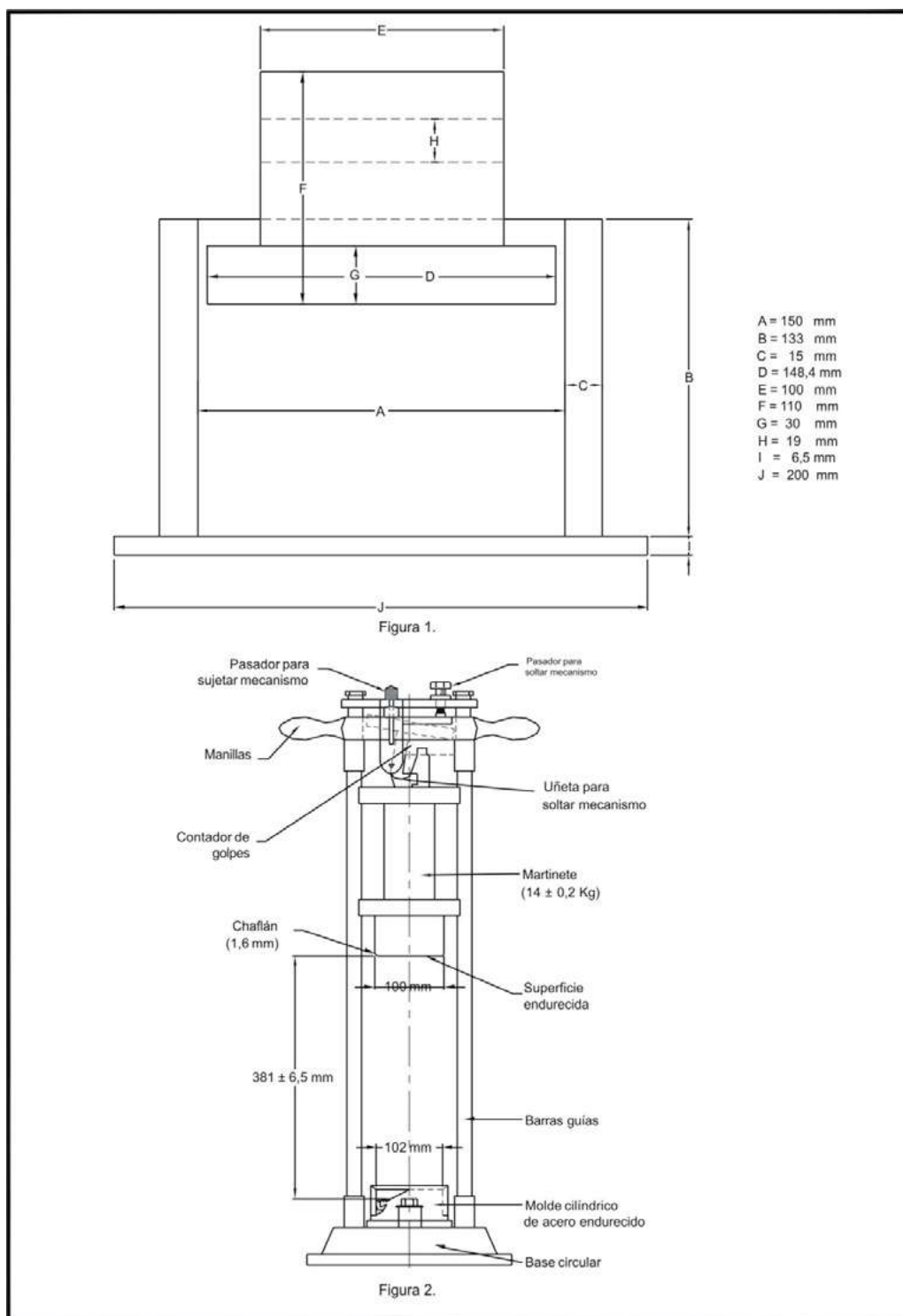


Figura 6.3_4.

FIG1. CILINDRO DE ACERO PARA ÁRIDOS GRUESOS.

FIG2. MÁQUINA PARA IMPACTO PARA ÁRIDOS FINOS

SECCION 6.3.1.13.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL EQUIVALENTE DE ARENA (ASTM D2419)

6.3.1.13.1. OBJETO

Este método establece un procedimiento rápido para determinar las proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los áridos que pasan por tamiz de 4,75 mm (Nº 4).

6.3.1.13.2. DEFINICIONES

B.1. Equivalente de arena

Porcentaje de arena propiamente tal con respecto al total de arena y de impurezas coloidales floculadas, particularmente arcillosas, húmicas y eventualmente ferruginosas.

6.3.1.13.3. EQUIPOS Y MATERIALES

B.1. Probeta graduada

De 30 ± 1 mm de diámetro interior y aproximadamente 400 mm de alto, graduado en milímetros hasta una altura de 380 mm (o graduada en mililitros hasta una capacidad de 270 ml) y provisto de un tapón hermético de caucho (*ver Figura 6.3_5, Figura 1*).

B.2. Pisón

Compuesto por los siguientes elementos (*ver Figura 6.3_5, Figura 2*).

- a) Una varilla de bronce de 6 mm de diámetro y 450 mm de largo, con hilo en ambos extremos.
- b) Un pie de bronce troncocónico, de 25 mm de diámetro basal y 20 mm de altura, con una perforación central con hilo para conectarlo a la varilla.
- c) Un par de guías que mantengan centrada la varilla en el eje de la probeta.
- d) Una sobrecarga cilíndrica de acero laminado en frío de 50 mm de diámetro y 53 mm de altura, con una perforación central con hilo para conectarla a la varilla. Esta sobrecarga debe ser rectificada de modo que el conjunto de varilla, pie, guías y sobrecarga tenga una masa de 1.5 kg.
- e) Sifón, compuesto por los siguientes elementos (*ver Figura 6.3_5*):
 - Una botella de aproximadamente 4 ± 1 l, provista de un tapón de caucho con dos perforaciones, a través de las cuales se dispondrán dos tuberías de metal, vidrio, caucho o plástico.
 - Una tubería de entrada de aire que penetre al interior de la botella, sin tomar contacto con la solución y cuyo tramo exterior debe estar doblado en L.
 - Una tubería de irrigación cuyo tramo interior penetre hasta 20 mm del fondo de

la botella y cuyo tramo exterior sea una manguera de caucho o plástico de una longitud igual o mayor que 1,5m, provista de un sistema que regule el flujo de la solución (por ejemplo, una pinza con tornillo).

- Un tubo irrigador conectado al extremo exterior de la tubería de irrigación, de acero inoxidable de aproximadamente 500 mm de largo, 4 ± 1 mm de diámetro interior y con su extremo libre cerrado en forma de cuña. Debe tener dos perforaciones de $0,5 \pm 0,1$ mm de diámetro, una en cada cara plana de la cuña.

B.3. Medida

Un recipiente de 85 ± 5 ml de capacidad.

B.4. Tamiz

De tela de alambre y abertura cuadrada, de 4,75mm (Nº 4) de abertura nominal de acuerdo con la **Sección 6.3.1.4.**

B.5. Recipiente

Estanco y de capacidad igual o mayor que 4l para preparar el reactivo y la solución de ensayo.

B.6. Agitador mecánico.

Con un desplazamiento horizontal de 200 ± 2 mm y una velocidad de agitación de 175 ± 2 ciclos/min.

B.7. Herramientas y accesorios

Embudos, botellas para reactivos, regla de enrase, etc.

6.3.1.13.4. REACTIVOS

B.1. Solución base

a) Componentes. Emplee los siguientes materiales en las cantidades que se indican:

- a. 240 g de cloruro de calcio anhidro, grado técnico.
- b. 1.085 g de glicerina farmacéutica.
- c. 25 g de formaldehído (solución 40% de volumen / volumen).

b) Preparación. Disuelva el cloruro de calcio en 1l de agua destilada y filtre. Agregue la glicerina y el formaldehído a la solución, mezcle bien y diluya a 2l con agua destilada.

B.2. Solución de ensayo

Tome 22,5 ml de la solución base y diluya a 1l con agua destilada. Se debe mantener la temperatura de la solución a $22 \pm 3^\circ$ C durante todo el ensayo.

6.3.1.13.5. CONDICIONES GENERALES

B.1. Lugar del ensayo

Debe estar libre de golpes o vibraciones que puedan alterar el período de decantación. Cuando se empleen probetas de acrílico deben protegerse de la luz solar directa.

6.3.1.13.6. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. MUESTREO

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con las **Secciones 6.3.1.1 y 6.3.1.2**

B. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

- La muestra original debe tener un tamaño igual o mayor que 2.000 g de material bajo 4,75mm.
- La muestra para cada ensayo debe ser igual a una medida llena enrasada (85 ± 5 ml).

C. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO

C.1. Tamizado

Pase la muestra original en estado húmedo por el tamiz de 4,75 mm; disgregue manualmente los terrones de material arcilloso. Si el material retenido tiene adheridas capas de material arcilloso, remuévalas secando el material retenido y frotándolo entre las manos sobre un recipiente. El polvo resultante debe incorporarse a la muestra y el material retenido debe desecharse.

C.2. Reducción.

Reduzca nuevamente por cuarteo hasta obtener material suficiente para llenar cuatro medidas.

C.3. Secado.

Seque hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ$ C; deje enfriar a temperatura ambiente.

6.3.1.13.7. PROCEDIMIENTO

- a. Coloque la botella del sifón con la solución de ensayo a aproximadamente 1 m sobre la superficie de trabajo.
- b. Sifonee la solución de ensayo en la probeta hasta que alcance un nivel de 100 ± 5 mm.
- c. Obtenga por cuarteo el material suficiente para llenar una medida.
- d. Llene una medida; asiente el material golpeando el fondo de la medida contra la mesa de trabajo a lo menos 4 veces, enrase y vierta en la probeta.
- e. Golpee firmemente el fondo de la probeta contra la palma de la mano hasta desalojar las burbujas de aire.
- f. Deje la probeta en reposo por un período de 10 min.
- g. Coloque el tapón y suelte la arena del fondo inclinando y sacudiendo el tubo.
- h. Agite la probeta y su contenido mediante uno de los siguientes procedimientos:
 - **Agitación manual.**

Sujete la probeta en posición horizontal y agite vigorosamente en un movimien-

to lineal horizontal con un desplazamiento de 230 ± 25 mm. Agite 90 ciclos en aproximadamente 30 seg.

Nota 1: Un ciclo corresponde a un movimiento completo de ida y vuelta. Se recomienda agitar sólo con los antebrazos, manteniendo relajados el cuerpo y los hombros.

Nota 2: Antes de autorizar a un operador para realizar el ensayo de equivalente de arena, debe ser capaz de obtener resultados consistentes sobre muestras representativas de cualquier material ensayado de acuerdo con el procedimiento normal. Los resultados se consideran consistentes si los valores individuales de tres ensayos realizados por el mismo operador sobre muestras gemelas no varían en más de ± 4 puntos respecto al promedio de esos ensayos. Si un operador no es capaz de obtener resultados consistentes, no debe autorizarse a efectuar este ensayo hasta que perfeccione su técnica y obtenga resultados que cumplan con los límites especificados.

- **Agitación mecánica**

Fije la probeta en el agitador mecánico y agite durante un período de 45 ± 1 seg.

- Coloque la probeta sobre la mesa de trabajo, destápela y lave sus paredes interiores mediante el irrigador.
- Introduzca el irrigador hasta el fondo de la probeta con un movimiento lento de penetración y torsión para remover todo el material.
- Retire el irrigador en forma similar, regulando el flujo de la solución de modo de ajustar el nivel final a 380 mm.
- Deje sedimentar por un periodo de $20 \text{ min} \pm 15 \text{ seg}$.
- Al final del período de sedimentación, lea y registre el nivel superior de la arcilla N_t aproximando al milímetro.

Nota 3: Si después de 20 min no se ha formado una clara línea de sedimentación, deje reposar el tiempo necesario, registrándolo en el informe.

Cuando el tiempo total exceda de 30 min, repita 3 veces el ensayo con muestras del mismo material. Registrar el N_t que requiera el período de sedimentación más breve.

- Introduzca el pisón en la probeta y hágalo descender suavemente hasta que quede apoyado en la arena. Registre el nivel superior de la arena (N_a) aproximando al milímetro.

Nota 4: Cuando el nivel superior de la arcilla o de la arena quede entre graduaciones, registre la graduación superior como N_t o N_a , según corresponda.

6.3.1.13.8. CÁLCULOS

- Calcule el equivalente de arena de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 1%.

$$EA(\%) = (N_a/N_t) \times 100$$

Donde:

EA: Equivalente de arena (%).

- N_a : Nivel superior de arena (mm).
 N_t : Nivel superior de la arcilla (mm).

- b. Calcule el equivalente de arena de cada muestra como el promedio aritmético de los resultados de dos ensayos paralelos, con aproximación al 1 % superior.

6.3.1.13.9. PRECISIÓN

- a. Debe aceptarse la determinación del equivalente de arena, solamente cuando la diferencia entre dos resultados obtenidos por el mismo operador, en ensayos paralelos sobre muestras gemelas, sea igual o inferior a 4 puntos.
- b. Debe ensayar dos nuevas muestras gemelas cuando no se cumpla con lo especificado en 30.

6.3.1.13.10. INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Procedencia de la muestra.
- c) Procedimiento de agitación.
- d) Resultado del ensayo.
- e) Fecha del ensayo.
- f) Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al árido.
- g) La referencia a este método.

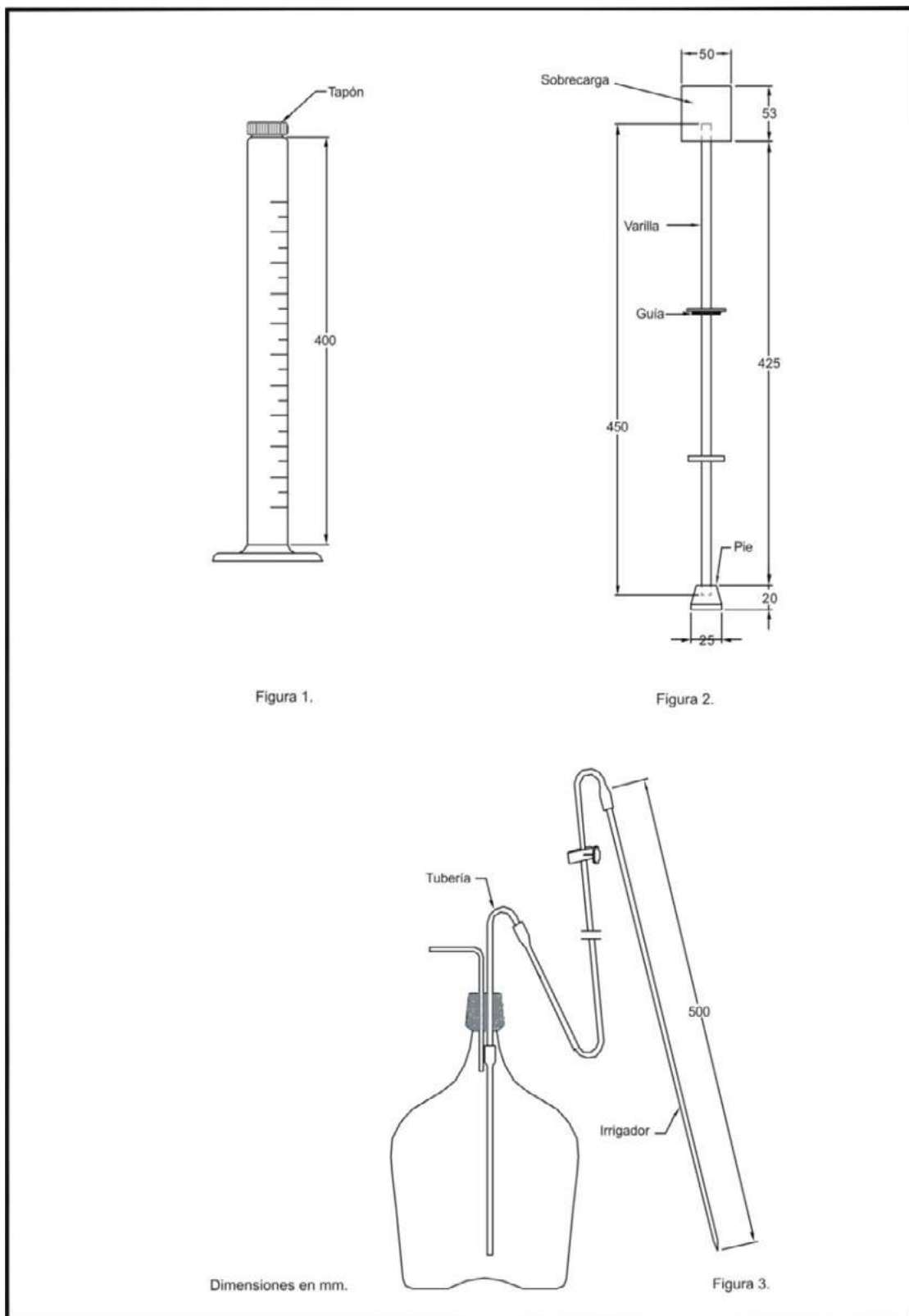


Figura 6.3_5. FIG1. PROBETA GRADUADA, FIG2.PISÓN, FIG3. SIFÓN.

SECCION 6.3.1.14.

MÉTODO DE LOS SULFATOS PARA DETERMINAR LA DESINTEGRACIÓN (ASTM C 88 AASHTO T104)

6.3.1.14.1. OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar la desintegración de los áridos, mediante soluciones de sulfato de sodio o sulfato de magnesio. El uso de una u otra sal es alternativo, pero sus resultados no son comparables.

Este método se aplica a los áridos que se utilizan en la elaboración de morteros, hormigones y mezclas asfálticas.

6.3.1.14.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A. BALANZAS

- a) Balanza para áridos finos de capacidad superior a 500 g y una precisión de 0,1 g.
- b) Balanza para áridos gruesos de capacidad superior a 5.000 g y una precisión de 0,1 g.

B. HORNO

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

C. TAMICES

Emplee la misma serie de tamices especificados en la **Sección 6.3.1.4.**

D. RECIPIENTES

- a) Canastillos rígidos y químicamente inertes con las soluciones de ensayo. Las perforaciones deben permitir el libre acceso y drenaje de la solución sin pérdidas de material de la muestra.

Nota 1: Se recomienda emplear canastillos fabricados con tela metálica de aberturas adecuadas a las fracciones de áridos en ensayo.

- b) Recipientes para solución, rígidos, estancos y químicamente inertes con las soluciones de ensayo. Serán de forma y tamaño tales que permitan contener los canastillos completamente sumergidos en la solución. Deben tener un dispositivo para regular la temperatura de la solución durante la inmersión.

E. REACTIVOS

- a) Para cada operación se debe disponer de un volumen de solución igual o mayor a 5 veces el volumen aparente de la muestra.
- b) Solución de sulfato de sodio. Disuelva aproximadamente 350g de sulfato de sodio anhidro (Na_2SO_4) o aproximadamente 750g de sulfato de sodio deshidratado ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) por litro de agua a una temperatura mayor a 25°C y menor a 0°C. Revuelva completamente durante la adición de la sal y a intervalos regulares hasta su uso. Enfríe y mantenga a una temperatura de $20 \pm 3^\circ\text{C}$ durante un período igual o mayor a 48 h previas al uso.

Al momento del empleo, la solución debe tener una densidad (g/ml) comprendida entre 1,151 y 1,174 a $20 \pm 3^\circ\text{C}$.

Nota 2: Es recomendable usar el producto comercial anhidro por tener mayor solubilidad que el producto hidratado.

Nota 3: El ajuste de la densidad se logra diluyendo o disolviendo más sal, según corresponda.

- c) Solución de sulfato de magnesio. Disuelva 350 g de sulfato de magnesio anhidro (MgSO_4) o 1.400 g de sulfato de magnesio heptahidratado $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ por litro de agua a una temperatura mayor que 25°C y menor que 30°C . Revuelva completamente durante la adición de la sal y a intervalos regulares hasta su uso. Enfríe y mantenga a una temperatura de $20 \pm 3^\circ\text{C}$ durante un período igual o mayor a 48 h previas al uso.

Al momento de empleo la solución debe tener una densidad (g/ml) comprendida entre 1,295 y 1,308 a $20 \pm 3^\circ\text{C}$.

6.3.1.14.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con las **Secciones 6.3.1.2 y 6.3.1.1**. Deben haberse ensayado previamente según **Sección 6.3.1.4** a fin de determinar la granulometría.

B. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

B.1. Áridos fino

- a) Pase previamente por el tamiz de 9,5mm (3/8") para hormigón y 4,75mm (Nº 4) para asfalto.

Cuando el material retenido exceda el 5% de la muestra, ensaye de acuerdo con 7.

- b) Prepare la muestra con el material que pasa por el tamiz de 9,5mm (3/8") para hormigón y 4,75 mm (Nº 4) para asfalto; debe tener un tamaño tal, que permita obtener las fracciones de muestra especificadas en la **Tabla 6.3_12**.

B.2. Áridos grueso

- a) Pase previamente por el tamiz de 4,75mm (Nº 4) para hormigón y 2,36mm (Nº 8) para asfalto. Cuando el material que pasa exceda el 5 % de la muestra, ensaye de acuerdo con 6.

- b) Prepare la muestra con el material retenido en el tamiz de 4,75mm (Nº 4) para hormigón y 2,36 mm (Nº 8) para asfalto; debe tener un tamaño tal, que permita obtener las fracciones de muestra especificadas en la **Tabla 6.3_13**.

Tabla 6.3_12. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO DE ÁRIDOS FINOS

Fracción	Tamaño de partículas (mm)	Masa mínima de la fracción (mm)
1	4,75-9,5	100
2	2,36-4,75	100

3	1,18-2,36	100
4	0,6-1,18	100
5	0,3-0,6	100

Nota 4: Fracción 1, 2, 3, 4 y 5 para hormigón, Fracción 2, 3, 4 y 5 para asfalto.

Tabla 6.3_13. ÁRIDOS GRUESOS

Fracción	Tamaño de partículas (mm)	Masa de sub-fracción (g)	Masa de Fracción (g)
1	50-63	3.000±300	5.000±300
	37,5-50	2.000±200	
2	25,0-37,5	1.000±50	1.500±50
	19-25,0	500±30	
3	12,5-19	670±30	1.000±10
	9,5-12,5	330 ±5	
4	4,75-9,5	300±5	300±5
5	2,36-4,75	100±5	100±5

Nota 5: Para tamaños mayores a 63 mm constituir fracciones de 7.000 ± 1.000 g por cada incremento del tamaño en 25 mm. La fracción 5 es sólo para asfalto.

- c) Tome los tamaños de muestra indicados en la **Tabla 6.3_12**, considerando el porcentaje parcial retenido (Ppr) de cada fracción, determinado mediante tamizado según **Sección 6.3.1.4**, en la forma siguiente:
- Ensaye las fracciones indicadas siempre que el Ppr sea igual o mayor que 5%.
 - No ensaye las fracciones que tengan un Ppr menor que 5% (ver 19).
 - Si una subfracción de áridos grueso tiene un Ppr menor que 3%, componga la fracción con la subfracción que exista, siempre que ella tenga un Ppr igual o mayor a 3%.

C. ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

C.1. Árido Fino

- Lave la muestra de ensayo sobre un tamiz de 0,3mm (Nº50) o 0,15mm (Nº100), para hormigón o asfalto, respectivamente.
- Seque hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Tamice de modo de obtener las fracciones de muestra especificadas en la **Tabla 6.3_12**.
- Pese los tamaños de muestra requeridos para cada fracción y registre la masa inicial (mi) de cada una de ellas, aproximando a 0,1 g.

- e) Coloque cada fracción en su canastillo.

C.2. Árido grueso

- a) Lave la muestra de ensayo sobre un tamiz de 4,75mm (Nº4) o 2,36mm (Nº 8), según corresponda.
- b) Seque hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- c) Tamice de modo de obtener las subfracciones de muestra especificada en la **Tabla 6.3_ 13**.
- d) Pese los tamaños de muestra requeridos para cada subfracción.
- e) Componga y pese las fracciones requeridas y registre la masa inicial (mi) de cada una de ellas, aproximando a 1 g.
- f) Cuente y registre el número inicial de partículas (ni) de tamaño mayor a 19mm (3/4).
- g) Coloque cada fracción en su canastillo.

6.3.1.14.4. CICLOS DE INMERSIÓN Y SECADO

- a. Sumerja los canastillos con las fracciones de muestra en la solución de sulfato de sodio o sulfato de magnesio a una temperatura de $20 \pm 3^\circ\text{C}$ por un período de 17 ± 1 h, de modo que los áridos queden cubiertos por una capa de solución superior a 1,5 cm. Cubra los recipientes para reducir la evaporación y evitar contaminaciones.
- b. Retire los canastillos con las fracciones de muestra de la solución; deje escurrir durante 15 ± 5 min y seque hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Deje enfriar a temperatura ambiente.
- c. Repita 5 veces el ciclo de inmersión y secado.
- d. Terminado el número de ciclos y una vez enfriada la muestra, lave hasta eliminar totalmente el sulfato.

Nota 6: Para determinar el término del lavado se recomienda comprobar el agua de lavado mediante solución de cloruro de bario al 10%. No debe formarse precipitado blanco.

- e. Seque hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$; deje enfriar a temperatura ambiente. Cubra los canastillos para evitar absorciones o contaminaciones.
- f. Determine la masa final de las fracciones de acuerdo con el siguiente procedimiento:
- g. Áridos fino
- a) Tamice cada fracción de áridos fino en el tamiz en que fue retenida al iniciar el ensayo.
- b) Pese y registre la masa del material retenido como masa final de la fracción correspondiente (mf), aproximando a 0,1 g.
- h. Áridos grueso

- Tamice cada fracción de áridos grueso por el tamiz correspondiente de acuerdo con la **Tabla 6.3_14**.

Tabla 6.3_14. SERIE DE TAMICES PARA EXAMEN CUANTITATIVO

Fracción	Tamaño de partículas de la fracción original	Tamices, tamaños nominales de abertura	
		ASTM	mm
1	37,5-68	1"	25,0
2	19-37,5	½"	12,5
3	9,5-19	¼"	6,3
4	4,75-9,5	Nº 8	2,36
5	2,36-4,75	Nº 10	2,0

Nota7: La fracción 5 es sólo para asfalto.

- Pese y registre la masa del material retenido como masa final de la fracción correspondiente (mf), aproximando a 1g.
- i. Examine cualitativamente y cuantitativamente las partículas mayores que 19mm (3/4") como sigue:
- Observe y registre el efecto de la acción del sulfato (desintegración, agrietamiento, hendidura, exfoliación, desmoronamiento, etc.).
 - Cuente y registre el número final de partículas (nf).

6.3.1.14.5. CÁLCULOS

- a. Calcule el porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción de muestra de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 0,1 %.

$$P_n = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times ppr$$

Donde:

P_n : Porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción de muestra (%).

m_i : Masa inicial de la fracción (g).

m_f : Masa final de la fracción (g).

ppr: Porcentaje parcial retenido correspondiente a la fracción según el análisis granulométrico (%).

- b. Para las fracciones no ensayadas de acuerdo con lo especificado en 7 c), considere que tienen una pérdida de masa igual a la media aritmética de las pérdidas de las dos fracciones inmediatamente superior e inferior. Si se trata de una fracción extrema considere que tiene una pérdida igual a la de la fracción más próxima.
- c. Calcule la desintegración del árido fino o grueso, según corresponda, como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 0,1%.

$$P(\%) = (P_1 + P_2 + \dots P_n)$$

Donde:

P: Porcentaje de pérdida de masa de la muestra (%).

P_n : Porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción de muestra (%).

- d. Calcule el porcentaje de partículas mayores que 19mm (3/8) afectadas por la acción del sulfato, según la fórmula siguiente, aproximando al 1%.

$$A(\%) = \frac{n_i - n_f}{n_i} \times 100$$

Donde:

A: Porcentaje de partículas mayores que 19 mm afectadas por la acción del sulfato (%).

n_i : Numero de partículas mayores que 19 mm.

n_f : número final de partículas mayores que 19 mm.

6.3.1.14.6. INFORME

El informe debe incluir los siguientes datos:

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Procedencia de la muestra.
- c) Sal con que se efectuó el ensayo.
- d) Resultado del ensayo.
- e) Fecha de ensayo.
- f) Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al árido.
- g) La referencia a este método.

SECCION 6.3.1.15.

CANTIDAD DE PARTÍCULAS LIVIANAS EN LOS ÁRIDOS (ASTM C 123 AASHTO T113)

6.3.1.15.1. OBJETO

Este método tiene por objeto establecer el método para determinar el porcentaje de partículas livianas en los áridos, mediante separación por suspensión, en un líquido de peso específico elevado.

6.3.1.15.2. EQUIPO

- Balanzas, una con capacidad de 500 g y precisión de 0,1g, para áridos finos, y otra con capacidad mínima de 5000 g y precisión de 1 g, para áridos gruesos.
- Recipientes, adecuados para secar las muestras y contener el líquido de alta densidad, durante la separación por suspensión.
- Tamices, con abertura de 4,75 mm (No.4) 300 μ m (No.50) y demás según Sección 6.3.1.4.
- Horno con regulación de aire y temperatura regulada, capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$).
- Colador, dispositivo hecho de malla de alambre, de tejido cuadrado correspondiente al tamiz de 300 μ m (No.50), con forma y tamaño adaptados para separar las partículas flotantes del líquido pesado.
- Reactivos.**

Líquido de elevado peso específico, el cual debe consistir en una mezcla de tetracloruro de carbono y tetrabromoetano; o bromoformo y monobromobenceno; o bromoformo y benceno, en tal proporción, que su peso específico sea de 2,00; puede usarse bromotriclorometano si su peso específico es de 2,00. El peso específico no debe variar durante el ensayo en $\pm 0,01$ del valor especificado.

Los volúmenes de los compuestos, que deben mezclarse para obtener el líquido del peso específico requerido, pueden ser calculados mediante la **Tabla 6.3_15**.

Tabla 6.3_15. PESO ESPECÍFICO DE LOS COMPUESTOS DE BASE PARA LOS REACTIVOS DEL ENSAYO

Reactivo	Peso Especifico
Tetrabromoetano	2,97
Benceno	0,88
Bromoformo	2,88
Tetracloruro de Carbono	1,58
Monobromobenceno	1,49

6.3.1.15.3. PREPARACION DE LA MUESTRA

- a. Dispóngase una cantidad de muestra para ensayo, cuyo peso esté de acuerdo con la Tabla 6.3_16.

Tabla 6.3_16. PESO MINIMO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Tamaño máximo de áridos	Peso mínimo de la muestra
4,75 mm (Nº4) ⁽¹⁾	200 g
19,00 mm (3/4")	3.000 g
37,50 mm (1 ½")	5.000 g
75,00 mm (3")	10.000 g

⁽¹⁾ Árido fino

- b. Séquese la muestra, a una temperatura entre $105 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$), hasta peso constante.
- c. **Árido fino.**

Déjese enfriar la muestra a la temperatura ambiente, y pásese por el tamiz de $300 \mu\text{m}$ (No.50), hasta cuando menos del 1% del material retenido pase, después de un minuto de tamizado continuo.

Pésese el material retenido en el tamiz de $300 \mu\text{m}$ (No.50), con una precisión de 0,1 g y sométase al proceso descrito en la **Sección 6.3.1.10**, hasta cuando el árido alcance la condición de saturado con superficie seca (S.S.S).

- d. **Árido Grueso.**

Déjese enfriar la muestra a la temperatura ambiente y pásese sobre el tamiz de 4,75 mm (No.4).

Pésese el material retenido en el tamiz de 4,75 mm (No.4), con una precisión de 1 g y sométase al proceso descrito en la Sección 6.3.1.9, hasta cuando el agregado alcance la condición de saturado con superficie seca (S.S.S).

6.3.1.15.4. PROCEDIMIENTO

A. ÁRIDO FINO

Colóquese la muestra dentro del recipiente con el líquido de peso específico alto, cuyo volumen mínimo debe ser tres veces el del árido.

Viértase el líquido que rebosa en un segundo recipiente, pasándolo a través del tamiz, y teniendo el cuidado de que solamente las partículas que floten, se viertan en el tamiz. Devuélvase el líquido recogido en el segundo recipiente al primero; después de agitar la muestra vigorosamente, repítase la operación anterior, hasta cuando la muestra esté libre de partículas flotantes.

Lávense con tetracloruro de carbono, las partículas retenidas en el tamiz, hasta remover de ellas el líquido de peso específico alto, y déjense secar. Por sí solas, las partículas se secan rápidamente, pero si se desea, se pueden colocar dentro de un horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$) por unos pocos minutos. Pésese el material retenido en el colador, con una precisión de 0,1 g.

B. ÁRIDO GRUESO

Colóquese la muestra dentro del recipiente con el líquido de peso específico alto, cuyo volumen mínimo debe ser tres veces el del árido.

Retírense las partículas que suban a la superficie, usando el colador y colóquense en otro re-

cipiente. Agítase la muestra repetidamente y retírense las partículas que flotan, hasta cuando ninguna suba a la superficie del líquido. Lávense las partículas retiradas con tetracloruro de carbono, hasta remover de ellas el líquido de peso específico alto; déjense secar y pénsese con una precisión de 1 g.

6.3.1.15.5. CÁLCULOS

El porcentaje de partículas livianas en los áridos se calcula mediante las siguientes fórmulas:

A. ÁRIDO FINO

$$L = \frac{M_1}{M_2} \times 100$$

Donde:

- L: Porcentaje de partículas livianas
- M₁: Peso de las partículas retenidas en el colador
- M₂: Peso de la muestra seca retenida en el tamiz de 300 µm (Nº 50)

B. ÁRIDO GRUESO

$$L = \frac{M_1}{M_3} \times 100$$

Donde:

- L: Porcentaje de partículas livianas
- M₁: Peso de las partículas retenidas en el colador
- M₃: Peso de la muestra seca retenida en el tamiz de 4,75 mm (Nº 4)

6.3.1.15.6. PRECAUCIONES

Los reactivos indicados en el **Tabla 6.3_15**, son altamente tóxicos por inhalación y por absorción a través de la piel. Por lo tanto, deberá evitarse la inhalación de sus vapores o el contacto de ellos con la piel.

6.3.1.15.7. INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Identificación de la fuente, tipo y tamaño máximo nominal del árido.
- b) Tipo y peso específico del reactivo usado.
- c) Porcentaje de partículas livianas aproximadas al 0,1 %.

SECCION 6.3.1.16.

HUMEDAD SUPERFICIAL EN ÁRIDOS FINOS (ASTM C 70 AASHTO T142)

6.3.1.16.1. OBJETO

Este método de ensayo cubre la determinación en el terreno de la humedad superficial en áridos finos, mediante desplazamiento de agua.

6.3.1.16.2. USO Y SIGNIFICADO

- a. Este método de ensayo no es muy usado. Sin embargo, es un procedimiento conveniente para la determinación en el terreno de la humedad superficial en áridos finos, si los valores de peso específico son conocidos y no están disponibles otros métodos de secado. Puede ser usado para ajustar los pesos de los áridos en su humedad y para determinar la contribución de la humedad superficial al agua de mezcla en hormigón de cemento Portland.
- b. La exactitud de este método depende de la exactitud de la información sobre el peso específico de la muestra en una condición saturada con superficie seca.

6.3.1.16.3. EQUIPOS Y MATERIALES

- a. Balanza, con capacidad de 2 kg o más, y precisión de 0,5 g o menos.
- b. Recipiente, preferiblemente de vidrio o de metal no corrosivo, como un picnómetro, un matraz volumétrico, u otro recipiente de medida apropiado. Su volumen debe ser de dos a tres veces el volumen suelto de la muestra. Debe ser diseñado de tal manera que pueda ser llenado hasta una marca o que el volumen pueda ser leído con precisión de 0,5 ml o menos.

6.3.1.16.4. PREPARACION DE LA MUESTRA

Escójase una muestra representativa de árido fino para ser ensayada, que no pese menos de 200 gr. Muestras más grandes darán resultados más exactos.

6.3.1.16.5. PROCEDIMIENTO

La humedad superficial puede ser determinada tanto por peso como por volumen. En ambos casos, el ensayo deberá efectuarse a una temperatura comprendida entre 18°C y 29°C (65 a 85°F).

A. DETERMINACIÓN POR PESO

Determinese el peso en gramos del recipiente, lleno con agua hasta la marca. Antes de colocar la muestra en el recipiente, ajústese el nivel del agua de tal forma que sea suficiente para cubrir la muestra, pero sin rebasar la marca original. Introdúzcase la muestra de árido fino de peso conocido dentro del recipiente y remuévase el aire atrapado. Llég-

nese el recipiente hasta la marca original y determínese su peso en gramos. Calcúlese la cantidad de agua desplazada por la muestra así:

$$W_w = W_c + W_s - W$$

Donde:

- W_w : Peso del agua desplazada por la muestra (g).
- W_c : Peso del recipiente lleno únicamente con agua hasta la marca (g).
- W_s : Peso de la muestra (g).
- W : Peso del recipiente con la muestra, lleno hasta la marca (g).

B. DETERMINACIÓN POR VOLUMEN

Mídase un volumen de agua, en mililitros, suficiente para cubrir la muestra, y póngase en el recipiente. Introdúzcase la muestra de árido fino de peso conocido dentro del recipiente y remuévase el aire atrapado. Determínese el volumen combinado de muestra y agua, leyendo directamente cuando se use un matraz graduado. Cuando se use un picnómetro o un matraz no graduado, termínese de llenar el recipiente con agua hasta la marca. El volumen del matraz o del picnómetro es igual al volumen combinado de agua y muestra. Calcúlese la cantidad de agua desplazada por la muestra como sigue:

$$V_s = V_2 - V_1$$

Donde:

- V_s : Volumen del agua desplazada por la muestra (ml).
- V_2 : Volumen combinado de muestra y agua (ml).
- V_1 : Volumen total de agua en el recipiente, requerida para cubrir la muestra y dar el nivel hasta la marca de volumen (ml).

6.3.1.16.6. CÁLCULOS

- a. Calcúlese el porcentaje de humedad superficial en términos del árido fino saturado y con superficie seca, de la manera siguiente:

$$P_d = P \left[1 + \frac{P_a}{100} \right]$$

Donde:

- P_d : Humedad superficial en términos del árido fino seco (%).
- P_a : Porcentaje de absorción del árido fino, determinado según la **Sección 6.3.1.10.**

La humedad total, en términos de árido seco, es la suma de la humedad superficial, P_d y la absorción P_a .

- b. Desarrollo de las ecuaciones anteriores:

Estas ecuaciones son derivadas de relaciones básicas. Por conveniencia, P se expresa en términos de la razón r, que es la relación entre el peso de la humedad superficial y el peso del árido fino saturado con superficie seca. Entonces:

$$r = \frac{W_S \left[\frac{W_S}{1+r} \right]}{\frac{W_S}{1+r}} \quad (1)$$

Si G es el peso específico aparente del árido fino saturado con superficie seca, entonces:

$$W_w = \frac{W_S}{G(1+r)} + \left(W_S - \frac{W_S}{1+r} \right) \quad (2)$$

Donde el primer término da el agua desplazada por el árido saturado con superficie seca y el segundo da la que es desplazada por la humedad superficial.

De la ecuación (2)

$$\frac{W_S}{1+r} = \frac{W_w - W_S}{\frac{1}{G} - 1}$$

SECCION 6.3.1.17. | ÍNDICE DE DURABILIDAD DE ÁRIDOS (ASTM D 3744 AASHTO T210)

6.3.1.17.1. OBJETO

Este método describe el procedimiento para determinar la durabilidad de áridos. El índice de durabilidad es un valor que muestra la resistencia relativa de un árido para producir finos dañinos, del tipo arcilloso, cuando se somete a los métodos de degradación mecánica que se describen.

6.3.1.17.2. USO Y SIGNIFICADO

1. Este ensayo asigna un valor empírico a la cantidad relativa, finura, y comportamiento arcilloso del material que puede ser generado en un árido cuando se somete a degradación mecánica.
2. Un índice de durabilidad mínimo ha sido especificado para prohibir el uso de un árido, en varias aplicaciones de construcción, propensas a degradación y consecuente generación de finos de comportamiento arcilloso.
3. Este método provee un ensayo rápido de evaluaciones de la calidad de una nueva fuente de áridos. Investigaciones han indicado que puede también usarse, en cambio del ensayo de sanidad frente a la acción de una solución de sulfato de sodio, para evaluar la durabilidad del árido fino de uso en el hormigón, reduciendo así el consumo de tiempo y los costos incurridos en el ensayo de sanidad.
4. Aunque la aplicación de este método se ha restringido a áridos para usos específicos de construcción, puede expandirse a otras áreas, como mezclas bituminosas de pavimento y hormigón.

6.3.1.17.3. EQUIPOS Y MATERIALES

5. Vaso mecánico de lavado, cilíndrico, de paredes rectas y fondo plano, conforme con las especificaciones y dimensiones de la **Figura 6.3_6**.
6. Recipiente colector, circular, de al menos 254 mm (10") de diámetro y de aproximadamente 102 mm (4") de profundidad, para recoger el agua resultante del lavado de la muestra. Tiene paredes verticales o casi verticales y está equipado con lo necesario para acoplar un tamiz, de tal forma que la malla del tamiz quede por lo menos a 76,2 mm (3") del fondo del recipiente. Puede usarse un adaptador, que evite la pérdida de finos y de agua de lavado, anidando el tamiz y el recipiente, o puede colocarse un tamiz en blanco (sin malla) bajo el otro tamiz, que repose directamente en el fondo del recipiente.
7. Agitador portátil tipo Tyler de tamices, modificado y ajustado para operar a 285 ± 10 ciclos completos por minuto. Los dos períodos de agitación, especificados en los numerales posteriores, se llevan a cabo con este agitador modificado.

Nota 1: Otros tipos de agitadores de tamices pueden ser usados, siempre y cuando todos sus factores sean ajustados para obtener los mismos resultados que con el agitador de Tyler.

8. Todo el equipo utilizado en la **Sección 6.3.1.13** (Equivalente de Arena).
9. Tamices
10. Balanza, con capacidad mínima de 500 g y precisión de 1 g.

6.3.1.17.4. MATERIALES Y REACTIVOS

11. Soluciones, base y de trabajo, de cloruro de calcio, con los requisitos de la **Sección 6.3.1.13** "Equivalente de Arena".
12. Agua destilada y/o agua desmineralizada, pues los resultados del ensayo pueden ser afectados por ciertos minerales disueltos en el agua. Sin embargo, si se demuestra que el agua usualmente disponible no afecta los resultados, se puede utilizar dicha agua, excepto en aquellas partes del procedimiento en los que se ordene usar expresamente agua destilada o desmineralizada. Para ensayos con propósitos de referencia, en todos los pasos del ensayo se debe usar agua destilada o desmineralizada.

6.3.1.17.5. CONTROL DE TEMPERATURA

13. Este ensayo puede efectuarse normalmente sin control de temperatura; sin embargo, para propósitos de referencia, ensáyese de nuevo el material, con la temperatura del agua destilada o desmineralizada y de la solución de trabajo de cloruro de calcio a $22 \pm 3^\circ\text{C}$ ($72 \pm 5^\circ\text{F}$).

6.3.1.17.6. MUESTREO

14. Obténganse las muestras del árido a ser ensayado de acuerdo con la **Sección 6.3.1.1**.

6.3.1.17.7. PREPARACION INICIAL DE LA MUESTRA

15. Séquense suficientemente las muestras de árido, para permitir su completa separación de tamaños mediante el tamiz de 4,75 mm (No.4), y para desarrollar una condición de fluidez o libre movimiento de los áridos cuando pasan a través del tamiz.

El secado puede efectuarse por cualquier método, siempre y cuando no se excedan los 60°C (140°F) y no se degraden las partículas. Los métodos de secado más usados son el secado al sol, al horno y el uso de corrientes de aire caliente.

16. Si la muestra contiene una cantidad apreciable de arcilla, dénese vueltas al árido a medida que se seca, para obtener un secado uniforme y evitar la formación de terrones duros de arcilla.
17. Rómpanse los terrones duros y remuévanse los finos que cubren los áridos gruesos, por cualquier método que no reduzca apreciablemente el tamaño natural de las partículas.
18. Determínese la gradación de la muestra por tamizado, de acuerdo con la **Sección 6.3.1.4**, con los tamices de 19,0; 12,5; 9,5; 4,75; 2,36 y 1,18 mm ($3/4''$, $1/2''$, $3/8''$, No.4, No.8, No.16). Descártese cualquier material que sea retenido en el tamiz de 19,0 mm ($3/4''$).
19. Determínense los procedimientos de ensayo que se usarán para establecer el índice de durabilidad del árido, basándose en la gradación obtenida en el numeral 18:

- Si menos del 10% pasa el tamiz de 4,75 mm (No.4), ensáyese solamente el árido grueso (procedimiento A).
- Si menos del 10% del árido es de tamaño mayor que el tamiz de 4,75 mm (No.4), ensáyese únicamente el árido fino (procedimiento B).
- Cuando ambas fracciones del árido, grueso y fino, están presentes en cantidades iguales o mayores al 10%, y el porcentaje que pasa el tamiz de 1,18 mm (No.16) es mayor del 10%, úsense ambos procedimientos, A y B, a las fracciones correspondientes.
- Si el porcentaje que pasa el tamiz de 1,18 mm (No.16) es menor o igual al 10%, úsense el procedimiento A o el procedimiento C.
- Si la mayoría del árido (75 a 80%) se encuentra entre los tamices de 9,5 mm (3/8") y 1,18 mm (No.16), úsense únicamente el procedimiento C.

6.3.1.17.8. PROCEDIMIENTO A - ÁRIDO GRUESO

B.1. Preparación de la muestra

20. Prepárese una muestra preliminar de ensayo de 2550 ± 25 g, secada al aire, usando la siguiente gradación:

Tamaño del árido	Peso seco al aire (g)
19,0 a 12,5 mm (3/4" a 1/2")	1.070±10
12,5 a 9,5 mm (1/2" a 3/8")	570±10
9,5 a 4,75 mm (3/8" a N°4)	910±5
	2.550±25

Séquese esta muestra preliminar, hasta peso constante, a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$); déjese enfriar y pése. Regístrese el peso resultante W.

Nota 2. Si no se requiere un ajuste al peso del espécimen o al volumen del agua de lavado y de ensayo, o a ambos, no es necesario secar la muestra al horno antes del lavado inicial.

21. Deposítese la muestra preliminar de ensayo dentro del vaso mecánico de lavado, añádanse 1000 ± 5 ml de agua destilada o desmineralizada, ajústese la tapa del vaso y asegúrese el vaso en el agitador.
22. Debido a la baja gravedad específica o a la alta tasa de absorción de ciertos áridos, las proporciones de áridos y agua pueden no permitir la abrasión deseada entre las partículas. El ensayo de estos materiales requerirá un ajuste al peso del espécimen de ensayo o al volumen del agua, tanto de lavado como de ensayo, o a ambos:
- Lávense todos los materiales que no se inundan completamente cuando se agregan 1000 ml de agua a la muestra de ensayo, y ensáyese con ajuste a los pesos del espécimen y a los volúmenes de agua.
 - Determínese el peso específico del árido secado al horno y su porcentaje de absorción, de acuerdo a la **Sección 6.3.1.9.**
 - Ajústese el peso total de la muestra de ensayo usando la siguiente ecuación:

$$\text{Peso ajustado de la muestra} = \frac{\text{Peso específico del agregado}}{2,65} \times W$$

- Ajustese el peso del material en cada tamaño proporcionalmente a los pesos especificados en el numeral 26.
- Ajustese el volumen del agua de ensayo usando la siguiente ecuación:

$$\text{Agua ajustada} = 1000 + (A \times W) - 50$$

Donde:

A: Absorción del árido (%).

W: Peso de la muestra de ensayo secada al horno (g).

23. Después de 60 ± 10 segundos de haber introducido el agua de lavado, agítase el vaso en el agitador de tamices, por un tiempo de 120 ± 5 segundos.
24. Al terminar el período de 2 min de agitación, remuévase el vaso del agitador, destápese y cuélese su contenido por el tamiz de 4,75 mm (No.4). Lávense los finos remanentes en el vaso con la ayuda de una manguera, de forma tal que el agua de lavado pase por el tamiz y caiga en el mismo recipiente de los áridos que lo atravesaron, hasta que salga limpia el agua.
25. Séquese la fracción retenida en el tamiz de 4,75 mm (No.4) hasta peso constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$) y pésese. Si la pérdida de peso debido al lavado efectuado según los numerales 21 a 24 es igual o menor a 75 g, una muestra para ensayos adicionales debe ser preparada y los procedimientos de los numerales 26 a 31 deben ser omitidos. Si la pérdida de peso excede los 75 g, la muestra preliminar de ensayo puede conservarse y ser usada, siempre y cuando una segunda muestra se lave mediante el mismo procedimiento y las dos muestras sean combinadas de acuerdo a los pesos especificados para proveer la muestra de ensayo deseada.
26. Determinése la gradación a ser usada en la preparación de la muestra de ensayo preliminar como sigue:

Si cada uno de los tamaños de áridos listados en la siguiente tabla representa el 10% o más de la porción comprendida entre los tamices de 19,0 mm ($3/4''$) y 4,75 mm (Nº.4), como se determinó en los pesos registrados en el numeral 18, úsense los pesos del material (secado al horno) especificado enseguida, para preparar la muestra de ensayo preliminar.

Tamaño del árido	Peso seco al horno (g)
19,0 a 12,5 mm ($3/4''$ a $1/2''$)	1.070±10
12,5 a 9,5 mm ($1/2''$ a $3/8''$)	550±10
9,5 a 4,75 mm ($3/8''$ a Nº4)	900±5
	2.500±25

27. Prepárense 2500 g de muestra de ensayo preliminar usando la gradación prescrita. Séquese esta muestra hasta peso constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$).
28. Lávese mecánicamente la muestra preliminar de la misma manera como se describió en los numerales 21 a 24.
29. Repítanse las secciones 27 y 28, si es necesario, para obtener suficiente material que dé

una muestra de ensayo lavada de 2500 ± 25 g, numeral 26.

30. Después de permitir que se enfríe el material secado al horno, sepárese el árido grueso lavado, en los tamices de 12,5, 9,5 y 4,75 mm ($\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", No.4). Descártese el material que pasa el tamiz de 4,75 mm (No.4).
31. Prepárese la muestra de ensayo lavada usando los pesos especificados en el numeral 26, a partir de porciones representativas de cada tamaño del material lavado. Ocasionalmente, puede ser necesario lavar una tercera muestra preliminar de ensayo para obtener el peso requerido en un tamaño específico de material.

B.2. Procedimiento para el árido grueso

32. Colóquese el cilindro plástico (el mismo requerido en la **Sección 6.3.1.13** para obtención del equivalente de arena) sobre una mesa de trabajo, la cual no debe estar expuesta a vibraciones durante el proceso de sedimentación del ensayo. Viértanse 7 ml (0.24 onzas) de la solución base del cloruro de calcio dentro del cilindro. Colóquense los tamices de 4,75 mm (No.4) y de 75 μ m (No.200) sobre el recipiente recolector del agua de lavado con el tamiz de 4,75 mm (No.4) arriba, el cual sirve sólo para proteger el tamiz de 75 μ m (No.200).
33. Colóquese la muestra de ensayo lavada (como se preparó en el punto "Preparación de la muestra" del Procedimiento A) en el vaso mecánico de lavado. Añádase luego la cantidad de agua destilada o desmineralizada, determinada en el numeral 22; ajústese la tapa y colóquese el vaso en el agitador.

Comiéncese la agitación después de 60 segundos de haber vertido el agua de lavado. Agítese el vaso por 600 ± 15 segundos.

34. Inmediatamente después de agitado, retírese el vaso del agitador y quítesele la tapa. Agítese el contenido del vaso sostenido verticalmente, en forma vigorosa, con movimientos horizontales -circulares, cinco o seis veces, para poner los finos en suspensión e inmediatamente viértase este contenido en el recipiente colector de agua de lavado con los tamices mencionados en el numeral 32.

Descártese el material retenido en el tamiz de 4,75 mm (Nº.4). Recójase toda el agua de lavado y material que pasa el tamiz de 75 μ m (Nº.200) en el recipiente colector. Para asegurar que el material de tamaño inferior al del tamiz de 75 μ m (Nº.200) ciertamente pasa por dicho tamiz, deben seguirse los siguientes pasos:

- a) A medida que se cuele el material por el tamiz de 75 μ m (No.200), debe golpearse repetidamente el lado del tamiz con la mano.
 - b) Si aún queda una concentración retenida en el tamiz, debe reciclarse el agua de lavado. Para ello debe primero dejarse reposar el agua del colector permitiendo que asienten las partículas mayores. Luego, el agua un poco más clara de la parte superior puede depositarse en otro recipiente y volverse a verter sobre los tamices, para caer de nuevo en el recipiente colector, lavando así las partículas remanentes. Debe repetirse este reciclaje hasta que todas las partículas que deben pasar por el tamiz de 75 μ m efectivamente pasen y se junten en el recipiente colector.
35. Añádase agua destilada o desmineralizada, hasta dar el volumen de 1000 ± 5 ml de agua sucia. Transfírase el agua de lavado a otro recipiente adecuado para agitar y verter su contenido.
 36. Colóquese un embudo en el cilindro plástico graduado. Agítese manualmente el agua de

lavado para poner los finos en suspensión. Estando aún en turbulencia, viértase el agua de lavado dentro del cilindro graduado, en cantidad tal, que llegue el nivel del agua a la marca de 380 mm (15").

37. Remuévase el embudo, colóquese el tapón en el extremo del cilindro y prepárese para mezclar el contenido inmediatamente.
38. Mézclase el contenido del cilindro mediante movimientos alternados de agitación hacia arriba y hacia abajo, o a la derecha y a la izquierda, haciendo que la burbuja atraviese completamente el cilindro 20 veces en 35 segundos aproximadamente.
39. Al terminar el proceso de mezcla, colóquese el cilindro sobre la mesa de trabajo y remuévase el tapón. Déjese reposar el contenido del cilindro por 1200 ± 15 segundos, cuidando de no perturbarlo.

Exactamente al final de este tiempo léase y regístrese la altura de la columna de sedimentación, con aproximación de 2,5 mm (0.1").

Nota 3: Existen dos condiciones inusuales que pueden ser encontradas en esta fase del procedimiento de ensayo. Una es que puede no formarse una línea de demarcación claramente definida entre el sedimento y el líquido sobre él, al finalizar los 20 minutos especificados. Si esto ocurre en un ensayo donde se usó agua destilada o desmineralizada, déjese sedimentar aún más hasta que se forme la línea de demarcación, mézclase la altura y regístrese el tiempo. Si en cambio el ensayo se hizo con agua común, debe discontinuarse el ensayo y repetirse usando una parte de la muestra que no esté ensayada, y usando agua desmineralizada. La segunda condición inusual es que el líquido que está sobre la línea de demarcación puede verse aún oscuro y turbio al final de los 20 minutos de sedimentación, viéndose como si la línea de demarcación estuviese dentro de la misma columna de sedimentación. Al igual que la primera condición, si se ha usado agua común, debe volver a hacerse el ensayo con una nueva muestra y con agua destilada y desmineralizada; en caso contrario, puede leerse y registrarse esta línea de demarcación al final del tiempo de sedimentación de 20 minutos.

6.3.1.17.9. PROCEDIMIENTO B - ÁRIDO FINO

B.1. Preparación de la muestra de ensayo

40. Cuartéese una porción representativa del material que pasa por el tamiz de 4,75 mm (No.4), suficiente para obtener un peso secado al horno de 500 ± 25 g.
41. Séquese la muestra preliminar de ensayo hasta peso constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$). Enfríese a la temperatura ambiente.
42. Colóquese la muestra de ensayo en el vaso mecánico de lavado, añádanse 1000 ± 5 ml de agua destilada y desmineralizada, y tápese el vaso. Asegúrese el vaso en el agitador con suficiente tiempo para comenzar la agitación después de 600 ± 30 segundos de haber introducido el agua de lavado. Agítese el vaso por un período de 120 ± 5 segundos.
43. Después de completar el período de agitación de 2 minutos, retírese el vaso del agitador, destápese y cuélese cuidadosamente su contenido a través del tamiz de $75 \mu\text{m}$ (No.200), protegido con el tamiz de 4,75 mm (No.4), como se describió en el numeral 32. Enjuáguese el vaso y el tamiz con ayuda de una manguera, de manera que el agua de lavado caiga en el mismo recipiente de los áridos que pasaron el tamiz de $75 \mu\text{m}$ (No.200), hasta que el agua que pasa por el tamiz salga clara.

44. Puede ser necesario fluidificar aquellas muestras que sean arcillosas o limosas, antes de verterlas sobre el tamiz, para prevenir el taponamiento del tamiz de 75 μm (No.200). Se fluidifica añadiendo agua al vaso después del período de agitación. Fluidificación repetida puede ser necesaria en casos extremos, antes de que el contenido del vaso sea vertido en el tamiz.
45. Después del lavado, transfírase el material retenido en el tamiz, a un recipiente de secado y séquese hasta peso constante, a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$). Es necesario lavar el material retenido en el tamiz de 75 μm (No.200) para transferirlo al recipiente de secado. Déjese el recipiente en una posición inclinada, hasta que el agua libre que drena por el lado más bajo sea clara. Luego desalójese esta agua clara. Úsen-se recipientes grandes y pandos para extender la muestra y aumentar la velocidad de secado.
46. Después de permitir que el material secado al horno se enfríe, tamícese la muestra de ensayo, por 20 minutos, usando los siguientes tamices: 2,36 y 1,18 mm, 600, 300, 150 y 75 μm (Nos.8, 16, 30, 50, 100 y 200).

Nota 4: El agitador descrito en el numeral 7 no es aconsejable si se decide calcular la gradación del material. Cualquier agitador mecánico puede ser usado para la separación de tamaños en vez del agitador especificado. No es esencial efectuar el análisis granulométrico para llevar a cabo el ensayo de durabilidad para los áridos finos. Si no se desea hacer el análisis granulométrico, este paso se puede omitir.

47. Después de averiguar la granulometría de la muestra de ensayo lavada, recombínese todo el material retenido en los diferentes tamaños, con el material que pasa el tamiz de 75 μm (Nº 200) que fue colectado en el recipiente colector.
48. Cuartéese una cantidad suficiente del material lavado y tamizado, para llenar la lata de medida de 85 ml (3 oz) hasta el borde. Mientras que se llena la lata, golpéese su fondo sobre otra superficie dura para causar la consolidación del material y permitir que quepa la mayor cantidad de material en la lata. Téngase especial cuidado en este procedimiento para lograr una muestra verdaderamente representativa.

Nota 5: Es preferible el uso de un cuarteador que cumpla con los requisitos de la **Sección 6.3.1.2.**

B.2. Procedimiento para el árido fino

49. Hágase un ensayo de equivalente de arena de acuerdo con la **Sección 6.3.1.13**, con la excepción de que se debe usar un agitador mecánico para agitar continuamente el cilindro y su contenido por un tiempo de 600 ± 15 segundos.

6.3.1.17.10. PROCEDIMIENTO C - ÁRIDOS MUY FINOS PARA SER ENSAYADOS COMO ÁRIDOS GRUESOS Y MUY GRUESOS PARA SER ENSAYADOS COMO ÁRIDOS FINOS

B.1. Preparación de la muestra

50. El procedimiento C ha sido desarrollado para ensayar áridos que están contenidos principalmente entre los tamices de 9,5 mm y 1,18 mm ($3/8''$ y Nº 16). Estos áridos son muy finos para ser ensayados como áridos gruesos y muy gruesos para ser ensayados como arena.
51. Prepárese la muestra de ensayo de la misma forma que la especificada en el punto "Pre-

paración de la muestra de ensayo” del Procedimiento B, exceptuando que se elimina el procedimiento de tamizado y de recombinación del material seco como se requería en los numerales 46 y 47.

Procedimiento

52. Llénese el cilindro plástico hasta el nivel de $102 \pm 2,5$ mm (4 ± 0.1 ”) con agua destilada o desmineralizada. Viértase el espécimen de ensayo preparado dentro del cilindro mediante un embudo para evitar derramamiento. Golpéese súbitamente el fondo del cilindro con la palma de la mano, para liberar cualquier burbuja y ayudar al humedecimiento total del espécimen. Permítase reposar el cilindro por 10 ± 1 minutos.
53. Tápese el cilindro, aflójese el material del fondo, y colóquese el cilindro en el agitador mecánico del equivalente de arena. Enciéndase el cronómetro y permítase que la máquina agite el cilindro y su contenido por 30 ± 1 minutos.
54. Al final del período de agitación, remuévase el cilindro del agitador y transfírase el agua y el material que pasa el tamiz de $75 \mu\text{m}$ (Nº 200) a un segundo cilindro que contiene 7 ml (0.24 oz) de solución base de cloruro de calcio. Para ello, deben anidarse los tamices de 2,36 mm y de $75 \mu\text{m}$ (Nº 8 y Nº 200) con un embudo que descarga al segundo cilindro, debe golpearse el fondo del primer cilindro (aún tapado) y agitarse para aflojar su contenido, luego invertirlo sobre el embudo con los tamices, quitar el tapón y dejar que se cuele el contenido a través de los tamices y que descargue el material que pase, en el segundo cilindro. Luego añádase suficiente agua fresca destilada, hasta que el nivel del líquido en el segundo cilindro sea de 380 mm (15”).

Tápese el segundo cilindro y mézclese su contenido invirtiéndolo 20 veces en 35 segundos.
55. Permítase que el cilindro repose sin disturbios, por 1200 ± 15 segundos (20 minutos) desde el momento de haber completado la operación de mezcla, luego léase la marca de la suspensión arcillosa con precisión de 2,5 mm (0.1”).

6.3.1.17.11. CÁLCULOS

Procedimiento A - agregado grueso

Calcúlese el índice de durabilidad del árido grueso, aproximándolo al entero más cercano, usando la siguiente ecuación:

$$D_c = 30,3 + 20,8 \cot (0,29 + 0,15 H)$$

Dónde:

D_c: Índice de durabilidad

H: Altura de sedimentación, en pulgadas, y la cantidad (0,29 + 0,15 H) en radianes.

Procedimiento B - árido fino

Calcúlese el índice de durabilidad del árido fino, aproximándolo al entero inmediatamente superior, usando la siguiente ecuación:

$$D_f = \frac{\text{lectura de la arena}}{\text{lectura de la arcilla}} \times 100$$

Si se desea calcular el índice como el promedio de varios índices, cada índice se calcula al entero superior y el promedio de ellos también se aproxima al entero superior.

Procedimiento C - áridos muy finos para ser ensayados como áridos gruesos y muy gruesos para ser ensayados como áridos finos

Calcúlese el índice de durabilidad de acuerdo con el punto “Procedimiento A – árido grueso” de Cálculos.

6.3.1.17.12. PRECAUCIONES

56. Hágase el ensayo en un lugar libre de vibraciones, ya que las vibraciones pueden ocasionar que el material suspendido se asiente a una mayor velocidad que la normal.
57. No deben exponerse los cilindros plásticos al sol por un tiempo mayor al necesario.
58. Revísese frecuentemente el juego entre la excéntrica y la cama del agitador Tyler. Si existe tal juego, debe reemplazarse una de ellas o ambas.
59. Lubríquese el agitador al menos una vez cada tres meses.

6.3.1.17.13. INFORME

56. Infórmese la gradación del material a ensayar tal como fue recibido, la gradación de la muestra de árido grueso usada y la de árido fino usada. Infórmese el índice de durabilidad calculado (D_c o D_f) con la indicación del procedimiento usado (A, B o C).
57. Infórmese si hubo control de temperatura y si se usó agua común, destilada o desmineralizada.

6.3.1.17.14. PRECISIÓN

58. Resultados de dos (2) ensayos efectuados por el mismo operador, sobre el mismo material, no deben diferir entre sí en más de 10,1.
59. Resultados de dos (2) ensayos efectuados en laboratorios diferentes, sobre el mismo material, no deben diferir entre sí en más de 14,4.

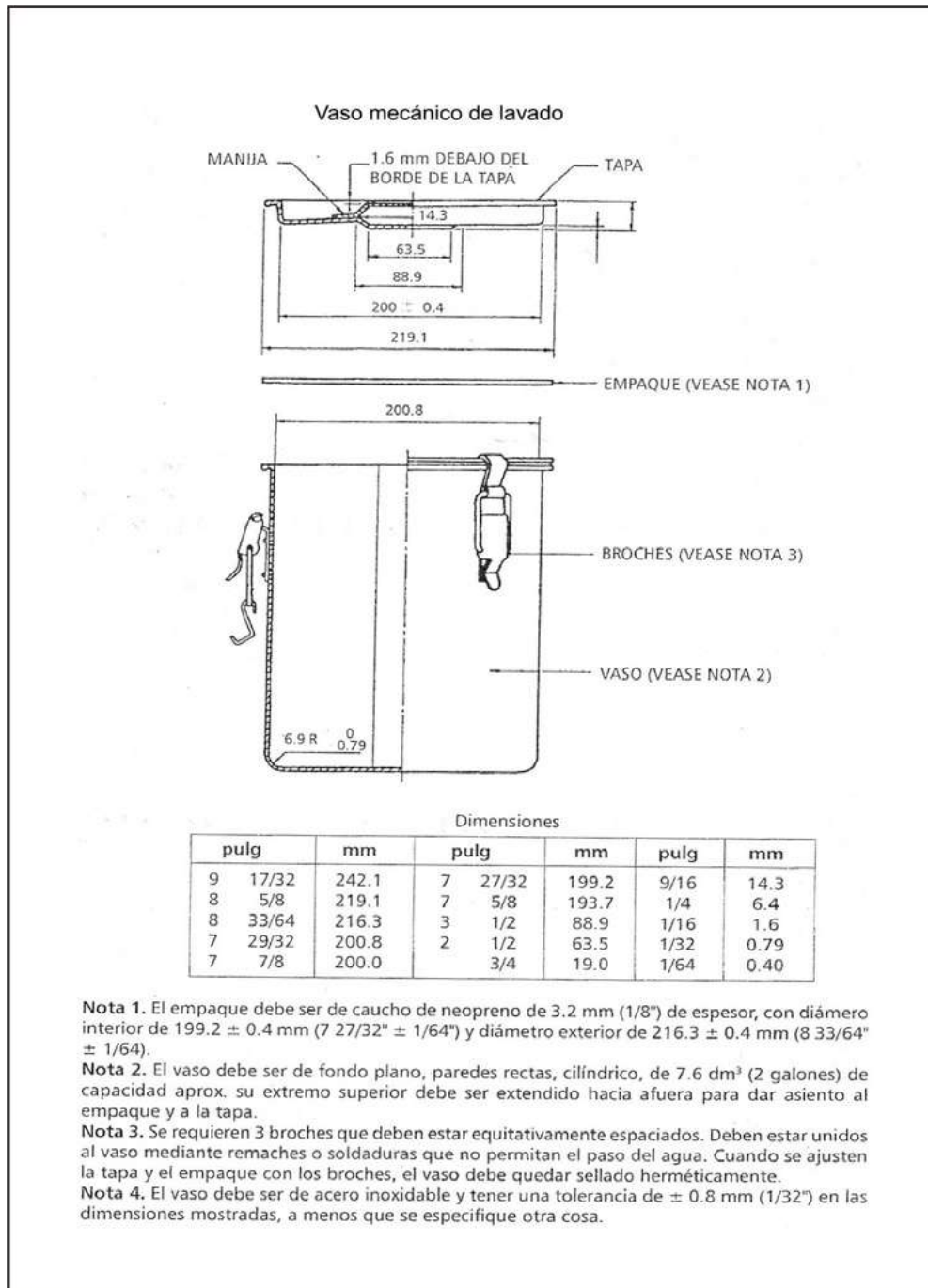


Figura 6.3_6. VASO MECÁNICO DE LAVADO

SECCION 6.3.1.18. | PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS ÁRIDOS(D 5821 NTL358)

6.3.1.18.1. OBJETO

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje, en peso, del material que presente una o más caras fracturadas de las muestras de áridos.

6.3.1.18.2. EQUIPOS Y MATERIALES

- Balanza, de 5000 g de capacidad y precisión de 1 g.
- Tamices, de 37,5, 25,0, 19,0, 12,5 y 9,5 mm (1½", 1", ¾", ½" y 3/8").
- Espátula, para separar los áridos.

6.3.1.18.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

1. La muestra para ensayo deberá ser representativa de la granulometría promedio del agregado, y se obtendrá mediante un cuidadoso cuarteo del total de la muestra recibida. Hágase el análisis granulométrico de la muestra cuarteada.
2. Sepárese por tamizado la fracción de la muestra comprendida entre los tamaños 37,5 mm y 9,5 mm (1½" y 3/8"). Descártese el resto.
3. El peso total de la muestra dependerá del tamaño del árido así:

Tamaño del árido		Peso (g)
37,5 a 25,0 mm	(1 ½" a 1")	2.000
25,4 a 19,0 mm	(1" a ¾")	1.500
19,0 a 12,5 mm	(¾" a ½")	1.200
12,5 a 9,5 mm	(½" a 3/8")	300

6.3.1.18.4. PROCEDIMIENTO

- a. Espárzase la muestra en un área suficientemente grande, para inspeccionar cada partícula. Si es necesario lávese el árido sucio. Esto facilitará la inspección y detección de las partículas fracturadas.
- b. Sepárense con el borde de la espátula, las partículas que tengan una o más caras fracturadas. Si una partícula de árido redondeada presenta una fractura muy pequeña, no se clasificará como "partícula fracturada". Una partícula se considerará como fracturada cuando un 25% o más del área de la superficie aparece fracturada. Las fracturas deben ser únicamente las recientes, aquellas que no han sido producidas por la naturaleza, sino por procedimientos mecánicos.
- c. Pése las partículas fracturadas y anótese este valor.

6.3.1.18.5. CÁLCULOS

- a. Para llevar a cabo los cálculos, sígase el formato del ejemplo que se muestra en la **Figura 6.3_7**.
- b. El procedimiento de cálculo es como se describe en los numerales siguientes.
- c. Anótese en la columna A el peso exacto de las porciones de la muestra tomadas para el ensayo, comprendidas entre los tamaños especificados, y teniendo en cuenta el numeral 3.
- d. En la columna B anótese el peso del material con caras fracturadas para cada tamaño.
- e. La columna C representa el porcentaje de caras fracturadas para cada tamaño: $C = (B/A) \times 100$.
- f. Regístrese en la columna D los valores correspondientes del análisis granulométrico de la muestra original (numeral 1).
- g. Después de calcular la columna $E = C \times D$ y sumar los valores de cada columna, el porcentaje de caras fracturadas se calcula así, expresándolo con aproximación del 1%:

Ejemplo de determinación del porcentaje de caras fracturadas de un agregado.

DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE
 DE CARAS FRACTURADAS

Obra _____ Sitio: RÍO OCOA Muestra: Triturado
 Descripción: Grava color amarillo
 Horizonte: _____ Profundidad: _____ Fecha: IV-6-88

TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C	D	E
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	(g)	(g)	$(\frac{B}{A} \times 100)$	(%)	C x D
1 1/2"	1"	2.000				
1"	3/4"	1.500	1.127	75.1	16.9	1.269.2
3/4"	1/2"	1.200	806	67.2	14.5	974.4
1/2"	3/8"	300	237	79.0	9.1	718.9
TOTAL			2.170	221.3	40.5	2.962.5
PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS		=		$\frac{\text{TOTAL E}}{\text{TOTAL D}} = 73.1 \%$		

- A PESO MUESTRA, g
- B PESO MATERIAL CON CARAS FRACTURADAS, g
- C PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS
- D PORCENTAJE RETENIDO GRADACIÓN ORIGINAL
- E PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS

OBSERVACIONES:

LABORATORISTA

INGENIERO

Figura 6.3_7. EJEMPLO DE DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS DE UN AGREGADO

SECCION 6.3.1.19. | COEFICIENTE DE FRIABILIDAD DE LOS ÁRIDOS(UNE 83115)

6.3.1.19.1. OBJETO

1. Este método describe el procedimiento que debe seguirse para determinar el coeficiente de friabilidad de los áridos, sometidos a compresión estática.
2. El ensayo proporciona una medida relativa de la resistencia de los áridos a la abrasión, cuando se someten a una carga gradualmente aplicada.
3. La utilización de cada uno de los moldes y de cada una de las cargas descritas en el ensayo, dependerá del tamaño de las partículas del árido que se pretende ensayar.

6.3.1.19.2. EQUIPOS Y MATERIALES

4. Moldes

Tres moldes cilíndricos de acero, abiertos por sus extremos, con sus placas de base, de la forma y dimensiones que se indican en la Figura 6.3_8.

Las superficies interiores de los moldes, en contacto con el árido, estarán maquinadas y tratadas de forma tal que su dureza no sea inferior a 578 HB (dureza Brinell).

5. Pistones

Tres pistones de acero, de la forma y dimensiones que se indican en la **Figura 6.3_8**.

6. Varillas para compactar

Dos varillas cilíndricas de metal, uno de cuyos extremos será de forma esférica del mismo diámetro que las varillas. Las varillas a utilizar con los moldes grande y mediano serán de 16 mm de diámetro y 450 mm de longitud. La varilla a utilizar con el molde pequeño será de 8 mm de diámetro y 225 mm de longitud.

7. Balanza y báscula

Una balanza de 20 kg de capacidad y precisión 2 g, y una báscula de 50 kg de capacidad y precisión 5 g.

8. Horno

El horno que se emplee estará provisto de regulador de temperatura y de circulación forzada de aire, y será capaz de mantener la temperatura a $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

9. Tamices, indicados en la **Tabla 6.3_17**.

Tabla 6.3_17. TAMICES REQUERIDOS PARA EL ENSAYO

Designación		Designación	
mm	Alterna	mm	Alterna
63	2 ½"	12,5	½"
50	2"	9,5	3/8"
37,5	1 ½"	8,0	5/16"
31,5	1 ¼"	6,3	¼"
25,0	1"	4,75	Nº4
19,0	¾"	2,36	Nº8
16,0	5/8"	1,70	Nº12

10. Material auxiliar

Cuarteador de áridos, bandejas, pinzas metálicas, cepillo, etc.

6.3.1.19.3. PREPARACION DE LA MUESTRA

11. Previo cuarteo del material recibido en el laboratorio, y de acuerdo con el tamaño de partículas que predomina en la muestra o la fracción de árido específica que se desea ensayar, se prepararán por tamizado, entre los tamices de abertura correspondiente indicados en la **Tabla 6.3_18**, las muestras para ensayo. El peso aproximado y el molde que se va a emplear son, así mismo, los indicados en dicha **Tabla 6.3_18**.

Tabla 6.3_18. MOLDES Y PESOS DE LA MUESTRA PARA EL ENSAYO

Fracción de ensayo (tamices, mm)	Molde de ensayo	Peso aproximado necesario (g)
50-63 37,5-31,5 31,5-25,0	Grande	25.000
16,0-19,0 2,5-16,0 9,5-12,5	Mediano	3.000
6,3-8,0	Pequeño	500

12. La muestra para ensayo consistirá de árido exento de polvo por lavado y desecación en horno hasta peso constante, a la temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$ (**Nota 1**), dejándola enfriar a temperatura ambiente antes de ensayarla.

Nota1: El tiempo de secado en horno a la temperatura indicada en el numeral 12 no excederá de 4 horas.

6.3.1.19.4. PROCEDIMIENTO

13. Escogido el molde de ensayo que se va a utilizar, de acuerdo con la fracción de árido (**Tabla 6.3_18**), en una de las balanzas especificadas en el numeral 7 se pesan el molde vacío y su placa de base, denominándose a este peso PT.

14. Con el árido, preparado como se indica en los numerales 11 y 12, se llena el correspondien-

te molde de ensayo, montado sobre su placa de base, añadiendo la muestra de árido en tres capas de aproximadamente el mismo espesor. Se compacta cada capa con 25 golpes de la varilla adecuada para cada molde (numeral 6), aplicados con su extremo redondeado y distribuyéndolos en toda la superficie de la capa.

15. La cantidad definitiva de muestra que se va a ensayar será tal, que cuando el pistón sea colocado sobre ella, según se indica en el numeral 16, aquél quede alojado en el interior del molde, penetrando tan sólo el espesor de su disco inferior, tal como se indica en la **Figura 6.3_8**.

16. Para acomodar la muestra introducida en el molde de ensayo, se coloca el pistón adecuado y se le comunica un ligero movimiento alternativo de rotación, por medio de la barra que atraviesa su cabeza. De esta forma, se logra la nivelación de la superficie de la muestra, permitiendo que el espesor total del disco inferior del pistón entre en el molde (**Nota 2**).

Nota 2: Si en el primer intento el espesor del disco inferior del pistón no queda justamente introducido en el molde de ensayo, se corrige parcialmente la cantidad de árido de la última capa, en su superficie, volviendo a verificar con el pistón los movimientos de rotación como se describe en el numeral 16. Esta operación se repite las veces necesarias, hasta conseguir la altura deseada del pistón en el interior del molde.

17. Luego del ajuste del pistón, éste se retira y se pesa el conjunto de molde, base y árido, en la balanza adecuada. Descontando de este peso así determinado el peso PT (numeral 13), se obtiene el peso inicial, PI, de la muestra de ensayo.

18. Se vuelve a colocar el pistón en el molde, de forma tal que descansa horizontalmente sobre la superficie del árido, asegurándose de que el pistón no quede acodado en las paredes interiores del cilindro.

19. El molde con la muestra y el pistón en su posición correcta se sitúan sobre el plato de la prensa.

20. La carga de ensayo que se aplica, según el tamaño del molde, será la que se indica en la Tabla 6.3_19.

Seguidamente, se pone en marcha la prensa, aplicando la carga de ensayo a una velocidad tan uniforme como sea posible, de manera que se llegue a la carga total en un tiempo máximo de 10 minutos. Esta carga es mantenida durante 2 minutos.

21. Una vez aplicada la carga de ensayo, se retira de la prensa el molde con su placa de base. A continuación, y sobre una bandeja, se quita el pistón y se vacía totalmente el molde, recogiendo con ayuda de un cepillo todo el material que quede adherido a sus paredes interiores. Luego se tamiza toda la muestra por los siguientes tamices de acuerdo con el molde empleado.

Tabla 6.3_19. TAMAÑOS DE MOLDES

Molde Grande	Tamiz de 4,75 mm	(Nº 4)
Molde mediano	Tamiz de 4,75 mm	(Nº 8)
Molde pequeño	Tamiz de 4,75 mm	(Nº 12)

22. Se pesa la fracción del material que pasa por el tamiz correspondiente, obteniéndose así el peso, P_f , del material fino que se ha producido durante el ensayo, teniendo el máximo cuidado para evitar pérdidas.

23. De cada muestra de árido deberán efectuarse, como mínimo, dos determinaciones.

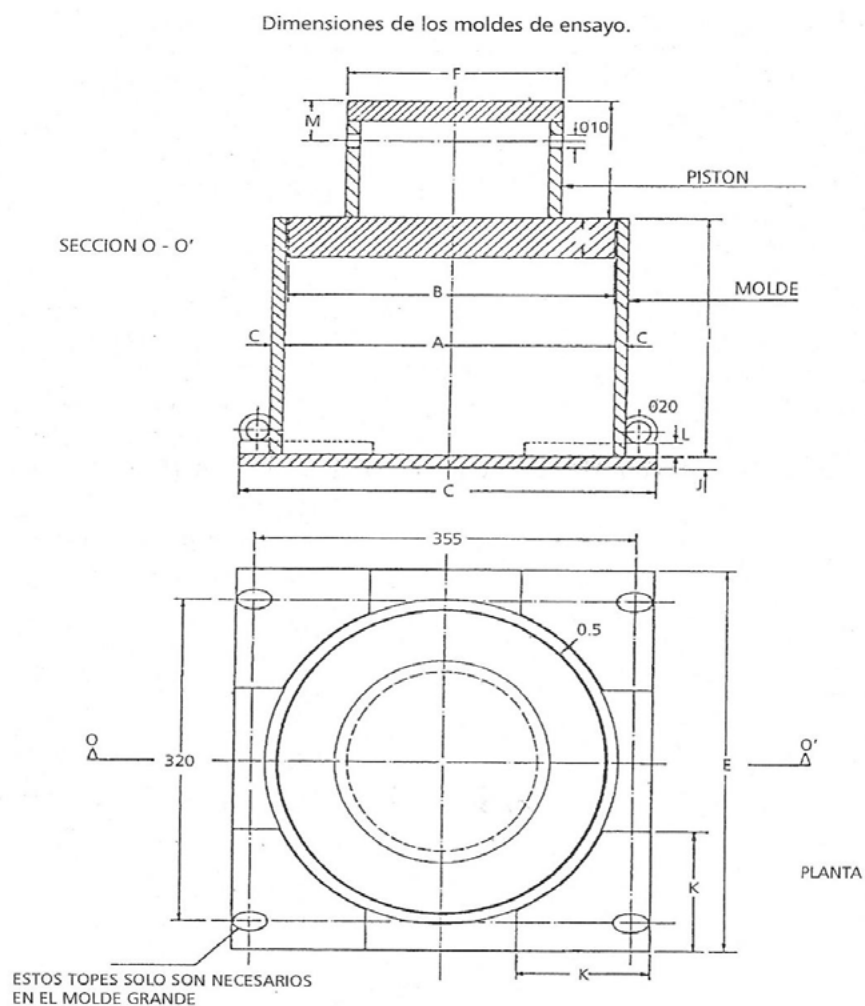
6.3.1.19.5. CÁLCULOS

El coeficiente de friabilidad se calcula, en tanto por ciento, mediante la relación entre el peso del material fino, PF, producido en el ensayo y el peso inicial de la muestra ensayada, PI:

$$\text{Coeficiente de friabilidad} = \frac{P_F}{P_I} \times 100$$

La media de los valores obtenidos en las dos determinaciones efectuadas se redondeará al número entero más próximo.

El resultado obtenido se expresará como coeficiente de friabilidad, indicándose la fracción de árido ensayado.



Sección del molde	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Molde grande y pistón	302.5	300	12	380	380	200	115	40	240	12	120	12	40
Molde mediano y pistón	153	150	10	200	200	100	55	24	122	12	60	12	30
Molde pequeño y pistón	76	75	8	110	110	50	30	20	70	10	30	10	15

Figura 6.3_8. DIMENSIONES DE LOS MOLDES DE ENSAYO

SECCION 6.3.1.20.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE VOLUMÉTRICO MEDIO DE LOS ÁRIDOS GRUESOS

6.3.1.20.1. OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar el coeficiente volumétrico medio de los áridos gruesos. Es aplicable a los áridos gruesos que se utilizan en la elaboración de hormigones y mezclas asfálticas.

El método establece dos procedimientos para determinar la suma de los volúmenes reales (V) de las partículas que constituyen un árido: un procedimiento volumétrico, aplicable a los casos corrientes, y un procedimiento gravimétrico, que se utiliza como contra ensayo en casos de controversia.

6.3.1.20.2. DEFINICIONES

B.1. Coeficiente volumétrico de una partícula

Tasa entre el volumen real (V) de una partícula y el volumen de una esfera de diámetro igual a la mayor dimensión (N) de esa partícula.

B.2. Coeficiente Volumétrico Medio (C).

Cociente entre la suma de los volúmenes reales (V) de las partículas que constituyen un árido y la suma de los volúmenes $\left(\sum \pi \cdot \frac{N_i^3}{6}\right)$ de las respectivas esferas circunscriptas.

6.3.1.20.3. EQUIPOS Y MATERIALES

B.1. Aparatos para determinar V.

- Método volumétrico. Una probeta graduada en cm³ con una capacidad mínima de 500 cm³ y un diámetro interior igual o mayor que el tamaño máximo absoluto del árido.
- Método gravimétrico. Los aparatos indicados en la **Sección 6.3.1.10**.

B.2. Aparato para Determinar Ni.

Un pie de metro.

6.3.1.20.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

B.1. Muestreo

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con las **Secciones 6.3.1.1 y 6.3.1.2**.

B.2. Acondicionamiento de la muestra de ensayo

- Previamente realice el ensayo de tamizado de acuerdo con la **Sección 6.3.1.4**, registrando el tamaño máximo absoluto (Da).

- b. Reduzca por cuarteo el material mayor que 4,75mm (Nº 4) o 2,36mm (Nº 8), según sea para hormigón o asfalto respectivamente, al tamaño de la muestra de ensayo que se indica en la **Tabla 6.3_ 20**.

Tabla 6.3_20. TAMAÑO MÍNIMO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Tamaño máximo absoluto del árido D_a (mm)	Tamaño mínimo de la muestra (g)
9,5	1.500
37,5	500
19	250

Nota 1: Para tamaños máximos intermedios, los tamaños de muestra pueden interpolarse. Por ejemplo, para $D_a = 50$ mm corresponden 750 g de muestra y para $D_a = 25,0$ mm corresponden 300 g.

6.3.1.20.5. PROCEDIMIENTO

- a. Determine la suma de los volúmenes reales (V) de las partículas mediante el procedimiento volumétrico siguiente:
- Acondicione la muestra al estado saturado superficialmente seco, de acuerdo con la **Sección 6.3.1.9**.
 - Coloque en la probeta graduada un volumen de agua que garantice que la muestra va a quedar completamente sumergida. Registre el volumen correspondiente como V_1 , aproximando a 1cm^3 .
 - Sumerja la muestra en el agua de la probeta. Agite el agua de modo de eliminar las burbujas de aire. Registre el volumen total del agua más la muestra sumergida como V_2 , aproximando a 1cm^3 .
 - Calcule V como el volumen de agua desplazada de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a 1cm^3 .

$$V(\text{cm}^3) = V_2 - V_1$$

Donde:

- V: Suma de los volúmenes reales de las partículas de la muestra (cm^3).
- V_1 : Volumen del agua en la probeta (cm^3).
- V_2 : Volumen del agua más la muestra sumergida en la probeta (cm^3).

- b. En casos de controversia efectúe contra ensayos, determinando la suma de los volúmenes reales de las partículas (V) mediante el procedimiento gravimétrico siguiente:
- Obtenga los valores de la pesada sumergida (A) y la pesada al aire ambiente en condición saturada superficialmente seca (B) del material en estudio, determinados según **Sección 6.3.1.9**.
 - Calcule V como el volumen del total de partículas de la muestra, de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a $1(\text{cm}^3)$.

$$V(\text{cm}^3) = (B - A) \times 100 \frac{\text{cm}^3}{\text{kg}}$$

Donde:

V: Suma de los volúmenes reales de las partículas de la muestra (cm^3).

A: Masa del árido sumergido (kg).

B: Masa del árido saturado suèfib0almenye seco (kg).

c. Determine los valores de N_i para el total de partículas de la muestra, mediante el procedimiento de medición directa siguiente:

- Mida con el pie de metro la mayor dimensión de cada partícula (N) y regístrela en centímetros, aproximando a $0,1 \text{ cm}^3$.

$$\sum N_i^3$$

- Calcule y registre el valor de la sumatoria de los N .

6.3.1.20.6. CÁLCULOS

Calcule el coeficiente volumétrico medio para cada ensayo de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a 0,01:

$$C = \frac{1,91 W}{\sum N_i^3}$$

Donde:

C: Coeficiente volumétrico medio.

1,91: Factor correspondiente al valor inverso de $\pi/6$.

V: Suma de los volúmenes reales de las partículas de la muestra (cm^3).

Calcule el coeficiente volumétrico medio de un árido como el promedio aritmético de dos ensayos sobre muestras gemelas.

6.3.1.20.7. PRECISIÓN

Acepte la determinación del coeficiente volumétrico medio cuando la diferencia entre los dos resultados obtenidos por un mismo operador, en ensayos sobre muestras gemelas, sea igual o inferior a 0,02.

Debe ensayar dos nuevas muestras gemelas cuando no se cumpla con lo especificado en el punto 12.

6.3.1.20.8. INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Procedencia de la muestra y lugar de extracción.
- c) Tamaño máximo absoluto del árido grueso Da.
- d) Procedimiento empleado en la determinación del volumen total de partículas (volumétrico o gravimétrico).
- e) El resultado del ensayo.
- f) Fecha de ensayo.
- g) Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al árido.
- h) Referencia a este método.

SECCION 6.3.1.21.

ÍNDICE DE APLANAMIENTO Y DE ALARGAMIENTO DE LOS ÁRIDOS PARA CARRETERAS (NTL 354)

6.3.1.21.1. OBJETO

Este método describe el procedimiento que debe seguirse, para la determinación de los índices de aplanamiento y de alargamiento, de los árido que se van a emplear en la construcción de carreteras.

De acuerdo con este método, se define como índice de aplanamiento de una fracción de árido, el porcentaje en peso de las partículas que la forman, cuya dimensión mínima (espesor) es inferior a $3/5$ de la dimensión media de la fracción.

Se define como índice de alargamiento de una fracción de árido, el porcentaje en peso de las partículas que la forman, cuya dimensión máxima (longitud) es superior a $9/5$ de la dimensión media de la fracción.

Este método no es aplicable a las fracciones del árido con tamaño inferior a 6,3 mm ($1/4''$).

6.3.1.21.2. EQUIPO

- Calibradores metálicos, uno de ranuras (calibrador de espesores) y otro de barras (calibrador de longitudes), cuyas dimensiones estarán de acuerdo con lo especificado en las **Figuras 6.3_9** y **6.3_10**.
- Tamices, indicados en la **Tabla 6.3_ 21**.
- Balanza, con una precisión de 0,1% el peso de la muestra de áridos que se ensaya.
- Equipo misceláneo: cuarteador de árido, bandejas, etc.

6.3.1.21.3. PREPARACION DE LA MUESTRA

1. Del material recibido en el laboratorio, se separa por cuarteo una muestra representativa, con cantidad suficiente para la realización del ensayo.
2. Una vez así separada la muestra para ensayo, se procede a determinar su análisis granulométrico, de acuerdo con la **Sección 6.3.1.4**, usando los tamices indicados en la **Tabla 6.3_ 21**. El porcentaje del peso retenido entre cada dos tamices sucesivos de la serie se denomina R_i , siendo i el tamiz de abertura menor.

Tabla 6.3_21. DIMENSIONES DE LOS CALIBRADORES PARA ESPESOR Y LONGITUD DE TAMICES

TAMICES				Dimensiones del calibrador (mm)	
PASA		RETIENE		Aplanamiento (Abertura de la ranura) ⁽¹⁾	Alargamiento (Separación de las barras) ⁽²⁾
mm	(pulg)	mm	(pulg)		
63	(2 ½")	50	(2")	33,9	-
50	(2")	37,5	(1 ½")	26,3	78,8
37,5	(1 ½")	25,0	(1")	18,8	56,3
25,0	(1")	19,0	(¾")	13,2	39,6
19	(¾")	12,5	(½")	9,5	28,4
12,5	(½")	9,5	(⅜")	6,6	19,8
9,5	(⅜")	6,3	(¼")	4,7	14,2

⁽¹⁾ Esta dimensión es igual a 0,6 veces el promedio de las aberturas de los tamices que definen la fracción

⁽²⁾ Esta dimensión es igual a 1,8 veces el promedio de las aberturas de los tamices que definen la fracción.

- c. A continuación, previo cuarteo, se separan por tamizado las distintas fracciones de la muestra, tal como se indica en la **Tabla 6.3_21**.

Las fracciones del árido cuyo porcentaje sea inferior al 5% de la muestra no se ensayan.

De cada fracción del árido cuyo porcentaje en la muestra esté comprendido entre el 5% y el 15%, se tomará un mínimo de 100 partículas, determinando su peso, P_i , en la balanza con precisión del 0,1%

De cada fracción del árido cuyo porcentaje en la muestra sea superior al 15%, se tomará un mínimo de 200 partículas, determinando su peso, P_i , en la balanza con precisión del 0,1%

6.3.1.21.4. PROCEDIMIENTO

- Para separar el material de forma aplanada de cada una de las fracciones de ensayo, preparadas como se indica en el numeral 1, se hace pasar cada partícula en el calibrador de aplanamiento por la ranura cuya abertura corresponda a la fracción que se ensaya, de acuerdo con la Tabla 6.3_21.
- La cantidad total de partículas de cada fracción que pasa por la ranura correspondiente, se pesa (P_{li}) con precisión del 0,1% del peso total de la muestra en ensayo.
- Para separar el material con forma alargada de cada una de las fracciones de ensayo, preparadas como se indica en el numeral 1, se hace pasar cada partícula en el calibrador de alargamiento por la separación entre barras correspondiente a la fracción que se ensaya, de acuerdo con la Tabla 6.3_21.
- La cantidad total de partículas de cada fracción retenida entre las dos barras correspondientes, se pesa (P_{ai}) con precisión del 0,1% de la masa total de la muestra de ensayo.

6.3.1.21.5. CÁLCULOS

El índice de aplanamiento de cada fracción de ensayo se calcula en tanto por ciento, mediante la relación entre el peso de las partículas, P_{li} , que pasa a través de la correspondiente ranura y el peso inicial, P_i , de dicha fracción:

$$\text{Índice de aplanamiento de la fracción } (I_{li}) = \frac{P_{li}}{P_i} \times 100$$

El índice de alargamiento de cada fracción de ensayo se calcula en tanto por ciento, mediante la relación entre el peso de las partículas, P_{ai} , retenidas entre las correspondientes barras y el peso inicial, P_i , de dicha fracción:

$$\text{Índice de alargamiento de la fracción } (I_{ai}) = \frac{P_{ai}}{P_i} \times 100$$

El valor obtenido para cada fracción ensayada, tanto del porcentaje de aplanamiento como del porcentaje de alargamiento, se redondeará al número entero más próximo.

6.3.1.21.6. INFORME

Los resultados obtenidos mediante este método pueden expresarse para cada fracción ensayada o para el total de la muestra.

La expresión de los índices de aplanamiento y alargamiento de cada fracción serán los obtenidos directamente en el ensayo, según se indica en los numerales 16 y 17, indicando expresamente la fracción ensayada.

Para expresar los índices de aplanamiento y alargamiento totales, se calcula el promedio ponderado de los respectivos índices de todas las fracciones ensayadas, empleando como factores de ponderación los porcentajes retenidos, R_i , e indicando la granulometría de la muestra.

Estos índices totales pueden obtenerse también aplicando las siguientes expresiones:

$$\text{Índice de aplanamiento} = \frac{\sum(I_{li} \times R_i)}{\sum R_i}$$

$$\text{Índice de alargamiento} = \frac{\sum(I_{ai} \times R_i)}{\sum R_i}$$

Siendo las i las fracciones ensayadas

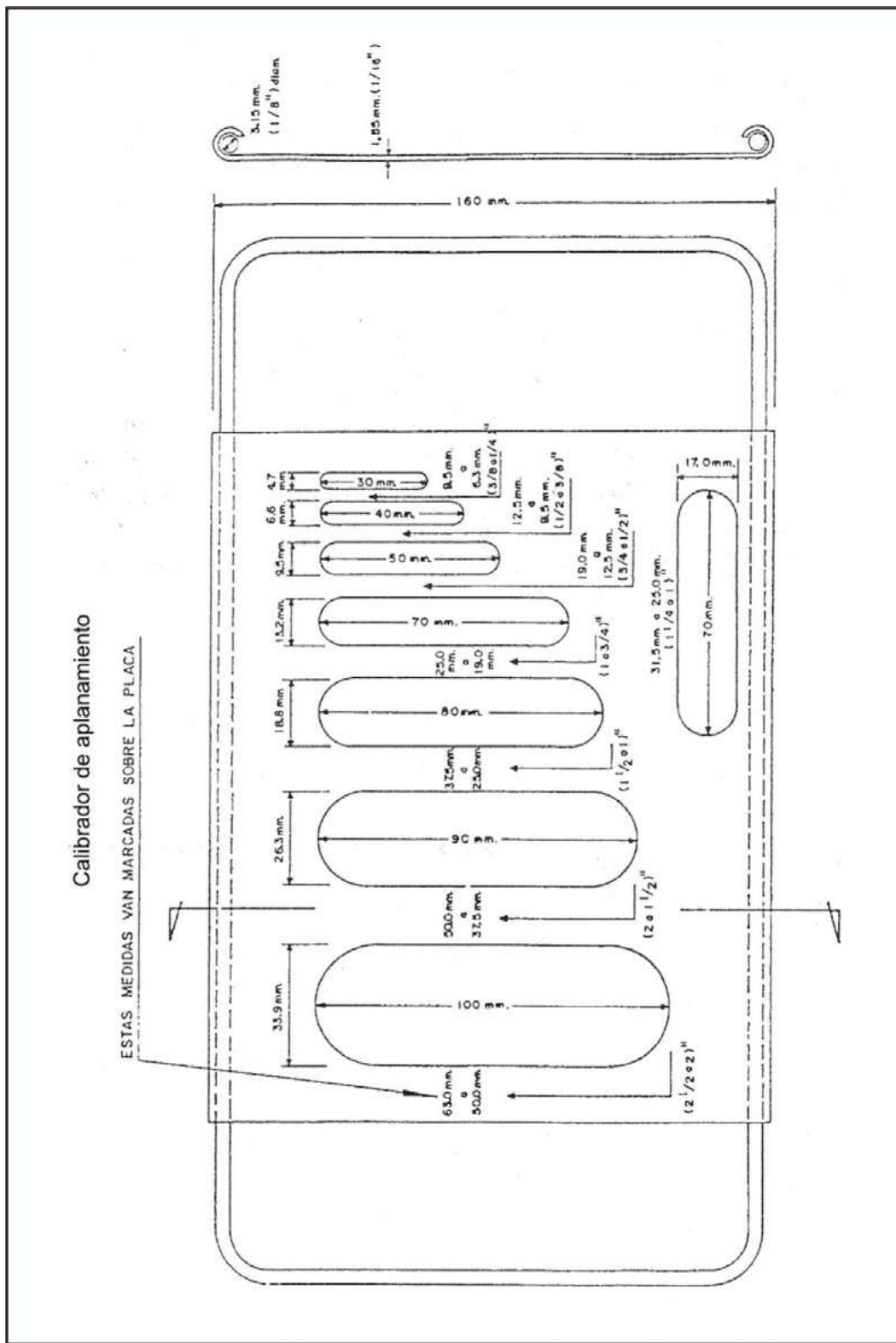


Figura 6.3_9. CALIBRADOR DE APLANAMIENTO

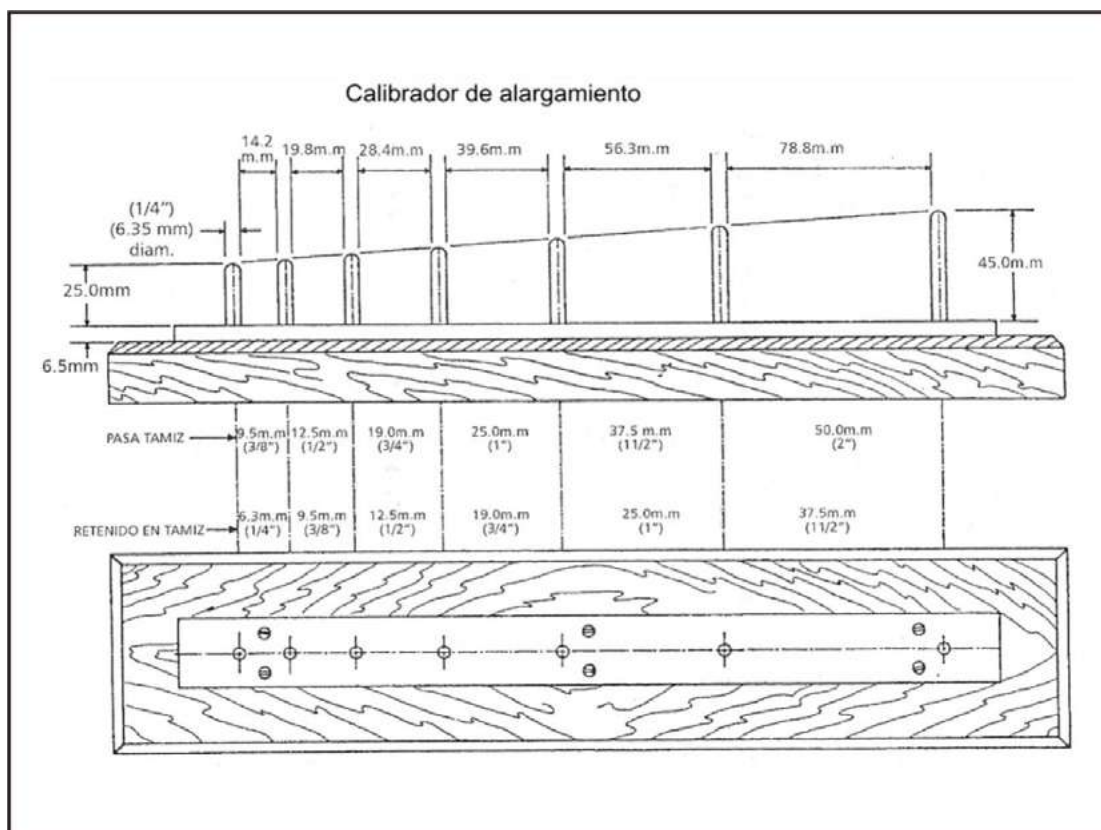


Figura 6.3_10. CALIBRADOR DE ALARGAMIENTO

SECCION 6.3.1.22.

ÍNDICE DE FORMA Y DE TEXTURA DE LAS PARTÍCULAS DE ÁRIDO (ASTM D 3398)

6.3.1.22.1. OBJETO

Este método describe el método para determinar el Índice de Partículas de árido, como una medida general de sus características de forma y textura.

6.3.1.22.2. USO Y SIGNIFICADO

El método proporciona un valor índice para las características relativas de forma y textura de las partículas del árido. Este valor es una medida cuantitativa de aquellas características de forma y de textura que pueden afectar el desempeño de mezclas para vías y pavimentos. El método ha sido usado exitosamente para indicar los efectos de estas características sobre la compactación y la resistencia de las mezclas de suelo- árido y de asfalto.

6.3.1.22.3. EQUIPOS

- Molde cilíndrico, con un diámetro interior de $152,40 \pm 0,13$ mm (6.0 ± 0.005 ") y una altura interior de $177,80 \pm 0,13$ mm (7.0 ± 0.005 "), como se muestra en la **Figura 6.3_11**. El molde debe ser metálico, con un espesor mínimo de pared de 6,1 mm (0.24") y debe tener suficiente rigidez para conservar su forma bajo trabajo pesado.

Nota 1: Se sugiere este procedimiento para ensayar árido con un tamaño máximo de 19,0 mm (3/4"). Cuando se ensayen áridos con partículas superiores a este tamaño, deberá usarse un molde más grande, con la misma relación entre el diámetro y la altura y aplicarse una energía de compactación por capa apisonada aumentada proporcionalmente al incremento del área transversal del molde.

Nota 2: El molde especificado en el método D del Método S0404, (CBR de laboratorio), tiene el mismo tamaño.

Nota 3: Para el ensayo de fracciones finas del árido, por debajo del tamiz de 4,75 mm (No.4) puede, en ciertas circunstancias, ser apropiado usar un molde más pequeño, con una relación similar de diámetro-altura y una energía de compactación por capa, disminuida proporcionalmente al área transversal del molde.

- Varilla apisonadora, de acero, recta, de sección circular con un diámetro de $15,88 \pm 0,25$ mm ($0.5/85 \pm 0.010$ ") y con una longitud de aproximadamente 610 mm (24"). Uno de sus extremos deberá ser semiesférico.
- Dispositivo de pesaje, de al menos 15 kg de capacidad, con precisión de 2 go menos.

6.3.1.22.4. CALIBRACIÓN DEL MOLDE

- Determínese el volumen del molde en ml, como se describe en los numerales siguientes, al menos dos veces para usar el promedio, en los cálculos del porcentaje de vacíos del numeral 7.

- Llénese el molde con agua a la temperatura ambiente y cúbrase con una placa de vidrio, de tal manera que se eliminen las burbujas y el agua de exceso.
- Determínese el peso neto del agua en el molde, con una precisión de 4 g o menos.
- Mídase la temperatura del agua y determínese el volumen del molde multiplicando el peso neto del agua por el volumen específico de agua, dado en la **Tabla 6.3_ 22** para la temperatura medida.

6.3.1.22.5. TOMA DE MUESTRAS

Tómese la muestra de ensayo del árido de acuerdo con la **Sección 6.3.1.1** “Muestreo de materiales”; y redúzcase hasta un tamaño apropiado según la **Sección 6.3.1.2**, “Reducción del tamaño de las muestras transportadas”.

6.3.1.22.6. ESPECÍMENES DE ENSAYO

1. Obténgase una muestra, de tamaño tal que proporcione por lo menos 6 kg (13 lb) de cada uno de los tamaños de árido, como se describe en el numeral 2, que estén presentes dentro de la gradación del árido en un porcentaje superior al 10%. No se ensayarán aquellos grupos que estén presentes en un porcentaje inferior, a menos que sea expresamente ordenado.

Nota 4: Para los tamaños pequeños del árido (fino), si se usa un molde más pequeño como se mencionó en la **Nota 3**, se necesita menos material fino y el tamaño de la muestra puede ser ajustado de conformidad.

2. Lávese la muestra de árido mediante decantación del agua de lavado a través del tamiz de 75 µm (No.200) o a través de un tamiz que sea por lo menos un tamaño inferior de aquél que sería el límite inferior de las fracciones que efectivamente van a ser ensayadas. Continúese el proceso de lavado por decantación hasta que el agua de lavado salga limpia. Devuélvase entonces, también mediante lavado, el árido retenido en el tamiz, al lugar donde se encuentra el árido; séquese la muestra, hasta peso constante, a una temperatura de 110 ± 5°C (230 ± 9°F), y tamícese el material, de acuerdo a la **Sección 6.3.1.4**, para lograr las siguientes fracciones.

Pasa tamiz		Retenida en tamiz	
19,0 mm	(3/4")	12,5 mm	(1/2")
12,5 mm	(1/2")	9,5 mm	(3/8")
9,5 mm	(3/8")	4,75 mm	(Nº4)
4,75 mm	(Nº4)	2,36 mm	(Nº8)
2,36 mm	(Nº8)	1,18 mm	(Nº16)
1,18 mm	(Nº16)	600 µm	(Nº30)
600 µm	(Nº30)	300 µm	(Nº50)
300 µm	(Nº50)	150 µm	(Nº100)
150 µm	(Nº100)	75 µm	(Nº200)

No es necesario incluir en el análisis granulométrico, tamices que estén por debajo del tamaño más pequeño que se encuentre en una cantidad superior al 10%.

3. Después de que la cantidad de material requerida haya sido tamizada, para cada fracción que se va a ensayar, determínese el peso específico aparente seco, de acuerdo con las **Secciones 6.3.1.9 y 6.3.1.10** (peso específico y absorción de los árido finos y gruesos respecti-

vamente), la que sea aplicable, excepto que cuando se llegue a la condición de superficie saturada, y superficialmente seca en los árido finos, deberán usarse toallas de papel ordinario para secar las partículas hasta que no haya evidencia de humedad sobre las toallas.

Nota 5: El procedimiento del molde estándar para la determinación de la condición saturada, superficialmente seca del árido fino en la **Sección 6.3.1.10**, no funciona bien con estas fracciones uniformes de árido. Por ejemplo, áridos redondeados con índices de partículas pequeños, no retendrán la forma del molde cónico a cualquier contenido de agua.

6.3.1.22.7. PORCENTAJE DE VACIOS

4. Usando muestras secadas al horno para cada fracción, determínese el porcentaje de vacíos en cada uno de los dos niveles de compactación, logrados mediante los procedimientos descritos en este numeral. Háganse primero dos ensayos sobre la muestra, para cada uno de los tamaños, aplicando 10 golpes de varilla por capa. Luego, usando las mismas muestras para cada tamaño, llénese el molde dos veces, usando 50 golpes de varilla por capa como esfuerzo de compactación.
5. Colóquese el molde cilíndrico sobre una base sólida y uniforme. Llénese el molde en tres capas, viértase el árido desde la menor altura posible, hasta que el molde se encuentre lleno a un tercio de su capacidad. Nivélase la superficie con los dedos y compáctese la capa usando 10 golpes de varilla apisonadora, distribuidos uniformemente sobre la superficie. Aplíquese cada golpe sosteniendo la varilla verticalmente con su extremo redondeado aproximadamente a 50 mm (2") por encima de la superficie del árido y soltándola de manera que caiga libremente.

Colóquese una segunda capa en el molde usando el mismo procedimiento, llenándolo hasta dos tercios de su capacidad. Como antes, nivélase la superficie y aplíquense 10 golpes de varilla. Llénese el espacio remanente con una tercera capa y una vez más, nivélase la superficie y aplíquese el mismo esfuerzo de compactación, (10 golpes de varilla).

Después de que la última capa se ha compactado, añádanse piezas individuales de árido para nivelar la superficie del árido con el plano del borde del molde, sin salientes por encima de él. Determínese el peso neto del árido en el molde con una precisión de 1 g.

Nota 6: La altura de caída del árido puede regularse visualmente con ayuda de una regla, una marca, o con un dispositivo adecuado.

6. Repítase el llenado del molde usando la misma muestra y el mismo nivel de compactación. Hágase una segunda determinación del peso neto del árido en el molde como se describió antes. Úsese el promedio de las dos determinaciones para calcular el porcentaje de vacíos, para cada fracción, con 10 golpes de compactación.

Nota 7: Los pesos obtenidos en las dos determinaciones deberán coincidir, con una aproximación del 5%.

Para el nivel de compactación superior, deberá procederse idénticamente como se describió para el nivel de 10 golpes, pero usando 50 golpes de la varilla apisonadora, para la compactación de cada capa. Igualmente, el porcentaje de vacíos para cada capa, con 50 golpes de compactación, se calculará a partir del promedio de dos determinaciones del peso neto del árido.

7. Calcúlese el porcentaje de vacíos en cada fracción de tamaños del árido, con 10 y 50 golpes por capa, respectivamente, mediante las siguientes relaciones:

$$V_{10} = \left(1 - \frac{W_{10}}{SV}\right) \times 100$$

$$V_{50} = \left(1 - \frac{W_{50}}{SV}\right) \times 100$$

Donde:

- V_{10} : Vacíos en el árido compactado con 10 golpes por capa (%).
- V_{50} : Vacíos en el árido compactado con 50 golpes por capa (%).
- W_{10} : Peso neto promedio del árido en el molde compactado con 10 golpes por capa (g).
- W_{50} : Peso neto promedio del árido en el molde compactado con 50 golpes por capa (g).
- S: Peso específico aparente seco, de a fracción del tamaño de árido.
- V: Volumen del molde (ml o cm³).

6.3.1.22.8. ÍNDICE DE PARTICULAS

Determinese el Índice de Partículas (I_a), para cada fracción ensayada como sigue:

$$I_a = 1,25V_{10} - 0,25V_{50} - 32,0$$

Calcúlese el índice ponderado de las partículas de árido que contenga varios tamaños, ponderando cada índice encontrado para una fracción, con respecto a su porcentaje dentro de la gradación original, o preferiblemente, respecto a la gradación promedio del material propuesto para ser usado en el trabajo.

La **Tabla 6.3_23** es un ejemplo que ilustra una forma de calcular el índice y reportar los datos.

Para aquellos tamaños que no fueron incluidos dentro del ensayo, por estar presentes en cantidades inferiores al 10%, calcúlese su índice promediando el índice de la fracción inmediatamente superior con el índice de la fracción inmediatamente inferior, o adóptese uno de estos dos, si el otro no está disponible.

Tabla 6.3_22. VOLUMEN ESPECÍFICO DEL AGUA A DIFERENTES TEMPERATURAS

Temperatura °C (°F)	Volumen específico ml/g
12 (54)	1,0005
14 (57)	1,0007
16 (61)	1,0010
18 (64)	1,0014
20 (64)	1,0018
22 (72)	1,0022
24 (75)	1,0027
26 (79)	1,0032
28 (82)	1,0038

30 (86)	1,0044
32 (90)	12,0050

Tabla 6.3_23. EJEMPLO DE CÁLCULO DE UN ÍNDICE PONDERADO DE LAS PARTICULAS DE UN ÁRIDO

Fracción		Gradación del árido % (1)	I _a (2)	Ponderación (1)x(2)/100
Pasa	Retenida en			
19,00 mm (3/4")	- 12,50 mm (1/2")	3	17,2 _A	0,5
12,5 mm (1/2")	- 9,50 mm (3/8")	42	17,2 _B	7,2
9,50 mm (3/8")	- 4,75 mm (Nº 4)	36	15,8 _B	5,7
4,75 mm (Nº 4)	- 2,36 mm (Nº 8)	7	15,2 _C	1,1
2,36 mm (Nº 8)	- 1,18 mm (Nº16)	10	14,6 _B	1,5
1,18 mm (Nº16)	- 600 µm (Nº 30)	2	14,6 _A	0,3
				16,3

^A Úsele el índice de partículas de la fracción próxima.

^B Úsele el índice de partículas efectivamente calculado.

^C Úsele el promedio de los índices de partículas de las fracciones superior e inferior (Nº 8 a Nº 16 y 3/8")

a Nº4)

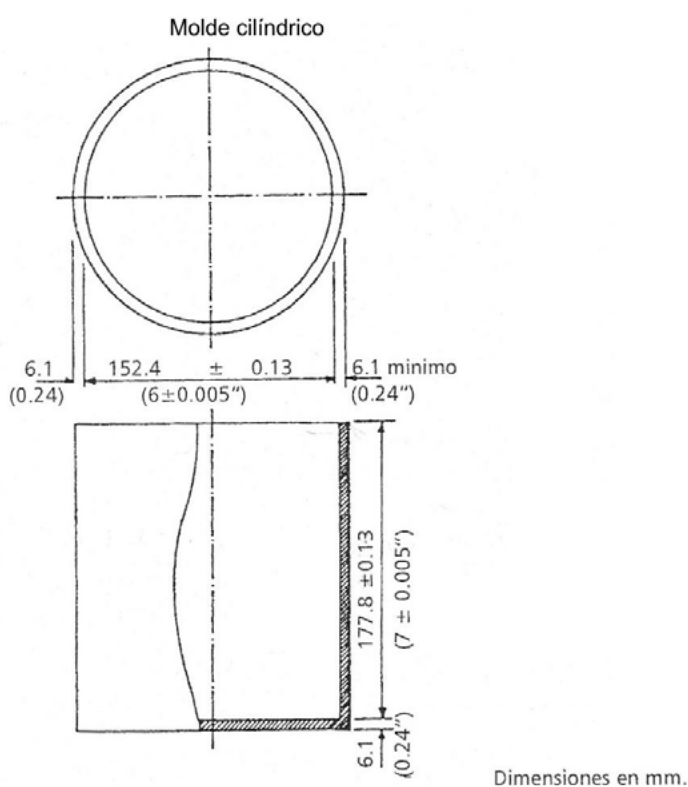


Figura 6.3_11. MOLDE CILÍNDRICO

SECCION 6.3.1.23.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE CLORUROS Y SULFATOS (ASTM D 1411)

6.3.1.23.1. OBJETO

Este método establece los procedimientos analíticos para determinar en los áridos el contenido de cloruros y sulfatos solubles en agua

Se considera que los métodos analíticos que se describen tienen suficiente exactitud para los fines de aceptación y rechazo.

6.3.1.23.2. EQUIPOS Y MATERIALES

B.1. Balanzas

- a) Balanza corriente, con capacidad suficiente para pesar la muestra más el recipiente de pesaje y con una precisión de 0,1 g.
- b) Balanza analítica, con capacidad de 100 a 200 g y con una precisión de 0,01 g.

B.2. Horno.

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

B.3. Recipientes

- a) Para secado; adecuados para secar y pesar la muestra.
- b) Para extracción, de vidrio o metálicos. Los metálicos deben ser estancos e inatacables por las soluciones empleadas. Deben tener capacidad suficiente para la extracción.

B.4. Buretas

- a) Bureta calibrada, con lecturas de 0,1 ml.
- b) Microbureta, con lecturas de 0,02 ml.

B.5. Material de laboratorio

Matraces aforados, pipetas, vasos de precipitado y todo el equipo misceláneo requerido en un laboratorio químico.

B.6. Reactivos

- a) Reactivos generales

Son los reactivos para análisis concentrados de la densidad que se indica y con los cuales se deben preparar las soluciones requeridas:

- Acido clorhídrico ρ : 1,18 g/ml
- Acido nítrico ρ : 1,42 g/ml

- b) Reactivos especiales

Son los que se indican en cada determinación.

6.3.1.23.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

B.1.Extracción de muestras

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con las **Secciones 6.3.1.2 y 6.3.1.1.**

B.2.Tamaño de la muestra de ensayo

El tamaño de la muestra de ensayo debe ser tal, que una vez acondicionada, pueda obtenerse la cantidad mínima que se indica en la **Tabla 6.3_ 24.**

Tabla 6.3_24. TAMAÑO MÍNIMO DE LA MUESTRAY AFORO

Árido (mm)	Tamaño mínimo de la muestra (g)	Aforo (ml)
Fino < 4,75	100	1.000
Grueso < 19	500	1.000
Grueso 19 a 37,5	750	2.000
Grueso > 37,5	1.000	2.000

Nota1: Si el laboratorio no cuenta con microbureta la muestra mínima de fino debe aumentarse a 250 g.

Acondicionamiento de la muestra de ensayo

B.3.Tratamiento previo.

- Seque la muestra a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ hasta masa constante y pese con aproximación a 0,1 g, registrando la pesada como M. No se debe ajustar la pesada a una cantidad predeterminada para evitar la selección de partículas.
- Coloque la muestra en un recipiente de extracción.
- Agregue agua destilada hirviendo, en volumen suficiente para cubrir unos 3 cm sobre el nivel de la muestra.
- Agite aproximadamente 1 min. Repita la agitación a intervalos regulares hasta completar cuatro agitaciones en un período de 10 min.
- Decante durante 10 min y traspase el líquido de extracción que sobrenada a otro recipiente o vaso.
- Repita toda la operación anterior hasta que el líquido de extracción no acuse presencia de cloruros y/o sulfatos, completando un volumen de 800 ml en los áridos menores que 19 mm y un volumen de 1.800 ml en áridos mayores que 19 mm. En caso necesario concentre por evaporación.
- Filtre el líquido de extracción en filtro de porosidad media al vacío. Lave con agua caliente, y refiltre si es necesario.

Nota 2: Para evitar la coloración en el filtrado se recomienda emplear carbón activo p.a. y para acelerar el filtrado y evitar la turbidez, se recomienda emplear pulpa de celulosa o tierra de infusorios, grado analítico. También pueden emplearse otros materiales similares que no interfieran

con los procedimientos analíticos.

- h) Enfríe el filtrado a 20°C y enrrese en matraz aforado con un volumen de 1.000 ó 2.000 ml según corresponda (V).

B.4. Muestras para análisis.

Emplee una alícuota del líquido del matraz, según se indica en cada determinación.

6.3.1.23.4. DETERMINACIONES

B.1. Determinación de cloruros solubles en agua.

a) Reactivos especiales

- Indicador de cromato de potasio al 5%: disuelva 5 g de K_2CrO_4 p.a. en un poco de agua destilada. Agregue una solución de nitrato de plata 0,1 N hasta producir un ligero precipitado rojo. Deje reposar por lo menos una noche, filtre y diluya a 100 ml con agua destilada.

Reactivo A. Solución 0,1 N de cloruro de sodio. Pese 5,8443 g de cloruro de sodio seco, $NaCl$ p.a. cristalizado, patrón primario y secado a $110 \pm 5^\circ C$ hasta masa constante. Disuelva con agua destilada en matraz aforado de 1.000 ml. El equivalente de 1 ml de este reactivo es igual a $3,545 \times 10^{-6}$ kg de Cl.

Reactivo B. Solución normalizada de nitrato de plata. Pese 17,0 g de nitrato de plata, $AgNO_3$ p.a. y disuelva con agua destilada en matraz aforado de 1.000 ml. Para conservar la solución sin alteración de la luz, traspásela a un frasco oscuro con tapón de vidrio.

- Normalice el reactivo B como sigue: mida 20 ml del reactivo A y colóquelo en una cápsula de porcelana blanca o en un vaso sobre fondo blanco. Diluya a 100 ml con agua destilada. Agregue 1 ml del indicador de cromato de potasio al 5%. Titule con el reactivo B mediante una bureta calibrada, agitando constantemente hasta que la solución cambie del amarillo a un color rojo ligero, pero persistente. Efectúe esta determinación en triplicado. Registre los b ml del reactivo B consumidos. Calcule el factor de normalidad del reactivo B:

$$f_b = (ml \text{ reactivo A})/b$$

b) Determinación

- Tome una alícuota con un volumen de 100 ml (A) del líquido filtrado en 9.

Nota 3: Si el contenido de cloruros es muy alto, tome una alícuota con un volumen menor para facilitar el punto final. Para el cálculo tome en cuenta este menor volumen.

- Colóquela en una cápsula de porcelana blanca o en un vaso sobre fondo blanco. Verifique que el valor del pH esté entre 6 y 8.

Nota 4: Por ejemplo, si el pH es menor que 6 se puede neutralizar mediante una solución de $NaOH$ 0,1 N en presencia del indicador de fenoltaleína hasta una leve coloración rosada, la que se hará desaparecer con una gota de HNO_3 0,1 N. Si el pH es mayor que 8, emplee una solución de HNO_3 0,1 N en presencia del mismo indicador, hasta que la coloración rosada desaparezca. También puede emplearse otro método similar que

no interfiera con el procedimiento de titulación.

- Agregue 1 ml del indicador de cromato de potasio al 5%.
 - Titule con el reactivo B mediante una bureta calibrada (o microbureta cuando sea necesario), agitando constantemente hasta que la solución cambie del amarillo a un color rojo ligero, pero persistente.
 - Registre los b_a ml del reactivo B consumidos.
 - Efectúe un ensayo en blanco con los mismos reactivos, registrando como b_b los ml consumidos.
- c) Expresión de resultados. Calcule el contenido de cloruros en el árido, expresados como kg de anión cloruro, Cl^- , por kg de árido, con aproximación a 1×10^{-6} kg como sigue:

$$\text{cloruros} \left(\frac{KgCl^-}{kg \text{ de árido}} \right) = \frac{(b_a - b_b) \cdot f_b \cdot 3,545 \times 10^{-6} \cdot V}{M \cdot A}$$

Donde:

- b_a : Consumo del reactivo B en la muestra (ml).
- b_b : Consumo del reactivo en el blanco (ml).
- f_b : Factor de normalidad del reactivo B.
- V: Volumen aforado de la solución (ml).
- M: Masa del árido seco de la muestra de ensaye (Kg).
- A: Volumen de la alícuota (ml).

B.2.Determinación de los sulfatos solubles en agua

- a) Reactivo especial. Reactivo C; solución al 10% de cloruro de bario. Pese 100 g de la sal $B_aCl_2 \cdot 2H_2O$ p.a. y disuelva en 1.000 ml de agua destilada.
- b) Determinación
 - Mida una alícuota de 100 ml del matraz aforado.

Nota 5: En presencia de Fe o Al, éstos deben eliminarse mediante precipitación con hidróxido de amonio.

- Diluya con agua destilada hasta 200 a 250 ml. Agregue ácido clorhídrico hasta obtener una concentración del 1% en volumen en la solución final.
- Caliente hasta ebullición y agregue, gota a gota, 10 ml del reactivo C, continuando la ebullición por lo menos 5 min hasta que el precipitado esté bien formado.
- Decante durante 3 h como mínimo, a temperatura cercana a la ebullición, evitando que la solución se concentre a menos de 200 ml.

Nota 6: Se recomienda continuar la decantación por un período de 12 h.

- Filtre a través de un papel de porosidad fina y bajo contenido de ceniza. Lave el precipitado con agua caliente hasta eliminación total del cloruro, verificado mediante nitrato de plata.
 - Tare un crisol de platino o porcelana, registrando su masa como "m1". Coloque el papel filtro con el precipitado en el crisol. Incinere lentamente hasta que el papel se consuma sin arder. Calcine a $900 \pm 25^\circ\text{C}$, enfríe en desecador a temperatura ambiente y pese. Repita la calcinación hasta tener una masa constante m2, correspondiente al crisol y precipitado calcinado. Registre la masa del precipitado ($m1 - m2$) como "ma".
 - Realice, paralelamente, una determinación en blanco siguiendo el mismo procedimiento con iguales cantidades de reactivos. Registre la masa del análisis en blanco como "mb".
- c) Expresión de resultados. Calcule el contenido de sulfatos solubles en el árido como kg de anión:

SO_4^{2-} , por kg de arido, con aproximación a 1×10^{-6} kg como sigue:

$$\text{sulfatos} \left(\text{kg} \frac{\text{SO}_4^{2-}}{\text{kg de proteo}} \right) = \frac{(m_a - m_b) \cdot 0,004116 \cdot V}{M}$$

Donde:

- m_a : Masa del precipitado correspondiente a la muestra (g).
 m_b : Masa del precipitado correspondiente a la muestra en blanco (g).
 0,004116: Relación molecular de BaSO_4 a dividido por 100.
 V: Volumen aforado de la solución de extracción (ml).
 M: Masa del árido seco de la muestra de ensayo (g).

6.3.1.23.5. INFORME.

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Procedencia de la muestra.
- c) Resultado del ensayo. Valores inferiores a 10×10^{-6} kg de Cl⁻ o pueden considerarse como 4 indicios.
- d) Fecha de ensayo.
- e) Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al árido; y
- f) Referencia a este método.

SECCION 6.3.1.24.

DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE LOS COMPUESTOS DE AZUFRE EN LOS ÁRIDOS (UNE 83211)

6.3.1.24.1. OBJETO

Este método tiene por objeto indicar un procedimiento para la determinación cuantitativa, en los agregados para hormigón, de los compuestos de azufre que se encuentran en las formas tanto de sulfatos como sulfuros, atacables y no atacables por ácido clorhídrico.

La influencia en los resultados, debida a la cantidad eventual y muy pequeña de sulfitos, se considera despreciable.

6.3.1.24.2. FUNDAMENTOS DEL MÉTODO

El método se basa en:

- Determinación de sulfatos y sulfuros totales (atacables y no atacables por ácido clorhídrico) extraíbles por disgregación alcalina oxidante.
- Determinación de sulfatos extraíbles sólo por disgregación alcalina no oxidante.
- Determinación de sulfuros totales.

6.3.1.24.3. PREPARACION DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO

La toma de muestra bruta de los áridos debe hacerse de acuerdo con la **Sección 6.3.1.1.**

De no venir ya clasificada por fracciones, la muestra de laboratorio se separa, mediante el empleo del tamiz de 4,75 mm (No.4), en:

- Árido grueso, y
- Árido fino.

Teniendo en cuenta que es necesario obtener, según el tamaño máximo del árido, las cantidades mínimas indicadas en la **Tabla 6.3_25.**

Tabla 6.3_25.

Si el tamaño máximo es de:	Separar una muestra	
	Minima de:	Recomendada de:
75 mm (3")	40 kg	64 kg
37,5 mm (1 ½")	20 kg	32 kg
19 mm (¾")	10 kg	16 kg
9,5 mm (3/8")	5 kg	8 kg
4,75 mm (Nº4)	2 kg	4 kg

Los áridos finos y gruesos se deben analizar independientemente para evitar cualquier pérdida de sulfuros, ya que por segregación éstos tienden a acumularse en los finos.

1. Aparatos necesarios

- a) Tamices: 75-37,5-19-9,5-4,75 y 1,18mm y 300 y 75 m (3"-1 1/2"-3/4"-3/8"-No.4, No.16, No.50 y No.200)
- b) Una báscula de 100 kg de capacidad mínima, con precisión de 50 g.
- c) Una trituradora.
- d) Un mortero de ágata o molino para finos.
- e) Una estufa.
- f) Una balanza con capacidad de 20 kg y precisión de 1 g.
- g) Un divisor de muestra.

B.1.Árido grueso

Del árido grueso, obtenido antes, se separa mediante cuarteo y en función del tamaño máximo del árido la cantidad de muestra se indica en la Tabla 6.3_ 25.

Esta muestra se seca durante 24 h a 60°C (140° F), en estufa con aireación, y a continuación se tritura hasta que toda ella pase por el tamiz de 4,75mm (Nº4).

Se homogeniza y cuarteo para obtener una muestra de 2 kg, evitando cualquier pérdida de finos.

El total de esta muestra se tritura hasta que toda ella pase por el tamiz de 1,18 mm (No.16), se homogeniza y, por cuarteo, se obtiene una muestra de 250 g que se muele íntegramente hasta que pase por el tamiz de 300 m (Nº50). Se homogeniza y cuarteo para obtener una nueva muestra de unos 60 g.

A continuación, se muele hasta que la totalidad de la muestra pase por el tamiz de 75 m (Nº200) y se homogeniza para obtener la muestra final de 60 g, aproximadamente.

B.2.Árido fino

Del árido fino, obtenido según se indicó antes, se separa mediante cuarteo y en función del tamaño máximo del árido, la cantidad de muestra indicada en la Tabla 6.3_ 25.

Esta muestra se seca durante 24h, a 60°C (140° F), en estufa con aireación, se homogeniza y de ella se toma, utilizando el divisor de muestras, una cantidad de 2 kg. Se muele y se tamiza hasta que pase íntegramente por el tamiz 300 m (Nº50). Se homogeniza y divide para reducirla a unos 60 g. Esta cantidad se muele hasta que pase en su totalidad por el tamiz de 75 m (Nº 200) y se homogeniza para obtener la muestra final de 60 g aproximadamente.

6.3.1.24.4. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LOS COMPUESTOS DE AZUFRE TOTALES

B.1.Fundamento del método

La muestra se disgrega por fusión alcalina oxidante. Se disuelve en medio oxidante y se pone en medio ácido clorhídrico. Se separa la sílice por evaporación a sequedad, se extraen en frío los iones solubles en ácido del residuo seco y se determinan en el filtrado los sulfatos por gra-

vimetría. La separación de la sílice debe ser la máxima posible para evitar interferencia por coprecipitación durante la digestión.

B.2. Aparatos necesarios

- a) Una balanza analítica con precisión de 0,1 mg.
- b) Estufa para desecación.
- c) Mufla que alcance 1000°C.
- d) Desecador con llave de cierre hermético. Agente deshidratante: ácido sulfúrico (d= 1,84).
- e) Baño de agua hirviente.
- f) Mecheros tipo Bunsen.
- g) Cápsula de porcelana de 130 mm de diámetro y 50 mm de altura.
- h) Vasos de precipitados, forma alta, de 500, 250 y 50 ml.
- i) Crisol de hierro de las siguientes medidas aproximadas: 25 mm de diámetro de base y 45 mm de altura, provisto de tapa del mismo material.
- j) Crisol de platino provisto de tapa del mismo material. Capacidad 10 ml (25x25 mm).
- k) Embudos de filtración.
- l) Triángulos de tierra refractaria.
- m) Epirradiador de 375 W, como mínimo.
- n) Agitador magnético provisto de calefacción, y un índicemagnético recubierto de politetra fluoretileno.
- o) Termómetro de mercurio de hasta 250°C, con precisión de 1°C.
- p) Pinzas de acero inoxidable.
- q) Papel de filtro de porosidad fina y media.
- r) Papel indicador de pH.
- s) Una varilla de acero inoxidable.

B.3. Reactivos

- a) Hidróxido sódico de lentejas R.A. NaOH
- b) Peróxido sódico R.A. Na₂O₂
- c) Agua destilada
- d) Ácido clorhídrico concentrado (d= 1,19) HCl
- e) Ácido clorhídrico diluido (1:1) HCl
- f) Ácido clorhídrico diluido (1:3) HCl

- g) Ácido nítrico diluido (1:1) HN O3
- h) Ácido sulfúrico concentrado exento de SO3 (d= 1,84)
- i) Ácido sulfúrico diluido (1:1) H2SO4
- j) Anhídrido acético R.A.
- k) Disolución de cloruro bórico al 10%
- l) Disolución de nitrato de plata al 1,7% Ag NO3
- m) Disolución acuosa saturada de bromo
- n) Disolución al 5% de clorhidrato de hidroxilamina

B.4.Procedimiento

En un crisol de hierro, situado sobre un triángulo de tierra refractaria, se introducen 4 g de hidróxido sódico en lenteja. Se funden, lentamente y evitando la producción de espuma, sobre un mechero Bunsen con poca llama hasta que la fusión sea lenta. Se añaden, poco a poco, otros 4 g más en las mismas condiciones.

Seguidamente se añade 1 g de peróxido de sodio y se deja enfriar este líquido disgregante hasta solidificación. Se añaden $4 \pm 0,05$ g con una precisión de $+ 0,0001$ g de muestra, previamente desecada a los $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 10^\circ\text{F}$) hasta peso constante. Se cubre el crisol con su tapa y se funde nuevamente su contenido a una temperatura que no sobrepase la del rojo sombra 400°C (752°F).

Cuando el disgregante esté totalmente fundido, y con el crisol destapado se incorpora la muestra lentamente en el seno de la masa fundida con la ayuda de una varilla de acero inoxidable, tratando de evitar tanto que se produzca cualquier proyección, como que queden restos de muestras sin atacar.

Cuando esto se ha conseguido, se cubre nuevamente y se continúa la disgregación durante unos 30 min.

Se deja enfriar el crisol y, con las pinzas, se introduce inclinado dentro de una cápsula de porcelana que contenga unos 80 ml de agua destilada, a 90°C (94°F). Luego se introduce en ella la tapa de crisol y la varilla auxiliar. Se mantiene la temperatura indicada hasta la disolución completa del producto disgregado.

Con las pinzas se toma primero la tapa, luego el crisol y la varilla, se lavan sobre la cápsula y se retiran. Se enfría la cápsula a una temperatura inferior a los 40°C (104°F), se añaden 5 ml de disolución acuosa saturada de bromo y, poco a poco y con precaución, ácido clorhídrico (1:1) hasta acidez fuerte, que se comprueba con papel indicador. Después se añaden 20 ml más de ácido clorhídrico concentrado.

Para insolubilizar la sílice, el líquido de la cápsula se evapora bajo el epirradiador. El residuo seco se humedece con unas gotas de ácido clorhídrico concentrado, se deshacen los grumos mediante una varilla de vidrio aplanada y de nuevo se lleva a sequedad bajo el epirradiador.

Luego se deja la cápsula unos 30 min. bajo el epirradiador, de modo que la temperatura del residuo seco esté a $170^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$. Con un termómetro, cuyo bulbo esté en contacto con el fondo de la cápsula seca, se comprueba esta temperatura. Después se añaden 10 ml de anhídrido acético y se evapora nuevamente a sequedad a la misma temperatura. Se deja enfriar hasta temperatura ambiente.

Para determinar los sulfatos del residuo seco, se extraen los iones solubles en frío, añadiendo 40 ml de ácido clorhídrico (1:3) frío y se espera unos 20 minutos. Durante este tiempo se deshacen, mediante una varilla de vidrio aplanada, los grumos formados, se filtra por un filtro de porosidad media sobre un vaso de precipitado de forma alta de 250 ml y se lava con agua fría.

En estas condiciones, la sílice que queda disuelta es mínima.

Nota 1: En el caso de la presencia de cantidades considerables de hierro es necesario reducir el Fe^{+++} a Fe^{++} , antes de la precipitación de los sulfatos con 10 ml de solución 5% de clorhidrato de hidroxilamina.

El filtrado contenido en el vaso de 250 ml se calienta a ebullición. Al mismo tiempo, en un vaso de precipitado de 50 ml se calientan a ebullición 15 ml de disolución de cloruro bórico al 10%. La disolución hirviente de cloruro bórico se vierte sobre el filtrado, igualmente en ebullición, y ésta se mantiene durante unos 10 minutos. El vaso de 250 ml y su contenido se mantiene sobre el baño de agua hirviendo al menos durante 12 h y luego se enfría a temperatura ambiente.

Se filtra por un filtro de porosidad fina y se lava con agua fría hasta eliminación de cloruros. (Comprobar con disolución de nitrato de plata).

Nota 2: Se comprueba, visualmente, que el sulfato bórico no haya pasado al filtrado. En caso de que pase, se debe repetir la filtración. Es inconveniente refiltrar la primera parte filtrada.

El filtro, con el precipitado, se introduce en el crisol de platino previamente tarado, se seca en la estufa y se incinera a baja temperatura, por debajo de la del rojo sombra ($400^{\circ}C-752^{\circ}F$), hasta combustión total del papel a ceniza blanca. Se deja enfriar el crisol, se humedece el residuo con 2 gotas de ácido nítrico (1:1) y una gota de ácido sulfúrico (1:1). Se tapa el crisol y se evapora hasta eliminación de humos calentando con un Bunsen con poca llama y a distancia para prevenir cualquier proyección.

El crisol se coloca sobre un triángulo de tierra refractaria "limpio" y se calcina 30 minutos a $950^{\circ}C$ ($1752^{\circ}F$) en una mufla. El crisol se enfría en el desecador con llave, cuyo cierre hermético será comprobado, y se pesa.

B.5. Cálculo y expresión de los resultados

La diferencia de pesos entre la tara de crisol y el crisol con el residuo de sulfato de bario, da el peso P_1 de sulfato de bario. El resultado se expresa como ión sulfato SO_4 , en tanto por ciento, según la ecuación:

$$\% \text{ de } SO_4 = \frac{P_1}{P_{mBaSO_4}} P_{mSO_4} = \frac{100}{m}$$

Donde:

P_1 :	Peso de sulfato de bario (g).
P_{mBaSO_4} :	233,40 (peso molecular $BaSO_4$).
P_{mSO_4} :	96,06 (peso molecular SO_4).
m:	peso de la muestra seca (g).

El resultado obtenido es el contenido total de compuestos de azufre extraíbles por disgregación alcalina oxidante, expresados como SO_4 =%.

B.6. Valores obtenidos de repetibilidad

La desviación típica de repetibilidad (R-1) es de 0,02.

6.3.1.24.5. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE COMPUESTOS DE AZUFRE EN ESTADO DE SULFATOS

B.1. Fundamento del método

La muestra se disgrega por fusión alcalina en ausencia de oxidantes, se disuelve y se ataca en ácido clorhídrico para eliminar todos los sulfuros presentes. Se separa la sílice por evaporación a sequedad del residuo seco, se extrae en frío y se determinan en el filtrado los sulfatos por gravimetría. La separación de la sílice debe ser la máxima posible para evitar interferencias por coprecipitación durante la digestión.

B.2. Aparatos necesarios

Los mismos que los indicados en el apartado 5.

B.3. Reactivos

Los mismos que los indicados en el apartado 6, excepto la disolución acuosa saturada de Bromo y el peróxido de sodio.

B.4. Procedimiento operativo

Se sigue el apartado 7 en todos sus detalles, excepto que se suprimen los procesos empleados de oxidación, es decir, no se añaden: ni peróxido de sodio, ni agua de bromo (se utiliza igualmente una muestra de $4 \pm 0,05$ g con una precisión de 0,0001 g, previamente desecada a $11 \pm 5^\circ$ C ($230 \pm 10^\circ$ F) 105° C hasta peso constante).

B.5. Cálculos y expresión de resultados

La diferencia de pesos entre la tara de crisol y el crisol con el residuo de sulfato de bario, nos da el peso P_2 de sulfato de bario. El resultado se expresa como ión sulfato $SO_4^{=}$, en tanto por ciento, según la ecuación:

$$\% \text{ de } SO_4 = \frac{P_2}{PmBaSO_4} PmSO_4^{=} = \frac{100}{m}$$

Donde:

P_2 :	Peso de sulfato de bario (g).
$PmBaSO_4$:	233,40 (peso molecular $BaSO_4$).
$PmSO_4$:	96,06 (peso molecular).
m:	Peso de la muestra seca (g).

El resultado obtenido corresponde al contenido total de compuestos de azufre en estado de SO_4 extraíble por disgregación alcalina en ausencia de oxidantes.

6.3.1.24.6. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SULFUROS TOTALES

La diferencia entre el sulfato de bario, P_1 , obtenido en el apartado 8, el sulfato de bario, P_2 , obtenido en el apartado 14, da la cantidad de sulfato de bario correspondiente al azufre procedente de sulfuros contenidos en la muestra.

El valor, expresado en tanto por ciento de $S^=$, se obtiene según la ecuación:

$$\% \text{ de } SO_4 = \frac{PaS}{PmBaSO_4} \left[\frac{P_1}{m_1} - \frac{P_2}{m_2} \right] 100 = 13,738 \left[\frac{P_1}{m_1} - \frac{P_2}{m_2} \right]$$

Donde:

- P_1 : Peso de sulfato de bario (g) (del apartado 8).
 P_2 : Peso de sulfato de bario (g) (del apartado 14).
 m_1 y m_2 : son los pesos de las muestras respectivas secas (g).
 $PaS^=$: 32,06 (peso atómico S).
 $PmBaSO_4$: 233,40 (peso molecular $BaSO_4$)

Este valor incluye la suma de sulfuros atacables y no atacables por ácido, así como la pequeña cantidad eventual de $SO_3^=$, que se considera despreciable, en cualquier caso.

Nota 3: Se obtienen los resultados deseados con igual precisión y mayor rapidez, cuando las masas de las muestras son distintas (m_1 y m_2).

SECCION 6.3.1.25.

DETERMINACIÓN DE LA REACTIVIDAD ÁRIDO/ ÁLCALI (MÉTODO QUÍMICO) (ASTM C 289)

6.3.1.25.1. OBJETO

Este método tiene por objeto establecer un método para determinar la posible reactividad de los áridos con los álcalis del cemento, y se basa en la reacción del árido con una solución valorada de hidróxido sódico.

Es de aplicación a los áridos empleados en la fabricación de hormigón.

6.3.1.25.2. EQUIPOS Y MATERIALES

B.1.Aparatos

- a) Balanza. Se dispondrá de una que permita pesar una carga de 2.000 gramos con precisión de 2 gramos y otra analítica de precisión cuya sensibilidad sea de 0,0005 gramos.
- b) Equipo de trituración y molienda. Se utiliza cualquier equipo que permita preparar unos 4 kg de muestra, de acuerdo con lo que se indica en el "Procedimiento".
- c) Tamices 300 m (No.50) y 150 m (No.100).
- d) Estufa de desecación, capaz de mantener una temperatura de $80 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ($192 \pm 2^{\circ}\text{F}$).
- e) Recipientes de reacción, fabricados con acero inoxidable o con cualquier otro material que resista la corrosión.

El resto de los aparatos serán los de uso corriente en los laboratorios químicos.

B.2.Reactivos

- a) Disolución patrón de hidróxido sódico 1 0,010N, que se valora utilizando una disolución patrón de ftalato ácido de potasio. En la preparación de la disolución se emplea agua destilada hervida con el fin de eliminar el anhídrido carbónico.
- b) Disolución patrón de ácido clorhídrico 0,05N. Se prepara una disolución de ácido clorhídrico aproximadamente 0,05N, que se valorará en el momento de su utilización hasta 0,0001N utilizando N_aOH 0,05N.
- c) Disolución alcohólica de fenolftaleína. Se prepara disolviendo 1 gramo de fenolftaleína en 100 cm^3 de etanol 1:1.
- d) Disolución de anaranjado de metilo. Se prepara disolviendo 0,1 gramo de anaranjado de metilo en 100 cm^3 de agua, que se filtrará si es necesario.

6.3.1.25.3. PROCEDIMIENTO

B.1.Preparación de la muestra

Se pulveriza para que pase por el tamiz 300 m (Nº 50) y quede retenida en el 150 m (Nº 100),

tomando las precauciones necesarias en el proceso de pulverización para que se reduzca al mínimo la fracción de finos que pasen a través del tamiz 150 m (Nº 100).

Es recomendable el siguiente método de trituración: utilizando una trituradora de mandíbula que tritura el árido grueso hasta un tamaño máximo de 0,62 cm. Se tamiza el árido grueso, así preparado, o la arena, en caso de tratarse de árido fino, sobre el tamiz 300 m (Nº 50), recogiendo la fracción que retiene el tamiz 150m (Nº 100). Se pulveriza en un molino de discos y en varias pasadas sucesivas, el material retenido por el tamiz de 300 m (Nº 50), recogiendo la fracción que queda en el tamiz de 150 m (Nº 100).

Con objeto de asegurarse de que ha eliminado el material fino que pasa por el tamiz de 150 m (No.100), se lava la muestra sobre dicho tamiz. No debe realizarse este lavado empleando, de una vez, una cantidad de material superior a 100 gramos. Se deseca la muestra lavada en estufa a $105 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 10^\circ \text{F}$) durante unas veinte horas, y una vez enfriada a temperatura ambiente, el material se vuelve a tamizar por el tamiz de 150 m (Nº 100), reservando para el ensayo la parte retenida en dicho tamiz.

B.2.Ejecución del ensayo

Se pesan, separadamente, tres porciones de 25 ± 0.05 gramos de la fracción seca que se va a ensayar y se coloca cada una de estas porciones en un recipiente de reacción. Se añaden 25 cm³ de disolución de NaOH, 1.000 N y en un recipiente aparte, se ponen 25 cm³ de la misma disolución de NaOH, para realizar un ensayo en blanco. Se cierran, perfectamente, los recipientes de reacción y se agitan con suavidad para desprender las burbujas de aire que pueden haber quedado Incluidas entre la arena.

Seguidamente se colocan los recipientes en la estufa a temperatura de $80 \pm 1^\circ \text{C}$ (86°F).

Pasadas veinticuatro horas se sacan los recipientes de la estufa y se enfrían, por debajo de 30°C ($172 \pm 2^\circ \text{F}$), con agua corriente durante 15 ± 2 minutos.

Después de enfriados los recipientes de reacción, se abren y se filtra el líquido que contienen, para lo cual se utiliza un crisol de placa filtrante colocando sobre la placa un disco de papel de filtro. La operación de filtrado se realiza a vacío, colocando dentro del kitasato, un tubo de ensayo seco de 35 a 50 cm³ para recoger el líquido. Conectado el vacío se vierte sobre el papel de filtro una pequeña cantidad de líquido de la disolución decantada, con el fin de conseguir una mejor adaptación del papel al crisol. Sin quitar el contenido del recipiente, se vierte en el crisol el resto del líquido separado por decantación. Cuando la decantación del líquido es completa, se interrumpe la acción del vacío y se pasa al crisol la arena del recipiente. Se vuelve a aplicar el vacío, regulándolo de manera que la velocidad de filtración sea de una gota cada diez segundos.

Se anota el tiempo de aplicación de vacío, para procurar que no varíe de una a otra muestra.

El líquido del ensayo en blanco se filtra de manera análoga a la indicada antes, ajustando el vacío de tal forma que dure el proceso un tiempo igual a la medida de los tiempos de filtración de las tres muestras consideradas.

Se toman con una bureta 10 ml de filtrado perfectamente homogeneizado, y se pasan a un matraz aforado de 200 ml, llenando luego el matraz hasta enrase, con agua destilada.

B.3.Determinación gravimétrica de sílice soluble

Se toman 10 ml de la solución diluido y se ponen en una cápsula, de ser posible de platino, con el objeto de que sea más rápida la evaporación. Se añaden de 5 a 10 ml de HCl concentrado y se evapora a sequedad en baño de vapor. Al residuo se le añaden, nuevamente, de 5 a 10 ml de HCl y una cantidad igual de agua. Se pone a digestión sobre el baño de vapor durante diez minutos, cubriendo la cápsula con un vidrio de reloj.

Se diluye la disolución con 20 ml de agua destilada caliente; se filtra en caliente y se lava varias veces el anhídrico silícico formado con ácido clorhídrico diluido (1:99) y, por último, con agua hirviendo, hasta que las aguas de lavado no se enturbien cuando se añaden unas gotas de solución de nitrato de plata. El filtrado y las aguas de lavado se evaporan de nuevo hasta sequedad y, conseguido ello, se mete la cápsula en una estufa, manteniéndola una hora a $105 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 10^\circ\text{F}$). Se saca y trata el residuo con 15 ml de ácido clorhídrico 1:1, se cubre con un vidrio de reloj y se mantiene en digestión durante diez minutos. Se diluye con 15 ml de agua destilada caliente, se filtra sobre otro filtro y se lava como la porción mayor de sílice separada anteriormente.

Se pasan a un crisol de platino los dos filtros que contienen la sílice; se secan y queman los papeles a baja temperatura hasta su total incineración y, luego se calcinan a 1110°C y 1200°C ($2000^\circ\text{F} \pm 2200^\circ\text{F}$) hasta peso constante.

Se humedece el residuo en el crisol de platino, con unas gotas de agua y se añaden 10 ml de ácido fluorhídrico y una gota de ácido sulfúrico concentrado. Se evapora hasta sequedad en una vitrina con buen tiro. Se calcina el residuo durante cinco minutos en una mufla a temperatura comprendida entre 1110 y 1200°C ($2000^\circ\text{F} \pm 2200^\circ\text{F}$), se enfría y se pesa. La diferencia entre las dos últimas pesadas da el peso de la sílice soluble.

Para el ensayo en blanco se emplea la misma cantidad de disolución diluida y de reactivos, realizándose las mismas operaciones en condiciones idénticas a las expuestas en el ensayo de la muestra.

B.4. Determinación de la reducción en la alcalinidad

Con una pipeta se toman 20 ml de la disolución diluida y se ponen en un matraz Erlenmeyer de unos 125 ml de capacidad. Se añaden dos o tres gotas de feolftaleína y se valora con HCl 0,05N hasta la desaparición total del color rosa de la feolftaleína. Se anota la cantidad total de ácido clorhídrico consumido en la valoración. Se añaden, a continuación, de dos a tres gotas de anaranjado de metilo y se continúa la valoración con el mismo ácido, hasta el viraje del indicador. Se anota la cantidad total de ácido clorhídrico utilizado desde el principio de la valoración.

6.3.1.25.4. OBTENCIÓN Y PRECISIÓN DE LOS RESULTADOS

B.1. Sílice soluble

La concentración de SiO_2 en la disolución de NaOH se expresa en millones por litro, y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{SiO}_2 = (W_1 - W_2) \times 3.330$$

Donde:

W_1 : Peso de SiO_2 hallados en 100 ml de solución diluida (g).

W_2 : Peso de SiO_2 encontrados en el ensayo en blanco (g).

B.2. Reducción de la alcalinidad

Se calculará ésta en milimoles por litro, mediante las siguientes expresiones:

$$V_2 \cdot V_3 = 2P - T$$

$$R_c = \frac{20N}{V_1} (V_3 - V_2) \times 1.000$$

Donde:

- V_1 : volumen de la disolución diluida utilizado en el ensayo (ml).
- V_2 : volumen de HCl utilizado para neutralizar el ión hidroxilo en la muestra de ensayo.
- V_3 : volumen de HCl utilizado para neutralizar el ión hidroxilo en el ensayo en blanco (ml).
- P: volumen de HCl necesarios para lograr el viraje de fenoltaleína (ml).
- T: cantidad total de HCl utilizada desde el principio de la valoración y necesaria para lograr el viraje de anaranjado de metilo.
- N: Normalidad del HCl utilizado en la valoración.

Puesto que la reacción álcali-agregado puede ser de tres tipos distintos, los mecanismos de reacción son muy complejos y presentan diferencias en función de la fase mineralógica en actividad, la evaluación de la potencialidad de reacción por medio de un solo método no puede ser concluyente. Se recomienda la verificación por medio de al menos dos métodos para la aceptación o rechazo de un tipo de agregado.

SECCION 6.3.1.26.

VALORACIÓN DE ELEMENTOS ARCILLOSOS EN LOS MATERIALES FINOS POR MEDIO DEL AZUL DE METILENO (NTL 171)

6.3.1.26.1. OBJETO

Este método describe el procedimiento que se debe seguir para determinar la presencia de elementos arcillosos en los materiales finos, como arenas naturales o de trituración, polvos minerales, etc., empleados en la construcción de carreteras.

El método se basa en las propiedades de adsorción de las arcillas, y su consiguiente efecto decolorante sobre las soluciones acuosas de azul de metileno.

El azul de metileno es adsorbido preferentemente por las arcillas, los materiales orgánicos y los hidróxidos de hierro, siendo esta capacidad de adsorción consecuencia de la actividad superficial y físico-química de estos materiales.

6.3.1.26.2. EQUIPOS Y MATERIALES

- Balanza de 200 g de capacidad y precisión de 0,001 g.
- Estufa de desecación regulable a $110\pm 5^{\circ}$ C ($230\pm 10^{\circ}$ F).
- Tamiz de 425 μ m (No.40).
- Agitador electromagnético calorifugado y con regulador de agitación e imán plastificado incorporado. Se puede utilizar también un agitador mecánico de velocidad regulable con placa calefactora.
- Vasos de precipitado graduados de 250 cm³ de capacidad y forma baja.
- Vidrio de reloj de 10 cm. de diámetro.
- Tubos de ensayo graduados, de 10 cm³ de capacidad, y gradilla soporta tubos.
- Centrífuga de laboratorio para los tubos de ensayo, capaz de dar 525 rad/s (5.000 r.p.m.).
- Frasco lavador.
- Agua destilada o desmineralizada.
- Azul de metileno R.A.
- Cronómetro.
- Escala de colores, obtenida según el punto "Escala de colores" de este método.

6.3.1.26.3. PROCEDIMIENTO

- a. El ensayo se realiza sobre la fracción de la muestra que pasa por el tamiz de 425m (No.40), secada en estufa a unos $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230\pm 10^{\circ}\text{F}$) hasta peso constante (**Nota 1**).

Nota 1. Secar la muestra a temperaturas superiores puede suponer la alteración de ciertas arcillas presentes y, por tanto, de resultados finales del ensayo.

- b. Se pesan en la balanza unos 2g de muestra con precisión de 0,001 g y se colocan en el vaso de 250 cm³.
- c. Se pesan en la balanza y con la misma precisión, unos 0,05 g de azul de metileno, que se colocan en el mismo vaso junto con la muestra.
- d. A continuación, se añade al vaso agua destilada o desmineralizada, hasta conseguir un volumen total de 150 cm³. La solución obtenida será de un color azul intenso. Este volumen de 150 cm³ debe mantenerse constante durante todo el proceso, restituyendo con agua destilada o desmineralizada las pérdidas que se ocasionen.
- e. Se coloca el vaso sobre el agitador electromagnético, se introduce el imán, se tapa con el vidrio de reloj y se pone en marcha el agitador durante 20 minutos. Se conecta a la vez el interruptor de calefacción, y se regula para que en ese período de tiempo la solución alcance una temperatura de 60°C (140°F) (**Notas 2 y 3**).

Nota 2: La temperatura más apropiada para activar el efecto de adsorción del azul de metileno sobre las arcillas es de unos 60°C (140°F). Se puede utilizar un termómetro para verificarlo, o también tener en cuenta que es a esta temperatura cuando aparece condensación de vapor de agua en la parte inferior del vidrio de reloj que cubre el vaso. En este instante se desconecta el interruptor de calefacción. La agitación no debe ser turbulenta, evitando las salpicaduras en las paredes del vaso y vidrio de reloj.

Nota 3: El imán plastificado sufre un desgaste con el uso, por lo que debe sustituirse cuando ello sucede, para que la agitación sea la correcta. A veces se pueden ver adheridas al imán algunas pequeñas virutillas de hierro, que provienen generalmente de los medios empleados en la trituración del árido.

- f. Transcurrido este tiempo, se toman en un tubo de ensayo 3 cm³ de la suspensión del vaso, se coloca el tubo con una suspensión en la centrífuga y se centrifuga durante 30 segundos a 525 rad/s (5.000 r.p.m.). A continuación, se transvasan 2 cm³ del líquido que sobrenada a otro tubo de ensayo limpio, tubo 1, se observa su color y se coloca en la gradilla mientras dure el ensayo (**Nota 4**).

Nota 4: El líquido que sobrenada debe ir exento de partículas coloreadas de muestra. La presencia de dichas partículas puede producir una falsa apreciación del color de la solución. Debe cuidarse el perfecto equilibrio de los tubos de ensayo en la centrifugación.

- g. El tubo de ensayo utilizado en la centrifugación se lava con otros 2 cm³ de agua destilada o desmineralizada, agitándolo con la mano y vertiendo todo el contenido en el vaso de precipitado, con el fin de recuperar la muestra que había en el fondo del tubo después de la centrifugación.
- h. El líquido transvasado al tubo 1, puede presentar coloración azul más o menos intensa o quedar incoloro:
 - a) En el caso que presente coloración, se vuelve a colocar el vaso en el agitador durante otros 20 minutos, y se repite posteriormente la operación según el **Apartado 22**. Se compara su coloración, tubo 2, con la del tubo 1 situado en

la gradilla. Si la coloración es la misma, hay que añadir una nueva cantidad de muestra siguiendo el criterio referido en el Apartado 26 y se repite todo el proceso indicado en los **Apartados 21, 22 y 23**. Se considerará terminado el ensayo cuando la solución, gradualmente, llega a ser incolora.

- b) En el caso que el líquido transvasado al tubo 1 resulte incoloro, se pesarán otros 0,05 g de azul de metileno con precisión de 0,001 g, se añadirá al vaso que contiene la muestra, y se vuelve a repetir el proceso completo según los Apartados 21 y siguientes.

6.3.1.26.4. ESCALA DE COLORES

La escala comparativa de colores se obtiene por diferentes diluciones de azul de metileno (realizando las pesadas con precisión de 0,001 g) en agua destilada o desmineralizada, según la marcha siguiente:

	Solucion Nº
0,01 g de azul de metileno y diluir en 20 cm ³	5
2 cm ³ solución 5 y diluir en 20 cm ³	4
2 cm ³ solución 4 y diluir en 10 cm ³	3
2 cm ³ solución 3 y diluir en 3 cm ³	2
2 cm ³ solución 2 y diluir en 2 cm ³	1
Solución incolora	0

Se tendrán en cuenta los colores intermedios que se definirán como: 5-4, 4-3, 3-2, 2-1 y 1-0.

Como orientación para la cantidad de muestra a añadir, según los colores resultantes, se puede seguir el siguiente criterio:

- Con coloración 5 y 4, de 2 a 1 g.
- Con coloración 3 y 2, de 1 a 0,5 g.
- Con coloración inferior a 2, de 0,5 a 0,1 g.

6.3.1.26.5. CÁLCULOS

El resultado denominado Índice de azul de metileno, indica la cantidad en gramos, con aproximación a una décima, de azul de metileno por 100 gramos de muestra seca, y se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\text{Índice de azul de metileno} = \frac{A}{S} \times 100$$

Siendo:

- A: cantidad utilizada de azul de metileno (g).
 B: cantidad empleada de muestra seca (g).

6.3.1.26.6. PRECISIÓN

Se repite el ensayo en otra porción de muestra, utilizando las cantidades de azul de metileno y muestra seca determinada anteriormente. El nuevo valor deberá estar incluido en el intervalo 0,2 del resultado obtenido anteriormente. Se promedian ambos resultados como valor del índice de azul de metileno. En caso contrario, repetir las determinaciones.

CAPITULO 6.3.2.

ENSAYOS EN CEMENTOS Y MORTEROS

SECCION 6.3.2.1.

MUESTREO Y ACEPTACIÓN DEL CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C 183 AASHTO T127)

6.3.2.1.1. OBJETO

Este método tiene por objeto establecer los procedimientos para la extracción, preparación y escogencia de muestras de cementos hidráulicos para ser ensayadas con miras a la verificación de su calidad.

6.3.2.1.2. DEFINICIONES

Los procedimientos descritos en este método tienen como fin la extracción de muestras que han de ser utilizadas en ensayos, que verifiquen la calidad del cemento hidráulico, para que pueda ser aceptado su uso en la construcción. No están orientados hacia propósitos de control de calidad de la producción.

a. Tipos, tamaño de las muestras e indicación de quien las debe tomar

Las muestras extraídas de una corriente de cemento pueden ser simples o continuas:

La muestra simple es la que se obtiene en una sola operación y en un período corto de tiempo.

La muestra continua es la que se extrae mediante un dispositivo automático, en forma continua.

Mientras la muestra simple representa una corriente de cemento en un período corto de tiempo, la muestra continua puede representar una corriente de cemento en períodos de tiempo cortos o largos, según lo desee la entidad encargada de extraer las muestras. Se recomienda, sin embargo, que la muestra continua sea obtenida en un intervalo de 10 min.

b. Muestras individuales, sean simples o continuas, pueden mezclarse para formar muestras compuestas. Las muestras simples individuales tomadas a intervalos prefijados durante un lapso determinado, pueden mezclarse para constituir una muestra compuesta representativa del cemento producido en dicho lapso.

Se podrá obtener también una muestra compuesta representativa de un período, mezclando las muestras continuas individuales extraídas a intervalos prefijados durante dicho período. Igualmente, la muestra será también una muestra compuesta representativa para ese período.

c. Las muestras destinadas a ensayos físicos o químicos se denominarán “muestras de ensayo”; podrán ser simples o compuestas según se especifique y salvo indicación contraria del comprador representarán a lo sumo 350 toneladas.

d. Las muestras individuales que formen muestras compuestas deberán pesar por lo menos 2,5 kg (5 lb) cada una. Para efectuar todas las pruebas especificadas, la muestra de ensayo deberá pesar por lo menos 5 kg (10 lb).

e. La extracción de muestras podrá ser hecha o dirigida por el comprador o su representante autorizado.

Estos tienen derecho a supervisar las operaciones de muestreo, empaque y transporte del material, en caso de que el muestreo sea hecho por el fabricante.

- f. Inmediatamente después de extraídas las muestras se introducirán en envases apropiados, herméticos e impermeables, que se numerarán consecutivamente en el orden en que se haya realizado la extracción. Si fuere necesario, el fabricante podrá empacar y remitir los envases a expensas del comprador.

Nota: Se ha encontrado que los recipientes de cloruro de polivinilo (PVC) afectan en ciertas ocasiones el potencial de inclusión de aire del cemento. Este mismo problema puede presentarse con recipientes hechos con otros plásticos.

6.3.2.1.3. TOMA DE MUESTRAS

Las muestras se extraerán por uno de los métodos descritos en este capítulo.

1. Del transportador que alimenta los silos de material a granel

Se extraerá una muestra de ensayo, simple o continúa, de por lo menos 5 kg por cada 175 toneladas llevadas por el transportador, o por cada 6 horas de producción (funcionamiento del transportador), en el caso de que en ese período sea transportada una cantidad menor que la mencionada.

La extracción de muestras se hará ya sea por el método individual o por el compuesto. Cuando se obtenga una muestra compuesta, se formará ésta mezclando pesos iguales de cemento, extraídos a intervalos regulares; cada una de las porciones deberá representar no más de 35 toneladas.

2. En operaciones de transferencia

Pueden tomarse muestras de cemento almacenado cuando éste está siendo transferido en forma continua de un depósito a otro. En este caso, tómesese una muestra individual por cada 400 toneladas de cemento o menos, pero no deberán tomarse menos de dos muestras.

3. De los silos de material a granel, en sus puntos de descarga

Extráiganse las muestras del orificio de descarga cuando el cemento se encuentre en un estado de flujo continuo.

Si el silo de donde fluye el cemento es alto y circular, tómense las muestras de un solo orificio. En caso de tratarse de depósitos rectangulares de baja altura que contengan una cantidad de cemento superior a las 1200 toneladas, el número de orificios de donde se tomarán las muestras será tal, que para ningún orificio el número de muestras tomadas a través suyo, representará más de la mitad del contenido del depósito, ni más de 2000 toneladas.

Durante la operación de descarga continua de un silo, la extracción se efectuará mientras fluye el cemento por las bocas de descarga, a intervalos tales que se logre una muestra de 2,5 kg por cada 85 toneladas contenidas en el silo.

4. De los silos o de los depósitos de transporte de material a granel por intermedio del sacamuestras ranurado o por tubo sacamuestras.

Si la altura del cemento contenido en el depósito no sobrepasa los 2,1 m (7') las muestras se podrán extraer por medio del sacamuestras ranurado que se ilustra en la **Figura 6.3_12**. Esta herramienta tendrá una longitud comprendida entre 1,50 y 1,85 m (5' y 6'), un diámetro exterior de 35 mm (1 3/8") y estará formado por dos tubos telescópicos de bronce pulido con ranuras

de registro que se abren o cierran girando el tubo interior con respecto al exterior; este último terminará en una punta afilada para facilitar su penetración. Para profundidades mayores de 2.1 m (7') y donde sea aplicable, se utilizará un tubo sacamuestras (Figura 6.3_13), activado por un chorro de aire que permita sacar muestras de cemento a distintas profundidades.

Con el fin de que las muestras sean representativas del cemento en consideración, éstas se obtendrán ya sea por medio del sacamuestras ranurado o por medio del tubo sacamuestras, eligiendo de antemano puntos bien distribuidos tanto en la superficie como en la altura.

5. De cemento empacado, por intermedio del tubo sacamuestras

El tubo sacamuestras se insertará diagonalmente por la válvula del saco, teniendo la precaución de tapar el agujero de respiración del tubo al realizar esta operación y luego se girará el sacamuestras. Por cada 5 toneladas o fracción se extraerá una muestra de un saco. Las muestras parciales así obtenidas, se mezclarán para formar una muestra de ensayo.

6. De volquetas o camiones de transporte de material a granel

- Un solo cargamento.

Si se trata tan sólo de una volqueta o camión, tómbese una sola muestra de 5 kg (10 lb) cuando el material haya sido cargado en forma continua y provenga de la misma fuente. Si por el contrario el proceso de cargue del material es desconocido o irregular, tómbese cinco porciones de muestra de puntos uniformemente distribuidos en la carga, y combínense para formar la muestra de ensayo.

- Varios cargamentos.

Cuando el muestreo deba hacerse de varias volquetas o camiones cargados de la misma fuente y en el mismo día, podrá tomarse una muestra por cada 100 toneladas de cemento o fracción, pero no deberán tomarse menos de dos muestras. El cemento representado por una de tales muestras podrá ser considerado como un lote, para propósitos de ensayo. En los casos en que el cemento haya sido cargado de forma no uniforme, se tomarán muestras de cada camión que se mezclarán para formar muestras de ensayo que en ningún caso representen más de 85 toneladas.

Cuando la extracción de muestras se haga en lugares diferentes de fabricación, éstas se tomarán de cada 2,5 toneladas o fracción y se mezclarán para formar muestras de ensayo.

7. Protección de las muestras

Inmediatamente después de su extracción, las muestras se depositarán en recipientes herméticos de los cuales se pueda eliminar el exceso de aire, con el fin de evitar absorción de humedad y aireación. Si se depositan en envases de hojalata, debe asegurarse el llenado total de envase y su sellado inmediato. Si se emplean bolsas impermeables de varios pliegues o bolsas de plástico, deben ser suficientemente fuertes para evitar roturas, deben poder sellarse inmediatamente después de llenarlas, de manera tal, que se elimine el exceso de aire en la muestra y que se evite la absorción de humedad y aireación de la misma. Tanto las muestras simples como las compuestas, se prepararán tal como se describe en el numeral 8.

De todas las muestras tomadas de acuerdo con las especificaciones establecidas en este método, se guardará un testigo por un término de 60 días, para efectos de resolver eventuales discrepancias entre los interesados.

8. Preparación de la muestra

Con el fin de mezclar la muestra y de extraer todos los materiales extraños antes del ensayo, se pasará el cemento a través del tamiz de 850 μm (No.20). Se descartarán las materias extrañas y los grumos endurecidos que no se deshagan mientras se tamiza la muestra o se cepilla el tamiz.

El cemento así resultante se guardará en recipientes estancos e impermeables, para evitar aireación y absorción de humedad antes del ensayo.

Las muestras compuestas se prepararán disponiéndolas en grupos, de modo que cada uno represente el peso de cemento requerido por el ensayo o los ensayos, para los que la muestra compuesta ha sido destinada. De cada una de las muestras individuales de un grupo, se tomarán porciones iguales en cantidad suficiente para formar una muestra compuesta que permita realizar los ensayos requeridos. La muestra compuesta así obtenida se deberá mezclar perfectamente antes de ser ensayada.

- a) Todas las muestras se identificarán por medio de una tarjeta que deberá contener los siguientes datos:
- b) Número de orden de toma de la muestra.
- c) Tipo de cemento y su marca comercial.
- d) Nombres y domicilios de las partes interesadas.
- e) Peso del lote representado por la muestra.
- f) Sitios de procedencia y de toma de la muestra.
- g) Observaciones que se consideren necesarias (por ejemplo: empaque original o reempaque; empaque en buen o mal estado).
- i) Firmas de las partes interesadas y fecha de toma de la muestra.
- j) Nombre de la persona que tomó la muestra.

9. Cantidad de Ensayos

De todas las muestras tomadas, no todas tendrán que ser ensayadas, para la determinación y verificación de una u otra característica del cemento por medio del ensayo correspondiente. En este numeral se indica cuántas muestras, de todas las tomadas, deberán ser realmente ensayadas, esto es, la cantidad de ensayos (cantidad de veces que se repetirá un ensayo específico sobre la producción de cemento, para verificación de la propiedad que mide).

El comprador deberá especificar la cantidad de ensayos cuando se requieran las determinaciones de calor de hidratación y de falso fraguado del cemento. Incluyendo todas las muestras tomadas, deberán conformarse muestras de ensayo por composición de dos muestras consecutivas, para ser ensayadas a sanidad (expansión) en el autoclave, consistencia normal y tiempo de fraguado; cuando exista un número par de muestras, la última será ensayada aparte.

Todos los demás ensayos deberán hacerse sobre muestras individuales seleccionadas según la **Tabla 6.3_26**

10. Muestras de volquetas y camiones

Todos los ensayos solicitados, deberán hacerse sobre cada muestra tomada en este caso, exceptuando lo consecuente a lo indicado en el numeral 6.

11. **Muestras de lotes**

La **Tabla 6.3_26** se aplica a todos los ensayos solicitados sobre muestras representativas de lotes, exceptuando los siguientes: sanidad (expansión) la autoclave, calor de hidratación, falso fraguado, consistencia normal y tiempo de fraguado.

12. **Todos los demás casos**

En aquellos casos para los cuales nada se haya especificado, una muestra de ensayo representará cualquier cantidad indicada por el comprador. Por ejemplo, una muestra de ensayo podrá representar todo el cemento de un silo o todo el producido en el transcurso de un día.

Tabla 6.3_26. NÚMERO DE MUESTRAS PARA ENSAYO

Tamaño del lote (Número de muestras)	Número de ensayos
2	2
3	3
4 a 10	4
11 a 20	6
Más de 20	8

13. **Selección de las muestras de ensayo**

Las muestras que realmente van a ser ensayadas de cada uno de los lotes deberán ser escogidas mediante algún método aleatorio. Se sugiere el método simple de elaborar papeletas, que identifiquen cada una de las muestras del lote, introducir las dentro de una bolsa y extraer un número de papeletas igual al número de ensayos; se ensayan las muestras correspondientes a las muestras extraídas.

Muestras de ensayo teniendo en cuenta historia de control de calidad. Cuando se lleva una historia de control de calidad del cemento producido en una misma fuente, puede disminuirse el número de ensayos, tan sólo para verificar el comportamiento general de dicha producción. Consúltese la Norma ASTM C 183 o AASHTO T 127 para seguir un procedimiento de verificación de la calidad del cemento, teniendo en cuenta un historial de la calidad del cemento.

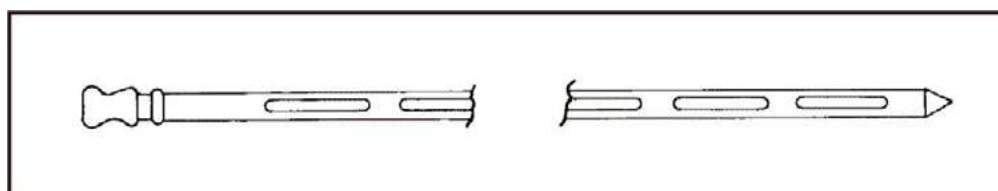


Figura 6.3_12. SACAMUESTRAS RASURADO

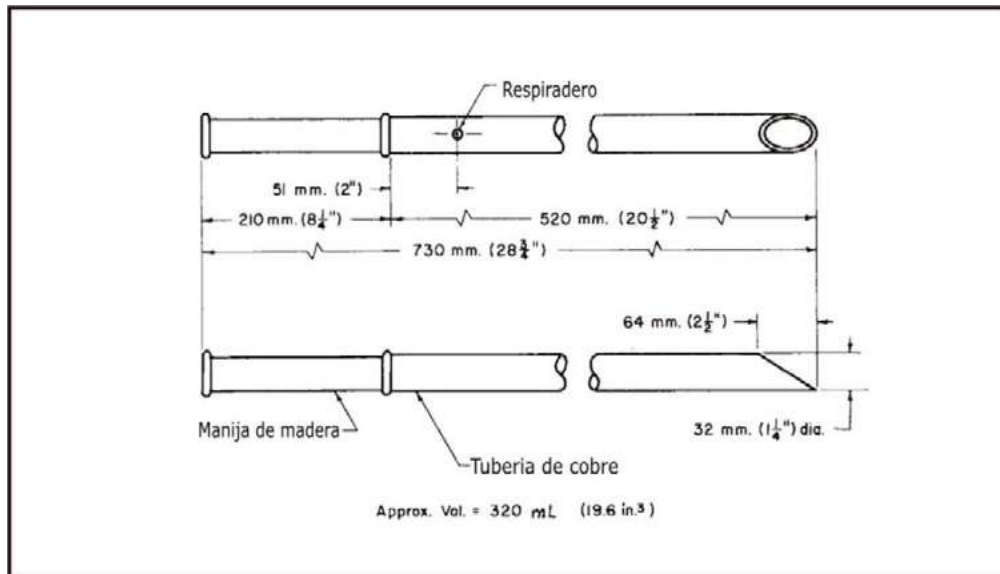


Figura 6.3_13. TUBO SACAMUESTRAS

SECCION 6.3.2.2.

FINURA DEL CEMENTO PORTLAND MÉTODO DEL APARATO BLAINE (ASTM C 204 AASHTO T153)

Este método tiene por objeto establecer el método de ensayo para determinar la finura del Cemento Portland por medio del aparato **Blaine de permeabilidad al aire**. Dicha finura se da en términos de superficie específica, expresada como área total en centímetros cuadrados por g (cm^2/g) de cemento. A pesar de que este método haya sido usado para determinaciones de la finura de otros materiales, debe entenderse que, en general, se obtiene un valor de finura relativo en lugar de uno absoluto.

Principio del Método: Consiste en hacer pasar una cantidad determinada de aire a través de una capa de cemento de porosidad definida. La cantidad y el tamaño de los poros existentes en dicha capa, son función del tamaño de las partículas y determinan el gasto del aire a través de la capa.

6.3.2.2.1. EQUIPO Y MATERIALES

B.1. Aparato Blaine

Consta de las siguientes partes: cámara de permeabilidad, disco perforado, émbolo y manómetro. (*Véase Figura 6.3_ 14*).

B.2. Cámara de permeabilidad:

Está formado por un cilindro rígido, de diámetro interior de $12,7 \text{ mm} \pm 0,10 \text{ mm}$ construido de vidrio o de metal no corrosible. La parte superior de la cámara está dispuesta en ángulo recto con respecto al eje de la misma. La parte inferior de la cámara ajusta herméticamente con la parte superior del manómetro. En el interior de la cámara y a $50 \text{ mm} \pm 15 \text{ mm}$ de la parte superior, se hace un reborde de $0,5 \text{ mm}$ a 1 mm , de ancho para soportar un disco metálico perforado.

B.3. Disco perforado:

Debe ser construido con un metal no corrosible; su superficie es plana y tiene un espesor de $0,9 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$; está provisto de 30 o 40 orificios de 1 mm de diámetro, distribuidos uniformemente sobre su superficie. El disco debe ajustar el reborde del tubo.

La porción central de una cara del disco deberá estar marcada o inscrita en una forma legible, de tal manera que el operador coloque siempre el lado marcado hacia abajo cuando lo inserte en la cámara. La marca o inscripción no deberá extenderse en los orificios, ni tocar la periferia del disco, ni extenderse al área del disco que descansa sobre el reborde de la cámara.

B.4. Émbolo:

Debe ser fabricado con un material indeformable e inatacable por el cemento y debe ajustar dentro del tubo con una tolerancia (holgura) máxima de $0,1 \text{ mm}$. La parte inferior del émbolo es plana, tiene bordes regulares y forma ángulo recto con su eje principal. En el centro o a un lado del émbolo hay un desfogue para el aire. La parte superior del émbolo tiene un reborde con el objeto de que cuando se coloque dentro de la cámara y el reborde toque la parte superior de la misma, la distancia entre el extremo inferior del émbolo y la parte superior del disco perforado sea de $15 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$.

B.5. Manómetro:

Es en forma de U y se construye de acuerdo con la **Figura 6.3_ 14**. Para construirlo, se emplea un tubo de vidrio de 9 mm de diámetro exterior. El extremo superior de uno de los brazos del manómetro es de forma tal, que hace posible un ajuste hermético con la cámara de permeabilidad. Dicho brazo tiene un sistema lateral de tubos para sacar el aire, situado a una distancia entre 250 mm y 305 mm del fondo del manómetro y tiene, además, una marca grabada a una distancia de 125 mm a 145 mm por debajo de la parte superior del sistema lateral de tubos. También, hay otras tres marcas por encima de la primera, a distancias de 15 mm, 70 mm y 110 mm respectivamente. En el sistema lateral de tubos hay una válvula, que puede hacer un cierre hermético, situada a una distancia no mayor de 50 mm del brazo. Al montarse el manómetro, debe quedar firme y con los brazos perfectamente verticales.

B.6. Líquido para llenar el manómetro

El manómetro debe llenarse hasta la mitad, con un aceite mineral ligero o con un líquido que no sea volátil ni higroscópico y que tenga viscosidad y densidad bajas, tal como el ftalato dibutilo (dibutil 1.2 bencendicarboxilato). Es aconsejable colorear el líquido para facilitar las lecturas.

B.7. Papel de filtro

Debe ser del tipo de mediana retención. Su forma tiene que ser circular, sus bordes regulares y debe tener el mismo diámetro que el interior de la cámara de permeabilidad.

Nota 1: los discos de papel de filtro son muy pequeños, pueden dejar que parte de la muestra se adhiera a la pared interior de la cámara por encima del disco superior. Si por el contrario son muy grandes, tenderán a doblarse y a causar resultados errados.

B.8. Cronómetro

Debe permitir lecturas con aproximación de 0,5 segundos o menos. Su tolerancia debe ser de 0,5 segundos o menos en intervalos de tiempo hasta 60 segundos, y de 1,0% ó menos para intervalos de 60 a 300 segundos.

6.3.2.2.2. CALIBRACIÓN DEL APARATO

1. Muestra

La calibración del aparato se hace empleando una muestra patrón (muestra 114 del Nacional Bureau of Standards, USA). En el momento del ensayo, la muestra debe estar a la temperatura ambiente.

2. Determinación del volumen de la capa compactada de cemento

Se determina en la forma siguiente:

- Se colocan dentro de la cámara de permeabilidad dos discos de papel de filtro de igual diámetro al de ella, haciéndoles presión con una varilla de longitud ligeramente inferior al diámetro de la cámara, hasta que se asienten bien sobre el disco perforado.
- Se llena luego la cámara con mercurio y se eliminan las burbujas de aire adheridas a las paredes. Si la cámara está hecha de un metal que pueda amalgamarse, su interior debe protegerse con una película muy fina de aceite que se pone inmediatamente antes de agregar el mercurio. Se enrasa el mercurio cuidadosamente con una placa de vidrio.
- Se saca el mercurio, se pesa y se anota el peso obtenido. Se saca de la cámara de permeabilidad uno de los discos de papel filtro. Se colocan en ella 2,80 g de cemento (**ver Nota 2**)

y sobre éste, el mismo disco de papel de filtro que se había sacado; luego se hace presión sobre el cemento (**ver Nota 3**).

- Se acaba de llenar con mercurio la cámara, se elimina el aire y se enrasa nuevamente. Se saca el mercurio, se pesa y se anota ese peso.
- El volumen ocupado por el cemento se calcula, con aproximación de 0,005 cm³, como sigue:

$$V = \frac{W_A - W_B}{D} \quad (1)$$

Donde:

V: Volumen de la capa de cemento (cm³).

W_A: Peso del mercurio que se coloca en la cámara de permeabilidad cuando no hay cemento en la misma (g).

W_B: Peso del mercurio que llena la parte de la cámara de permeabilidad no ocupada por la capa de cemento (g).

D: Peso específico del mercurio a la temperatura a que se hace el ensayo (g/cm) (**ver Tabla 6.3_ 27**).

- Como mínimo, se deben hacer dos determinaciones del volumen del cemento. El volumen empleado en los cálculos correspondientes, debe ser el promedio de dos resultados que no difieran, en más o menos, de 0,005 cm³. Se debe anotar la temperatura ambiente que rodea a la cámara de permeabilidad, inmediatamente antes y después de cada determinación.

Nota 2: No es necesario emplear la muestra patrón en la determinación del volumen.

Nota 3: La capa de cemento que se prepare debe ser consistente. Si está demasiado floja o si el cemento no puede comprimirse al volumen deseado, se varía la cantidad de cemento empleado en el ensayo.

3. Preparación de la muestra

La muestra patrón se introduce, inmediatamente antes de ser utilizada, en un frasco de 100 a 150 cm³ de capacidad y se agita vigorosamente durante 2 minutos, a fin de deshacer los grumos.

4. Peso de la muestra patrón

Debe ser tal, que permita obtener una capa de cemento que tenga una porosidad de 0,500 ± 0,005. Dicho peso se calcula con la siguiente fórmula:

$$W = 3,15 V (1 - e) \quad (2)$$

Donde:

W: Peso de la muestra patrón (g) con una aproximación de 0,001 g.

3,15: Peso específico del cemento Portland.

V: Volumen de la capa de cemento, en cm^3 que se determina de acuerdo con lo expuesto en el numeral 3.

e: Porosidad de la capa de cemento ($0,500 \pm 0,005$).

5. Preparación de la capa de cemento

Se coloca el disco perforado en el reborde de la cámara de permeabilidad. Se pone un disco de papel de filtro sobre el disco perforado y se presiona con una varilla de longitud ligeramente menor que el diámetro de la cámara. Se añade cemento a ella, de acuerdo con lo indicado en numeral 2 y se dan unos ligeros golpes en sus paredes para que la capa de cemento quede nivelada. Se coloca un disco de papel de filtro sobre el cemento. Se baja el émbolo hasta que su reborde toque el extremo superior de la cámara. Se levanta un poco el émbolo en forma lenta, se rota 90° y se vuelve a bajar.

Por último, se saca el émbolo lentamente. Para cada determinación es necesario utilizar discos nuevos de papel de filtro.

6. Ensayo de permeabilidad

- La cámara de permeabilidad se conecta con el manómetro, cerciorándose que haya una conexión hermética (ver Nota 4) y cuidando que la capa de cemento no se altere.
- El aire contenido en el brazo del manómetro que tiene las marcas, se elimina lentamente hasta que el líquido alcance la marca más alta y luego se cierra herméticamente la válvula. Se hace funcionar el cronómetro en el momento en que el menisco del líquido llegue a la segunda marca (la que sigue a la más alta) y se detiene en el momento en que el menisco llegue a la tercera marca. El intervalo de tiempo observado se anota en segundos; se anota también la temperatura a que hizo el ensayo, en $^\circ\text{C}$. Para la calibración del aparato se hacen como mínimo tres determinaciones del tiempo de flujo en cada una de tres capas diferentes de la muestra patrón (**ver Nota 5**). La calibración debe hacerla la misma persona que va a efectuar las determinaciones de la finura.

Nota 4: Si se usa un tapón de goma para la conexión, éste debe humedecerse con agua. Si la unión es esmerilada, debe aplicarse un poco de grasa. La eficiencia de la conexión puede apreciarse tapando la parte superior de la cámara (después de haber colocado el manómetro), haciendo salir aire y cerrando luego la llave. Un descenso continuo del menisco es indicio de falla en el sistema.

Nota 5: Puede volver a usarse la misma muestra patrón para preparar las capas de cemento, volviéndola a calcular según el numeral 4 y siempre que se mantenga seca y se hagan las pruebas dentro de las 4 horas siguientes a la apertura de la muestra.

7. Recalibración

El aparato debe ser recalibrado en los siguientes casos:

- Para corregir posibles desgastes del émbolo o de la cámara de permeabilidad; esto deberá hacerse periódicamente.
- Si hay alguna pérdida de líquido del manómetro.
- Si se efectúa algún cambio en el tipo o en la calidad del papel de filtro empleado en los ensayos.

Nota 6: Se sugiere preparar una muestra secundaria para ser usada en las comprobaciones rutinarias del instrumento; éstas se deben efectuar entre las cali-

braciones regulares, en las cuales se debe usar la muestra patrón.

6.3.2.2.3. PROCEDIMIENTO

a. Temperatura del cemento

La muestra de cemento debe estar a la temperatura ambiente en el momento de efectuar el ensayo.

b. Cantidad de muestra

La muestra debe tener el mismo peso que la muestra patrón utilizada para la calibración, excepto cuando se vaya a determinar la finura de un cemento de alta resistencia inicial, caso en el cual el peso de la muestra debe ser el necesario para obtener una capa con porosidad de $0,530 \pm 0,005$.

Nota 7: Cuando este método sea utilizado para materiales diferentes del cemento portland, el peso de la muestra debe ser ajustado de tal forma que del proceso de compactación se obtenga una capa firme y dura.

c. Preparación de la capa de cemento

La capa de cemento para el ensayo debe prepararse de acuerdo con el método descrito en el numeral 5.

d. Ensayo de permeabilidad

Debe efectuarse de acuerdo con el método descrito en el numeral 6, con la excepción de que sólo es necesaria una determinación del tiempo de flujo para la capa de cemento.

6.3.2.2.4. CÁLCULOS

a. La superficie específica se calcula mediante las siguientes fórmulas:

$$S = \frac{S_p \sqrt{T}}{\sqrt{T_p}} \quad (3)$$

$$S = \frac{S_p \sqrt{N_p} \sqrt{T}}{\sqrt{T_p} \sqrt{N}} \quad (4)$$

$$S = \frac{S_p (b - e_p) \sqrt{e^3} \sqrt{T}}{(b - e) \sqrt{e_p^3} \sqrt{T_p}} \quad (5)$$

$$S = \frac{S_p (b - e_p) \sqrt{e^3} \sqrt{T} \sqrt{N_p}}{(b - e) \sqrt{e_p^3} \sqrt{T_p} \sqrt{N}} \quad (6)$$

$$S = \frac{S_p G_p (b - e_p) \sqrt{e^3} \sqrt{T}}{G(b - e) \sqrt{e_p^3} \sqrt{T_p}} \quad (7)$$

$$S = \frac{S_p G_p (b - e_p) \sqrt{e^3} \sqrt{T} \sqrt{N_p}}{G(b - e) \sqrt{e_p^3} \sqrt{T_p} \sqrt{N}} \quad (8)$$

Donde:

- S: Superficie específica de la muestra de ensayo (cm²/g).
- S_p: Superficie específica de la muestra patrón (cm²/g).
- T: Tiempo determinado para la muestra en ensayo (seg.) (según Nota 8).
- T_p: Tiempo determinado para la muestra patrón (seg.) (según Nota 8).
- N: Viscosidad del aire a la temperatura a que se verifica la determinación sobre la muestra en ensayo (poises) (según Nota 8).

Nota 8: Los valores de \sqrt{N} , y $\sqrt{e^3}$ se toman de la **Tabla 6.3_27** y la **Tabla 6.3_28** respectivamente. Las fórmulas (3) y (4) se deben usar para cemento portland, cuando las porosidades de la muestra en ensayo y del patrón sean las mismas. En particular, se debe emplear la (3) si las temperaturas de dichas muestras no difieren en más de 3°C entre sí; y la (4), si ocurre lo contrario. Las fórmulas (5) y (6) se deben emplear para cemento Portland cuando las porosidades de las dos muestras aludidas sean distintas. La (5) se debe utilizar cuando las temperaturas no difieran en más de 3°C entre sí; y la (6) cuando la diferencia sea mayor. Las fórmulas (7) y (8) se deben usar para materiales distintos del cemento portland. La (7) en los casos en que las temperaturas de la muestra en ensayo y la patrón no difieran en más de 3°C entre sí; y la (8) en caso contrario. Se recomienda que los valores de b sean determinados sobre no menos de tres (3) muestras del material en cuestión. Ensáyese cada muestra a un mínimo de cuatro porosidades sobre un intervalo de porosidad de por lo menos 0,06. Los coeficientes de correlación deberán exceder el valor 0,9970 para la correlación de $\sqrt{e^3 T}$ versus e, sobre cada muestra ensayada.

- b. Para calcular los valores de superficie específica en m²/Kg., multiplíquese el área superficial en cm²/g por el factor 0,1.
- c. Aproxímense los valores en cm²/g a las 10 unidades más cercanas (m²/Kg. a la unidad más cercana).

Ejemplo: 3447 cm²/g y se redondea a 3450 cm²/g o 345 m²/kg.

6.3.2.2.5. INFORME

Para cementos portland o materiales basados en cemento portland, infórmense los resultados de una sola determinación sobre una sola capa de cemento.

Para materiales de finura muy alta, con intervalos de tiempo largos, infórmese el valor promedio de finura de dos ensayos de permeabilidad, siempre y cuando los dos no difieran más del 2% entre sí. Si difieren en más, repítase el ensayo hasta obtener dos valores que cumplan este requisito.

Nota 9: La amplia diferencia de resultados indica una necesidad de verificar el procedimiento y el aparato. Debe tenerse especial cuidado en la preparación de las capas de ensayo y deben tenerse precauciones para asegurar una conexión hermética entre la cámara de permeabilidad y el brazo del manómetro.

6.3.2.2.6. PRECISIÓN

Los resultados de dos ensayos efectuados por un mismo operador sobre una misma muestra no diferirán en más de 3,4% de su promedio.

Los resultados de dos ensayos efectuados en laboratorios distintos sobre una misma muestra no diferirán en más de 6% de su promedio.

Tabla 6.3_27. PESO ESPECÍFICO DEL MERCURIO, VISCOSIDAD DEL AIRE (N) Y v_n A ALGUNAS TEMPERATURAS

Temperatura ambiente °C	Densidad mercurio (g/cm)	Viscosidad del aire (N) (poises)	v_n
16	13,56	0,0001788	0,01337
18	13,55	0,0001798	0,01341
20	13,55	0,0001808	0,01345
22	13,54	0,0001818	0,01348
24	13,54	0,0001828	0,01352
26	13,53	0,0001837	0,01355
28	13,53	0,0001847	0,01359
30	13,52	0,0001857	0,01363
32	13,52	0,0001867	0,01366
34	13,51	0,0001876	0,01370

Tabla 6.3_28. POROSIDAD DE LA CAPA DE CEMENTO

Porosidad de la capa, e	$v(e^3)$	Porosidad de la capa, e	$v(e^3)$
0,495	0,348	0,509	0,363
0,496	0,349	0,510	0,364
0,497	0,350		
0,498	0,351		
0,499	0,352	0,525	0,380
		0,526	0,381
		0,527	0,383
0,500	0,354	0,528	0,384
0,501	0,355	0,529	0,385
0,502	0,356		
0,503	0,357		
0,504	0,358	0,530	0,386
		0,531	0,387
		0,532	0,388

0,505	0,359	0,533	0,389
0,506	0,360	0,534	0,390
0,507	0,361	0,535	0,391
0,508	0,362		

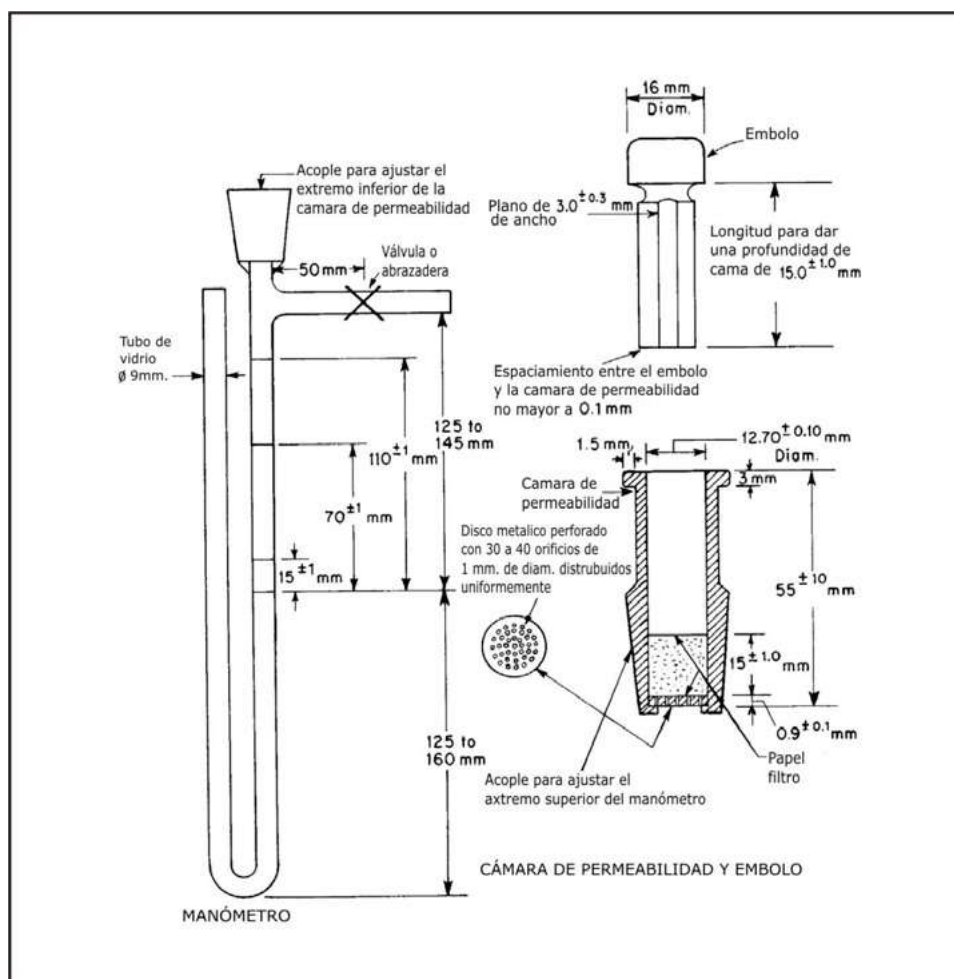


Figura 6.3_14. APARATO BLAINE

SECCION 6.3.2.3.

FINURA DEL CEMENTO PÓRTLAND MÉTODO DEL TURBIDÍMETRO (ASTM C 115 AASHTO T98)

6.3.2.3.1. OBJETO

El método de ensayo para determinar la finura del Cemento Portland por medio del turbidímetro de Wagner, expresando la finura como el área de la superficie total en cm^2/g de cemento.

6.3.2.3.2. EQUIPO Y MATERIALES

B.1. Turbidímetro de Wagner

Consiste fundamentalmente en una fuente de luz de intensidad constante, ajustada de tal manera que produce un haz de rayos paralelos que pasa a través de una muestra de cemento en suspensión y llega a una fotocelda. La corriente generada por la fotocelda se debe medir con un microamperímetro cuya lectura indica la medida de la turbidez de la suspensión.

En forma general, la turbidez es una medida del área superficial de la muestra de cemento en suspensión. El aparato consiste fundamentalmente de las partes descritas a continuación y se debe construir de acuerdo al diseño y dimensiones detalladas en la Figura 6.3_ 15. La caja puede ser de madera o de metal.

El Turbidímetro comprenderá los siguientes elementos:

a) Fuente de luz

Consiste en una lámpara eléctrica de filamento concentrado y de 3 a 6 candelas, montada rígidamente y operada por una fuente de voltaje constante, provista de un reflector parabólico montado rígidamente a la lámpara y enfocado de tal manera que los rayos paralelos pasen por el tanque de sedimentación y lleguen hasta la fotocelda. La intensidad se debe regular por medio de dos reóstatos de aproximadamente 6 y 30 ohms respectivamente, cuyas características deben permitir variar la intensidad luminosa de manera uniforme. Estos reóstatos se deben montar en serie con la lámpara y en paralelo entre sí.

b) Dispositivo absorbente de calor

La luz debe pasar por este dispositivo antes de penetrar al tanque de sedimentación con el fin de absorber el calor radiante. El dispositivo puede ser: a) cámara de agua ó b) filtro especial de vidrio absorbente de calor. La cámara consiste en una tubería de bronce de 76 mm (3") de diámetro y 102 mm (4") de longitud, con ventanas de vidrio selladas en los extremos con un material adecuado. Se debe proveer de un orificio con tapón para el llenado con agua destilada.

La cámara se debe colocar entre la fuente de luz y el tanque de sedimentación.

c) Filtro de Luz

Puede ser un filtro de vidrio, u otro aparato que reduzca la intensidad de la luz de la correspondiente a 100 microamperios hasta la de 20 a 30 microamperios. La reducción se debe hacer uniforme en toda la zona de la celda expuesta durante el ensayo. El filtro

deberá estar montado en un carrete sobre el elevador que le permitirá ser desplazado del haz de luz mediante una manija.

d) Tanque de sedimentación

El tanque de sedimentación deberá ser: a) construido con placas de vidrio de 4,8 mm a 6,4 mm (3/16" a 1/4") de espesor para formar un tanque rectangular o b) un tanque de vidrio moldeado con paredes de 4,8 mm (3/16") de espesor y superficies planas y pulidas.

Las dimensiones interiores del tanque rectangular deben ser de $50 \pm 0,8$ mm (2 ± 0.03 ") x $38 \pm 0,8$ mm (1.5 ± 0.03 ") x $203 \pm 2,5$ mm (8 ± 0.10 ") de altura.

Las paredes de 50 mm (2") deben ser paralelas con tolerancia de 0,3 mm (0,01"). El tanque debe llevar una marca que indique un volumen de 335 ml que corresponde al nivel libre del petróleo durante el ensayo. Un tanque lleno hasta la marca con Kerosene claro y colocado ante el rayo de luz del turbidímetro, debe presentar lecturas uniformes del microamperímetro, con un rango de $\pm 0,1$ μ A, para toda la parte útil del tanque.

e) Fococelda

El medio de medición de la intensidad luminosa debe ser una fococelda, conectada directamente al microamperímetro, provista de una cubierta con una ventanilla de 12,7 mm (1/2") de alto por 35 mm (1 3/8") de ancho y colocada a 25 ± 2 mm ($1 \pm 1/16$ ") de la fococelda. La cara de la fococelda debe ser paralela a las caras del tanque con tolerancia de 0,5 mm (0,02").

f) Limitador del haz luminoso

Una lámina metálica con una ventanilla de 16 mm (5/8") de alto por 38 mm (1 1/2") de ancho, como se indica en la **Figura 6.3_ 15** colocada entre la cámara de agua y el tanque de sedimentación.

g) Elevador

La fuente de luz, la cámara de agua, la fococelda, el filtro retardador y la valla protectora, se deben montar sobre una repisa móvil, la cual se puede subir o bajar por medio de tornillos para determinar la turbidez de la suspensión a cualquier profundidad. Los centros de la fuente de luz, del dispositivo absorbente de calor, de la fococelda, y los de las ventanillas del limitador de haz luminoso y de la cubierta de la fococelda deberán estar en línea recta, paralela al elevador.

El tanque de sedimentación se debe colocar sobre una base independiente al resto del aparato para evitar las vibraciones causadas por el movimiento de la repisa. Se debe tener el cuidado de que la repisa esté nivelada y el tanque normal a ella. La distancia entre el tanque y los ejes del vano en la repisa no deben variar en más de 0,4 mm (1/64") entre las posiciones 30 - 50 y 0.

El nivel del rayo de luz con relación a la superficie de suspensión se debe señalar por medio de un indicador desplazable a lo largo de la escala montada en el gabinete. El cero de la escala debe indicar la posición de la línea central de la ranura cuando el rayo de luz esté al nivel de los 335 ml. Las marcas correspondientes a 7,5; 10; 15; 20; 25 y 30 a 50, se deben localizar a partir de la marca cero de la escala, a distancias iguales a los valores dados en la **Tabla 6.3_ 29**.

La escala, cuando es comparada con una escala estándar, con precisión de 0,1 mm en todos los puntos, no deberá mostrar una desviación en cualquier punto, superior a los 2,5

mm y deberá indicar la posición a la cual la aguja deberá localizarse cuando las lecturas de turbidez para estos valores de h son tomadas. El interior del gabinete del Turbidímetro, las caras exteriores de la repisa, el reflector parabólico, la cámara de agua, la valla protectora y la fotocelda se deben pintar de negro opaco.

Tabla 6.3_29. VALORES DE H, D Y H/D² EMPLEADOS EN LA CALIBRACIÓN DEL TURBIDIMETRO

Diametro de las partículas d(μm)	Profundidad de suspension h(cm)	h/d ²
50	15	0,00600
45	15	0,00741
40	15	0,00938
35	15	0,01224
30	15	0,01667
25	13,1	0,0210
20	10	0,0250
15	6,6	0,0293
10	3,3	0,0330
7,5	2,1	0,0373

B.2. Microamperímetro

a) Tipo D'Arsonval

Debe tener una escala graduada de 0 a 50 μA que permita lecturas de 0,1 μA. Los microamperímetros nuevos deben tener una exactitud de ± 0,5% del valor de la escala total en cualquier parte de la misma y a 25°C (77°F); en microamperímetros usados, la exactitud debe ser la misma de los aparatos nuevos excepto que la exactitud correspondiente a 40 y 50 μA debe ser de ± 1% la escala total. El microamperímetro no se debe colocar sobre una superficie de hierro o acero, ni cerca a cualquier influencia magnética.

b) Microamperímetro digital

Nota 1: Un medidor con una amplitud de 199,9 μA es satisfactorio y permite al operador leer lo teórico directamente, sin dispositivos adicionales. La alta resistencia interna que tiene el microamperímetro digital, no afecta la linealidad de las lecturas a los niveles de intensidad altos encontrados en una determinación turbidimétrica de la finura.10. La fuente de energía puede ser una batería de automóvil de 6 voltios o una fuente de fuerza electromotriz constante para suministrar corriente a la lámpara.

B.3. Tamices

B.4. Agitador

Puede ser un cepillo cilíndrico de 19 mm (3/4") de diámetro y 45 mm (1 3/4") de longitud, con el extremo que se ajuste aproximadamente al contorno del fondo de un tubo de ensayo de 22 mm (7/8") de diámetro, o cualquier otro agitador que sea igualmente eficiente en la dispersión medida por la determinación de la superficie específica en una muestra patrón; el agitador debe girar aproximadamente a 3500 rpm.

B.5. Bureta para medir el tiempo

El tiempo de asentamiento para los diferentes tamaños de partícula se debe obtener en una bureta de la cual fluya kerosene.

Tabla 6.3_30. DIMENSIONES DE LA BURETA

	Dimensión (cm)	Tolerancia (cm)
Longitud del tubo mayor	38	±4
Diámetro interior del tubo mayor	1,9	±0,2
Longitud del capilar	17,5	±2,5
Dimetro del capilar	0,09	±0,005
Distancia de la parte superior de la bureta hasta la marca cero	7,0	±1

La bureta consiste en un tubo de vidrio, con un capilar fundido en el extremo inferior y con el extremo superior ensanchado para que sirva como embudo y se facilite introducir el kerosene en él. La bureta debe cumplir con las dimensiones dadas en la **Tabla 6.3_30** y sus líneas de graduación deben ser círculos. Se debe usar con la bureta un filtro hecho con malla de 45 µm.

Cuando la bureta no esté en uso se le debe colocar una tapa.

B.6. Líquido de suspensión.

Se debe usar kerosene transparente y claro. El kerosene utilizado no se debe volver a usar.

6.3.2.3.3. CALIBRACIÓN DEL TURBIDÍMETRO

Se debe calibrar de acuerdo con el siguiente procedimiento:

B.1. Calibración de la escala de la bureta.

Se debe usar kerosene con viscosidad y densidad conocida para la temperatura a la cual se hace la calibración. Se deben calcular los tiempos de flujo de la bureta que corresponden a los de sedimentación para los diferentes tamaños de partículas de acuerdo a la siguiente ecuación

$$t = \frac{1.837.000\mu}{P_1 - P_2} \times \frac{h}{d^2}$$

Donde:

- t: Tiempo de asentamiento o de flujo (s).
- µ: Viscosidad del kerosene a la temperatura de calibración (poises).
- P₁: Densidad de las partículas de cemento (g/cm³) (3,15 para el cemento portland).
- P₂: Densidad del kerosene a la temperatura de calibración (g/cm³).
- h: Profundidad de la suspensión al nivel de la luz (cm).
- d: Diámetro de la partícula (µm).

Los valores de h/d^2 están dados en la **Tabla 6.3_ 29**

Se debe llenar la bureta con kerosene a la temperatura de calibración y anotar el tiempo de iniciación en el momento en que el kerosene señala la marca cero; se señalan los niveles alcanzados por el kerosene para cada uno de los tiempos t , calculados como se indicó anteriormente, mediante líneas y números grabados sobre la bureta, que indiquen los diámetros correspondientes (**Nota 2**). La construcción y graduación de la bureta debe ser tal que a la temperatura de calibración, el tiempo requerido para que el kerosene pase por las marcas permanentes de la bureta, coincida con el tiempo calculado de sedimentación con aproximación de 1%, pero la variación permisible no debe ser menor de 1 segundo.

Nota 2: Empleando la bureta graduada, el aparato se puede usar dentro de la escala normal de la temperatura ambiente sin una corrección apreciable; el cambio en la velocidad de flujo del kerosene de la bureta queda compensado por el cambio de la viscosidad en la suspensión debido a la temperatura. El kerosene de la bureta y la suspensión, se deben mantener a la misma temperatura, con una variación de $\pm 0.5^\circ\text{C}$; generalmente se cumple con ésta condición, si se guardan en el mismo sitio el kerosene y el aparato. Se debe tener gran cuidado en usar solamente kerosene limpio, libre de cualquier elemento extraño. Con estas mismas características deberá conservarse el capilar.

- Calibración del tamiz de $45\ \mu\text{m}$ (No. 325). Debe hacerse lavando 1 g de muestra estándar No.114 (National Institute of Standards and Technology) sobre el tamiz de $45\ \mu\text{m}$ (No. 325) durante un minuto.

Se secan tamiz y residuo al horno o sobre una plancha caliente, se cepilla el residuo del tamiz y se pesa en una balanza analítica. El factor de corrección es la diferencia entre la cantidad de residuo medida y la indicada por la finura especificada para la muestra estándar (% del residuo medido).

- Determinación de la intensidad de la luz apropiada, "I_o". Se debe llevar a cabo la calibración adecuada del turbidímetro, ajustando la intensidad de la luz "I_o". Aumentando la intensidad de la luz se reduce el área superficial calculada de cualquier muestra y viceversa.

Siguiendo el procedimiento regular de ensayo, con la luz ajustada a un valor de prueba de $25\ \mu\text{A}$ a través del filtro, se hace una determinación de la superficie específica usando la muestra estándar No.114 (National Institute of Standards and Technology); si se obtiene una superficie específica mayor que la señalada por la muestra patrón, se aumenta la intensidad de la luz a través del filtro, se vuelve a agitar la suspensión y se repite el análisis.

Si se obtiene una superficie específica menor que el valor señalado, se disminuye la intensidad de la luz, se vuelve a agitar la suspensión y se repite el análisis. Remuévase el tanque y regístrese la intensidad a través del filtro.

Con nuevas suspensiones, se repite el procedimiento anterior dos veces y se anota el promedio de las tres intensidades. Al encontrar una intensidad que dé como resultado una superficie específica promedio de las tres determinaciones dentro de $\pm 15\ \text{cm}^2$ del valor asignado a la muestra patrón, se ajusta la luz a este valor promedio y se coloca un tanque con kerosene puro en la trayectoria de los rayos. Se anota la intensidad a través del filtro y del tanque de kerosene.

Este es el valor de referencia permanente para la intensidad de la luz; al principio de cada ensayo se ajustan los reóstatos hasta obtener la intensidad de referencia estando colocado el filtro y el tanque de sedimentación con kerosene puro.

6.3.2.3.4. MUESTRA DE ENSAYO

B.1. Tamaño de la muestra

La muestra de cemento para el ensayo se debe seleccionar para que las lecturas en el microamperímetro se presenten en la parte media de la escala.

- Las siguientes aproximaciones son útiles en muchos casos al seleccionar el tamaño de una muestra; una muestra de 0,3 g para un cemento que pase más de 85% por el tamiz de 45 μm (No.325); una muestra de 0,4 g para un cemento que pase entre 70% y el 85% y una muestra de 0,5 g para un cemento que pase menos del 70%.

6.3.2.3.5. PROCEDIMIENTO

1. Tamizado

Se debe pasar por el tamiz de 45 μm (No.325) una muestra de 1 g de cemento, de acuerdo con el procedimiento utilizado para la calibración. Se debe anotar el porcentaje corregido de cemento que pasa el tamiz como r (numeral 12).

Después de tres determinaciones, se debe sumergir el tamiz en HCl diluido (1:10) e inmediatamente lavarse con agua para eliminar las partículas retenidas en la malla. Después de 25 determinaciones, se debe calibrar el tamiz nuevamente.

2. Preparación de la suspensión

Se debe colocar la muestra de cemento en un tubo de ensayo con 10 a 15 ml de kerosene y 5 gotas del dispersante (ácido oléico o aceite de linaza envejecido, ver **Nota 3**). Se agita la muestra durante 1 minuto con el agitador y luego se lleva al tanque de sedimentación.

Se lava el cepillo y el tubo de ensayo con kerosene puro, haciendo girar el agitador y este kerosene se agrega a la suspensión; luego se adiciona kerosene puro hasta que el volumen total de la suspensión en el tanque sea 335 ml. Deben limpiarse las caras del tanque.

Nota 3: Si se usa ácido oléico, debe ser de grado USP. Si se usa aceite de linaza debe tener un peso específico de 0,948 a 0,953. Estos dispersantes no afectan la viscosidad del kerosene, pero pueden cambiar con el tiempo o con la exposición al calor y a la luz; por consiguiente, deben mantenerse en frascos bien tapados y de paredes oscuras. Cuando se usen frascos goteros, deben vaciarse, limpiarse, secarse y llenarse con ácido oléico fresco periódicamente. Cuando se obtenga una dispersión pobre con el ácido oléico o cuando se produzca espuma en la suspensión, motivada por posibles rastros de agua en el kerosene, se debe usar aceite de linaza envejecido como dispersante. Se debe usar el mismo agente dispersante para la calibración del aparato y la determinación de la finura.

3. Agitación de la suspensión

Antes de colocar el tanque en la trayectoria del haz luminoso, se debe agitar el contenido para lograr la suspensión uniforme. El tanque se debe cubrir con una tapa de vidrio esmerilado y se oscila 180° alrededor de un eje horizontal que pase a través del centro del tanque, aproximadamente 60 veces durante 1 minuto (no se deberá oscilar de otra forma), evitando la pérdida de kerosene (**Nota 4**). La suspensión estará entonces lista para colocarla en la posición adecuada en la trayectoria del haz luminoso.

Nota 4: La tapa del tanque deberá ajustarse de tal forma que no fluya kerosene por las paredes externas del tanque. Las caras del tanque de vidrio deberán estar limpias cuando la solución sea añadida, y deberá evitarse limpiar las caras hasta que se complete la de-

terminación.

4. Operación del Turbidímetro

Se debe colocar en la trayectoria de la luz, el filtro retardador y el tanque de sedimentación con aproximadamente 100 ml de kerosene puro y se ajusta la luz a la intensidad adecuada “I₀”; se toman lecturas a intervalos de 1 minuto hasta que se obtenga un valor constante que indique el equilibrio entre la lámpara y la fotocelda (**Nota 5**). Retírese el tanque, verifíquese y regístrese la intensidad de la lámpara.

Nota 5: Para proteger el microamperímetro, la lámpara solo se debe encender con el tanque listo para el ensayo o con el filtro retardador, para reducir la intensidad de la luz a un valor dentro de la escala del microamperímetro. Una batería recién cargada debe ponerse momentáneamente en corto circuito para reducir el voltaje a un valor constante. Si el microamperímetro continúa fluctuando, se debe comprobar si las instalaciones eléctricas están correctas.

La muestra de cemento se debe pesar de acuerdo al procedimiento establecido y se prepara una suspensión de acuerdo con el numeral correspondiente.

El indicador del nivel de la plataforma se debe colocar en una posición entre 30 y 50 μm. Se debe llenar la bureta con kerosene hasta la altura calibrada, usando éste del mismo lote y a la misma temperatura del empleado en la suspensión y se inicia la oscilación del tanque que contiene la suspensión como se indica en el tópico “agitación de la suspensión” en el numeral 3.

Se continúa la oscilación hasta que el kerosene llegue al cero de la bureta; entonces debe cesar la agitación e inmediatamente se debe colocar en posición de ensayo. La tapa se debe ajustar de manera que el kerosene no salga del tanque. Inmediatamente se debe retirar el filtro retardador de la trayectoria de la luz y cerrar la puerta del gabinete.

Se debe leer el microamperímetro con precisión de 0.1 μA, en el momento que el kerosene pase las marcas 50, 45, 40, 35 y 30 de la bureta. Luego se debe levantar la plataforma sucesivamente hasta las marcas 25, 20, 15, 10 y 7.5 de la escala indicadora, leyendo el microamperímetro cuando el kerosene pase las correspondientes marcas en la bureta.

Se vuelve a colocar el filtro en la trayectoria de la luz, se retira el tanque y se comprueba la intensidad de la lámpara. Si la indicación del microamperímetro varía en más de 0.3 μA de la lectura inicial a través del filtro solo, se repite el ensayo.

6.3.2.3.6. CÁLCULOS

5. Superficie específica

Se debe calcular mediante la siguiente ecuación:

$$S = \frac{38r(2 - \log l_{50})}{1,5 + 0,75 \log l_{7,5} + \log l_{10} + \log l_{15} + \log l_{45} - 9,5 \log l_{50}}$$

Donde:

S: Superficie específica de la muestra (cm²/g).

r: Porcentaje corregido en peso que pasa el tamiz de 45 μm (Nº 325).

$I_{7,5}; I_{10}; I_{15} \dots I_{50}$: Lectura en μA , correspondientes a partículas de diámetro 7,5; 10; 15...50 μm

Nota 6: El factor constante 38 sólo se debe aplicar a un material que tenga el peso específico del cemento portland (3,15 aprox.). Para cualquier otro material se debe calcular adecuadamente el valor correspondiente para este factor, el cual, derivando la fórmula, varía inversamente con la densidad de las partículas, en g/cm^3 .

6. Anotación de los datos.

En este numeral, se indica la forma aconsejada para Anotar los datos del ensayo del turbidímetro y el cálculo de la superficie específica.

Ejemplo

Los valores dados son solamente ilustrativos.

Identificación de la muestra	Muestra X
Pasa tamiz de 45 μm (Nº 325), r corregido	9,5 %
Filtro de referencia (únicamente a través del filtro)	
Después del ensayo	20,5 μA
Antes del ensayo	20,5 μA
Peso de la muestra ensayada	0,3 g

Tabla 6.3_31. EJEMPLO DE ANOTACIÓN DE DATOS

Tamaño de las partículas μm	I (μA)	Log. I
50	11,1	1,045 (a)
45	11,5	1,061
40	11,7	1,063
35	12,1	1,083
30	12,6	1,100
25	13,4	1,127
20	14,4	1,158
15	15,7	1,196
10	19,1	1,281
7,5	23,0	1,362 (a)

$$0,75 \times 1,362 \quad 1,022$$

$$\quad \quad \quad 1,500$$

$$\text{Suma} \quad 11,591$$

$$9,5 \times 1,045 \quad 9,928$$

$$\text{Diferencia} \quad 1,663$$

$$S = \frac{38 \times 89,5 \times 0,955}{1,663} = 1,953 \text{ cm}^2/\text{g}$$

(a) Por conveniencia en los cálculos, el $\log I_{50}$ y el $\log I_{7,5}$ se anotan en la columna separada.

7. Cálculo de la superficie específica con base en la primera lectura I50.

Este método se puede usar para determinaciones sucesivas de una misma planta, siempre que se use el mismo tamaño de muestras de ensayo y que no haya gran cambio en la finura, color y otra propiedad del cemento. Bajo estas condiciones, la superficie específica de una muestra se puede calcular con la primera lectura I50, usando la siguiente ecuación:

$$S = C(2 - \log I_{50})$$

Donde:

S: Superficie específica de la muestra (cm^2/g).

I_{50} : Lectura del microamperímetro correspondiente a una partícula de diámetro de $50\mu\text{m}$.

C: Constante de transmisión para la planta en particular.

Nota 7: La constante de la transmisión C, se puede evaluar sustituyendo en la ecuación anterior los valores conocidos de S y $(2 - \log I50)$ calculados de un ensayo completo de turbidímetro. En la ecuación anterior debe usarse el promedio de no menos de cinco valores de C.

- Si la finura de la muestra, como se determina según el numeral 8, falla en cumplir los requisitos establecidos para la finura, deberá efectuarse otro ensayo mediante el procedimiento completo de los numerales 15; 16 y 17.

6.3.2.3.7. PRECISIÓN

- Los resultados de dos ensayos efectuados por un mismo operador, sobre una misma muestra, no diferirán en más de 7,3% de su promedio.
- Los resultados de dos ensayos efectuados en laboratorios distintos, sobre una misma muestra, no diferirán en más de 11,5% de su promedio.

6.3.2.3.8. APÉNDICE - INDICACIONES COMPLEMENTARIAS

- Para investigación o propósito (u objetos) de comparación, la distribución del tamaño de las partículas puede ser tomada de un valor mínimo de $7,5 \mu\text{m}$.
- El cálculo de la distribución del tamaño de las partículas se hace de acuerdo con la Tabla 6.3_32, donde se desarrolla un ejemplo ilustrativo.

$$F = \frac{r}{\sum(d_1 \times diferencia)} = \frac{89,5}{8,476} = 10,559$$

Fracciones porcentuales= F x diferencia

Tabla 6.3_32. EJEMPLO DE CÁLCULO DE DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS

Tamaño de las partículas (μm)	I (μA)	Log. I	Diferencia	Tamaño de las partículas d ₁ (μm)
50	11,1	1,045	0,016	47,
45	11,5	1,061	0,007	42,5
40	11,7	1,063	0,015	37,5
35	12,1	1,083	0,017	32,5
30	12,6	1,100	0,027	27,5
25	13,4	1,127	0,031	22,5
20	14,4	1,158	0,038	17,5
15	15,7	1,196	0,085	12,5
10	19,1	1,281	0,081	8,8
7,5	23,0	1,362	0,639	3,8
0	(100,0)	(2.000)		

Tabla 6.3_33. EJEMPLO DE CÁLCULO DE DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS

d ₁ x Diferencia	Peso %	
	Fracción	Acumulativo
0,760	8,02	89,5
0,298	3,15	81,3
0,562	5,93	78,3
0,552	5,83	72,4
0,742	7,83	66,6
0,698	7,37	58,7
0,665	7,02	51,4
1,062	11,21	44,3
0,713	7,53	33,1
2,424	25,60	25,6
8,476		

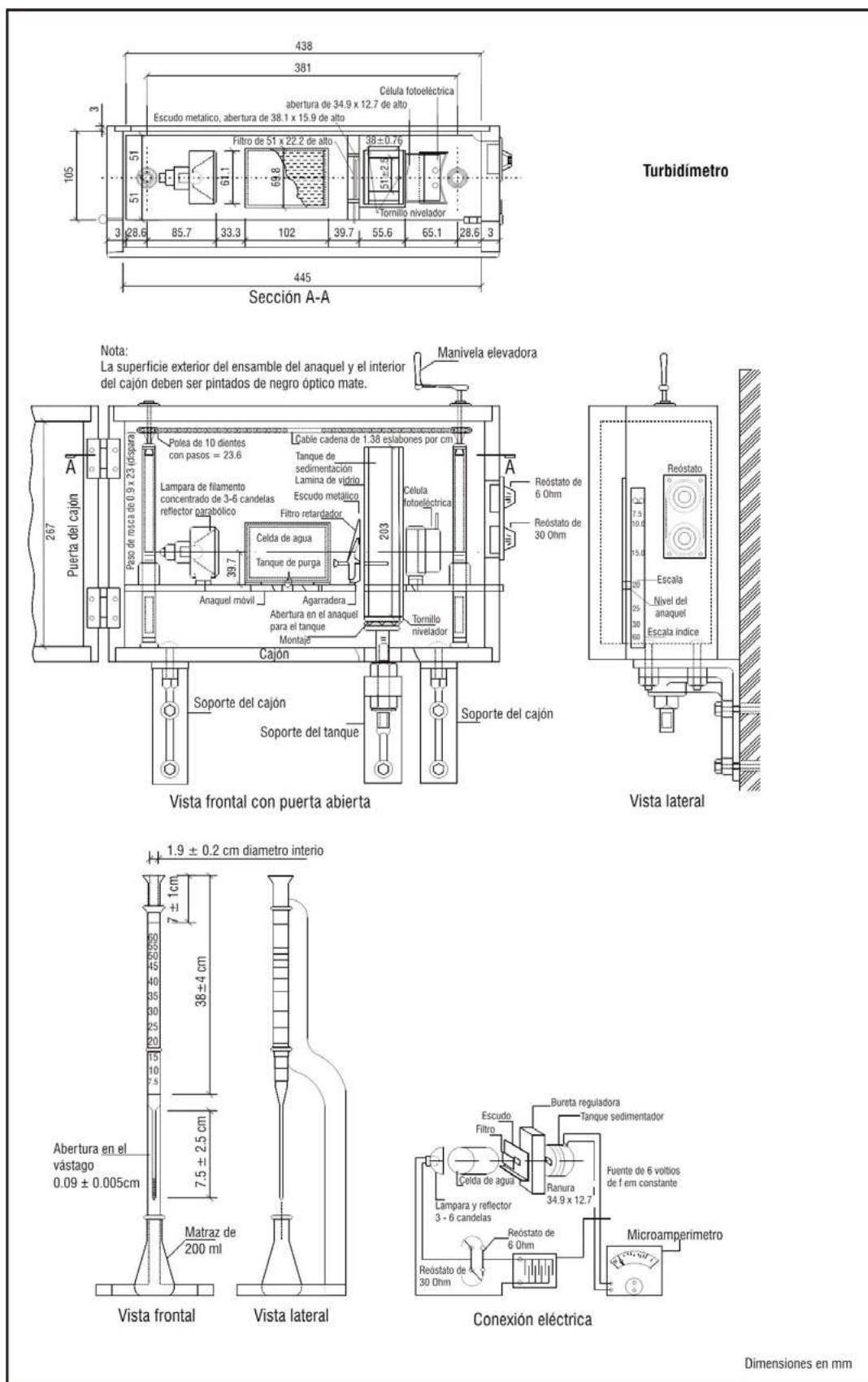


Figura 6.3_15. TURBIDÍMETRO

SECCION 6.3.2.4.

EXPANSIÓN DEL CEMENTO EN EL AUTOCLAVE (ASTMC 151 AASHTO T107)

6.3.2.4.1. OBJETO

Este método tiene por objeto establecer el método de ensayo para determinar la estabilidad del volumen de muestras de pastas de cemento puro, al ser sometidas a tratamientos en autoclave. El ensayo de expansión en el autoclave proporciona un índice de la expansión potencial demorada causada por la hidratación del CaO, o del MgO, o de ambos.

6.3.2.4.2. EQUIPO Y MATERIALES

B.1. Balanzas y pesas

La precisión de las balanzas bajo una carga de 1.000 g debe ser de ± 1 g.

B.2. Probetas graduadas

Deben tener una capacidad hasta de 250 ml. La precisión debe ser de ± 1 ml, a 20°C. La graduación de las probetas puede comenzar a partir de 5 ml.

B.3. Moldes

Pueden ser sencillos o dobles ver **Figuras 6.3_34 a 6.3_36** y deben suministrar muestras en forma de paralelepípedo, de sección cuadrada de 25,4 mm (1") de lado y longitud efectiva de 254 mm (10").

La longitud efectiva es la distancia entre los topes de medida ajustables.

Al montarse los moldes, sus partes deben hacer un ajuste hermético y deben mantenerse firmemente unidas.

Los moldes deben fabricarse de acero u otro metal duro inalterable por el cemento; sus paredes deben ser suficientemente rígidas para evitar que la muestra se deforme y sus placas terminales deben construirse de modo que alojen los topes de medida. La distancia entre las caras opuestas de los moldes debe ser de $25,4 \pm 0,8$ mm (1 ± 0.03 ") y su altura, medida separadamente para cada compartimiento, debe ser de $25,4 \pm 0,8$ mm (1 ± 0.03 ") tanto para moldes en uso como para nuevos.

B.4. Topes de medida

Deben ser de acero inoxidable adecuado y su sección debe ser circular, con diámetro de 6,4 mm ($\frac{1}{4}$ "). Deben colocarse de manera que su eje principal coincida con el eje principal de la muestra, que se introduzca dentro de ellas 16 mm y que la distancia entre sus extremos interiores, sea de $25,4 \pm 2,5$ mm (1 ± 0.1 ").

B.5. Paleta de albañil

Deben usarse palustres de acero, cuyas paletas tengan de 100 a 150 mm (4 a 6") de longitud.

B.6. Autoclave

Está constituido por una cámara de vapor de agua a alta presión con los siguientes aditamentos: una válvula de desfogue de aire y de vapor; una unidad de calefacción; un regulador automático de presión; una válvula de seguridad o un disco de seguridad y un manómetro. Tiene, además,

un receptáculo que permite introducir un termómetro para medir la temperatura del vapor saturado.

La potencia de la unidad de calefacción debe ser suficiente, para elevar la presión manométrica del vapor de agua saturado a $2,0 \pm 0,07$ MPa (295 ± 10 lb. /pulg².), en un tiempo comprendido entre 45 y 75 minutos, después de ser puesta en funcionamiento, estando el autoclave con la máxima carga, o sea con el agua y las muestras. El regulador automático de presión debe ser capaz de mantener la presión manométrica por lo menos durante 3 horas, en $2,0 \pm 0,07$ MPa (295 ± 10 lb. /pulg².), que corresponde a una temperatura de vapor saturado de $215,7 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ ($420 \pm 3^{\circ}\text{F}$).

El autoclave debe ser diseñado para permitir que, una vez suprimida la calefacción, la presión descienda a menos de 0,07 MPa (10 lb. /pulg².), en un plazo de 90 minutos. La válvula de desfogue debe permitir el escape del aire cuando comienza el calentamiento e igualmente la eliminación de cualquier presión que pueda quedar al término del período de enfriamiento.

El manómetro debe tener un tablero con diámetro de 114 mm (4½") y debe estar graduado hasta por lo menos 4,1 Mpa (600 lb. /pulg².), con subdivisiones no mayores de 0,05 MPa (5 lb. /pulg²). La precisión del manómetro no debe ser mayor de 0,02 MPa (± 3 lb. /pulg².), a la presión de trabajo de 2 MPa (295 lb. /pulg².)

- El disco de seguridad deberá ser hecho de un material con una resistencia a la tensión que sea relativamente insensible a la temperatura, en el intervalo de 20 a 216°C (68 a 420°F); y deberá reventar a una presión de 2,4 MPa (350 lb. /pulg².) $\pm 5\%$. En lugares donde no se permita el uso del disco de seguridad, el autoclave deberá disponer de una válvula de seguridad.

B.7. Comparador de longitudes

El comparador para medir cambios de longitud debe tener un diseño que reúna las siguientes condiciones:

- Medios efectivos de contacto con los topes de medida de la muestra que aseguren la reproducción de las medidas de longitud.
- Un micrómetro, graduado para hacer lecturas en unidades de 0,0025 mm (0.0001"), que tenga una precisión de 0,0025 mm (0.0001") dentro de variaciones de longitud de 0,025 mm (0.0010") y de 0,005 mm (0.0020") dentro de variaciones de longitud de 0,25 mm (0.0100").
- Suficiente margen de operación para poder medir las posibles variaciones en la longitud de las muestras.
- Facilidad para realizar las medidas rápida y cómodamente.
- Posibilidad de controlar el aparato de medida a intervalos periódicos con un patrón de referencia.

Nota 1: El patrón de referencia está constituido por una barra de acero de longitud total $295,275 \pm 1,587$ mm ($11 \frac{5}{8}'' \pm 1/16''$). Su coeficiente de dilatación lineal no debe ser mayor de $1,8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. Los extremos de la barra deben poder adaptarse a los del comparador y deben ser tratados térmicamente antes de pulirlos. En la parte media de la barra patrón, debe colocarse un tubo de caucho de 100 mm (4") de longitud y de por lo menos 3 mm (1/8") de espesor, para reducir el efecto del cambio de temperatura durante el manipuleo. La barra patrón debe tener una marca cerca a uno de sus extremos con el fin de colocarla en el comparador, siempre en la misma posición. El comparador debe controlarse con

la barra patrón antes y después de hacer las lecturas inicial y final para cada serie de muestras.

6.3.2.4.3. CONDICIONES GENERALES

La temperatura ambiente en la sala de trabajo, así como la de las herramientas y materiales, excepto la del agua, debe ser mantenida entre 20°C y 27,5°C (68 y 8°F). La temperatura del agua de mezcla debe ser de 23°C ± 1,7°C (73,4 ± 3°F). La humedad relativa del ambiente no debe ser menor de 50%.

B.1. Cámara húmeda.

Debe tener las dimensiones adecuadas para que las muestras puedan almacenarse con facilidad. Además, debe mantenerse a una temperatura de 23 ± 1,7°C (73,4 ± 3°F) y a una humedad relativa no menor de 90%

6.3.2.4.4. PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

El manómetro deberá tener una capacidad máxima de 4,1 MPa (600 lb. /pulg²). Esto es importante ya que, con una capacidad muy pequeña, solamente una pequeña longitud de arco queda para indicar presiones superiores a la presión máxima de trabajo. El operador deberá estar siempre seguro de que la manecilla del manómetro no sobrepase la máxima graduación de la escala.

A pesar de que el manómetro se encuentre calibrado y ensayado, úsese siempre el termómetro junto con él, para detectar cualquier falla del manómetro e indicar cualquier condición inusual.

6.3.2.4.5. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

B.1. Cantidad de especímenes

Normalmente debe prepararse un espécimen; pero cuando se necesite repetir un ensayo, se deben preparar tres.

B.2. Preparación de los moldes

Los moldes y los topes de medida se deben limpiar perfectamente; se arman los moldes y se recubren interiormente con una capa delgada de aceite mineral para que la muestra se pueda retirar con facilidad. Luego se colocan los topes en su sitio, cuidando que estén libres de aceite

B.3. Preparación de la pasta de cemento

Sobre una superficie pulida y no absorbente se coloca una muestra de unos 500 g en forma de cono y se le hace un hoyo en el centro. Se vierte en el hoyo una cantidad medida de agua limpia, suficiente para obtener una pasta de consistencia normal (**ver Sección 6.3.2.10**) y luego, con ayuda de la paleta de albañil, se pasa al hoyo el cemento seco que lo rodea exteriormente, empleando en esta operación 30 segundos. Durante los siguientes 30 segundos, mientras se permite la absorción del agua, el cemento que aún permanece seco en el exterior del cono, debe mezclarse suavemente usando el palustre con la pasta húmeda para reducir las pérdidas por evaporación y facilitar la completa absorción. Luego se termina la operación mezclando y amasando con las manos, continua y vigorosamente durante 90 segundos. En este último paso y en el siguiente, el operador debe usar guantes de caucho bien ajustados.

B.4.Llenado de los moldes

El llenado de los moldes debe hacerse tan pronto termina la operación anterior. Se colocan dos capas aproximadamente iguales, presionando la pasta con los dedos pulgares o índices para obtener el mejor llenado posible y cuidando de obtener una perfecta compactación alrededor de los topes de medida y a lo largo de la superficie del molde. Luego se retira la pasta sobrante pasando un palustre de bordes finos a ras del molde y, por último, se pule la superficie, deslizando suavemente el palustre.

B.5.Almacenamiento y fraguado

Inmediatamente después que termina la preparación de las muestras, se colocan los moldes en la cámara húmeda donde deben permanecer no menos de 20 horas; si las muestras se sacan de los moldes antes de 24 horas, deben colocarse de nuevo en la cámara húmeda hasta el momento de ser ensayadas

6.3.2.4.6. PROCEDIMIENTO

- a. Después de 24 horas \pm 30 minutos de iniciado el período de almacenamiento y fraguado, deben sacarse de las muestras de la cámara húmeda e inmediatamente medir su longitud, colocándolas luego en el autoclave a temperatura ambiente, de manera que todos sus lados queden expuestos a la acción del vapor. El autoclave debe contener suficiente agua a una temperatura inicial de 20 a 28°C (68 a 82°F) para mantener una atmósfera de vapor saturado durante todo el ensayo. Ordinariamente el agua debe ocupar de 7 a 10% del volumen del autoclave.
- b. Con el fin de evacuar el aire del autoclave al iniciar su calentamiento, la válvula de desfogue debe permanecer abierta hasta que comience a salir el vapor, luego se cierra ésta y se regula la calefacción del autoclave, de tal forma, que se obtenga la presión del ensayo 2 MPa (295 lb/pulg²), entre los 45 y 75 minutos siguientes al momento en que se inició la calefacción. Durante las 3 horas siguientes, la presión debe mantenerse en $2 \pm 0,07$ MPa. Al terminar ese período se suprime la calefacción y se enfría el autoclave, de manera que al cabo de 90 minutos la presión manométrica sea inferior a 0,07 MPa (10 lb/pulg²). La presión residual se elimina lentamente dejando escapar el vapor poco a poco por la válvula de desfogue, hasta alcanzar la presión atmosférica. Se abre entonces el autoclave y se colocan inmediatamente las muestras en agua que esté a más de 90°C (194°F); luego se disminuye la temperatura de manera uniforme por adición de agua fría, de modo que descienda a 23°C (74°F) en 15 minutos. Se mantiene esta temperatura por un período adicional de 15 minutos, al cabo del cual se retiran las muestras, se secan cuidadosamente y se mide nuevamente su longitud entre los extremos libres de los topes de medida.

Nota 2: Si se prefiere hacer todas las medidas a 26,5°C (80°F) se recomienda que, al retirar las muestras de la cámara húmeda, se coloquen en agua a 26,5°C (80°F) durante 15 minutos como mínimo. Luego se mide su longitud y se colocan en el autoclave. Retiradas de él y puestas en agua a más de 90°C, la temperatura de ésta debe hacerse descender en 15 minutos a 26,5°C (80°F); transcurrido un período adicional de 15 minutos (durante el cual la temperatura se mantiene constante) se retiran las muestras y se miden.

6.3.2.4.7. CÁLCULOS

- La longitud de cada muestra se mide antes y después del ensayo para determinar la diferencia, la cual se expresa en porcentaje de la longitud efectiva con aproximación de 0,01%. En caso de que haya contracción, el resultado se indica por un número negativo.

B.1.Reensayos.

Si el ensayo da un resultado desfavorable, se puede repetir el ensayo usando muestras nuevas, dentro de los 28 días siguientes al ensayo. En este caso, se deben ensayar tres muestras distintas y el promedio de los resultados obtenidos con ellas será la expansión del cemento al autoclave

6.3.2.4.8. PRECISIÓN

Operador individual: los resultados de dos ensayos efectuados por el mismo operador, sobre una misma muestra, no diferirán en más del 21% de su promedio.

Laboratorios distintos.

Los resultados de dos ensayos efectuados en laboratorios distintos, sobre una misma muestra, no diferirán en más del 47% de su promedio.

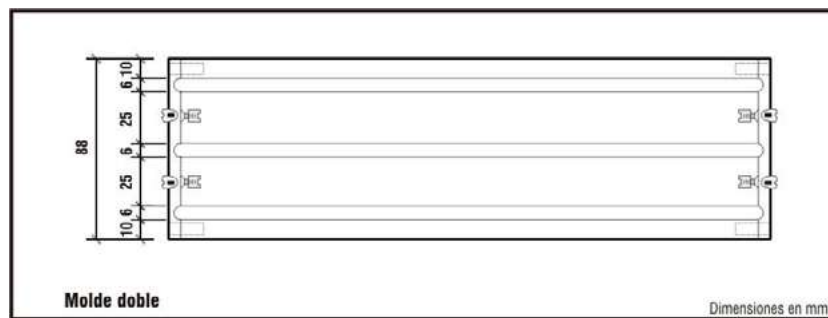


Tabla 6.3_34. MOLDE DOBLE.

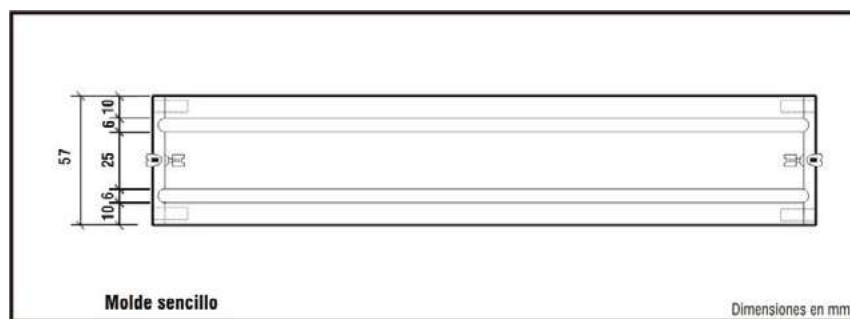


Figura 6.3_16. MOLDE SIMPLE.

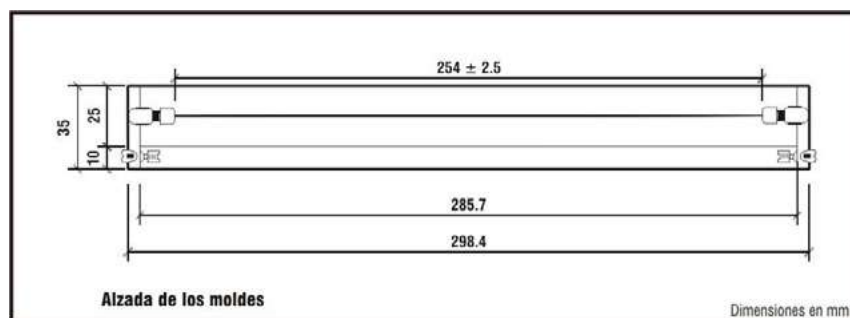


Figura 6.3_17. CALZADA DE LOS MOLDES.

SECCION 6.3.2.5.

TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO HIDRÁULICO MÉTODO DEL APARATO DE VICAT (ASTM C 191 AASHTO T131)

6.3.2.5.1. OBJETO

Este método tiene por objeto establecer el método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante el aparato de Vicat.

6.3.2.5.2. EQUIPO Y MATERIALES

1. Balanzas

Deben cumplir con los siguientes requisitos: la precisión para las balanzas en uso de baja carga de 1.000 g puede ser hasta de ± 1 g y para balanzas nuevas puede llegar hasta la mitad de dicho valor.

2. Probetas

Para medir el agua de amasado deben tener una capacidad a 20°C, de 150 a 250 ml. La precisión debe ser de ± 1 ml. Se pueden omitir las graduaciones para los primeros 5 ml en probetas de 150 ml y para los primeros 10 ml en las de 200 ml.

3. Aparato de Vicat

Debe cumplir con los requisitos establecidos en la Sección 6.3.2.10.

La escala graduada, comparada con una escala patrón con exactitud de 0.1 mm en todos los puntos, no debe indicar en ninguna parte una desviación mayor de 0.25 mm.

4. Reloj

Que permita lecturas en segundos.

5. Cámara húmeda

Debe tener las dimensiones adecuadas para que las muestras puedan ser almacenadas con facilidad. Además, debe mantenerse a una temperatura de $23 \pm 1,7^\circ\text{C}$ y a una humedad relativa no menor de 90%.

6. Mezcladora

Consta de una paleta y un recipiente. Será impulsada eléctricamente, debe ser del tipo epicíclico, que imparte a la paleta movimiento de rotación y planetario; la mezcladora tendrá mínimo dos (2) velocidades, controladas por medios mecánicos (No se aceptarán ajustes de velocidad por medio de reóstatos); la velocidad primera, o baja, girará la paleta a razón de 140 ± 5 rpm y el movimiento del planetario será aproximadamente 62 rpm. La segunda o rápida, robará la paleta a razón de 285 ± 10 rpm, con movimiento del planetario de aproximadamente 125 rpm. El motor que acciona el sistema, tendrá una potencia mínima de 125 W (1/6 hp).

Cuando la mezcladora está en posición de trabajo, la distancia entre el borde inferior de la paleta y el fondo del recipiente de mezcla, no será mayor de 2,54 mm, ni menor de 0,76 mm.

6.3.2.5.3. CONDICIONES AMBIENTALES

Son las mismas establecidas en la **Sección 6.3.2.10**.

6.3.2.5.4. PREPARACIÓN DE LA PASTA DE CEMENTO

7. Deben mezclarse 500 g de cemento con el porcentaje de agua de amasado (**Nota 1**) requerido para la consistencia normal, siguiendo el procedimiento descrito en la **Sección 6.3.2.11** “Mezcla mecánica de pastas y morteros de consistencia plástica”.

Nota 1: En los ensayos de referencia o especiales debe usarse agua destilada.

El espécimen de ensayo usado para la determinación de la consistencia normal puede ser usado para la determinación adicional del tiempo de fraguado mediante el aparato de Vicat, siguiendo el método del Numeral 8.

6.3.2.5.5. PROCEDIMIENTO

8. Moldeo de la muestra de ensayo

A la pasta preparada como se describe en el numeral 6, rápidamente debe dársele forma esférica con las manos enguantadas, y lanzarse de una mano a la otra por seis veces estando éstas a una distancia de 15 cm aproximadamente. Se toma el molde en una mano y con la otra se presiona la bola hasta llenar el molde completamente por la base mayor. Quítese el exceso en esta base con un solo movimiento de la palma de la mano. El molde debe colocarse con su base mayor sobre la placa de vidrio y el exceso de pasta que aparezca en la base menor debe retirarse pasando el palustre oblicuamente de modo que forme un ángulo pequeño con el borde superior del molde. La parte superior de la muestra debe alisarse, si es necesario, con una o dos pasadas del borde del palustre. Durante las operaciones para retirar el exceso de pasta y para alisarla, debe tenerse cuidado de no ejercer presión alguna sobre ésta. Inmediatamente después de terminado el moldeo, debe colocarse la muestra en el cuarto o cámara húmeda, de donde debe sacarse únicamente para las determinaciones del tiempo de fraguado. La muestra debe permanecer en el molde, soportada por la placa de vidrio, durante todo el período de ensayo.

9. Determinación del tiempo de fraguado

La muestra usada para determinar el tiempo de fraguado, debe mantenerse dentro de la cámara húmeda durante 30 minutos después del moldeo sin que sufra ninguna alteración. Debe determinarse la penetración de la aguja de 1 mm en ese instante y luego debe repetirse cada 15 minutos (para cementos de tipo 3 debe repetirse cada 10 minutos), hasta que se obtenga una penetración de 25 mm o menos. Para el ensayo de penetración debe hacerse descender la aguja D del vástago B, hasta que el extremo haga contacto con la superficie de la pasta de cemento.

Debe apretarse el tornillo de sujeción E y ajustarse el índice F, en el extremo superior de la escala o anotarse una lectura inicial. Se suelta el vástago rápidamente aflojando el tornillo de sujeción E y dejando que la aguja penetre durante 30 segundos, momento en el cual debe tomarse la lectura para determinar la penetración. (Si durante las primeras lecturas la pasta se mantiene blanda, el descenso del vástago, se puede hacer lentamente para evitar la deformación de la aguja de 1 mm, pero las determinaciones de penetración para el tiempo de fraguado se deben hacer aflojando el tornillo).

Las penetraciones deben estar separadas por lo menos 6 mm ($\frac{1}{4}$ ") entre sí y 10 mm ($\frac{1}{4}$ ") del borde interior del molde. Se anotan los resultados de todas las penetraciones y por interpolación debe determinarse el tiempo obtenido para una penetración de 25 mm, el cual indica el Tiempo de Fraguado.

6.3.2.5.6. PRECAUCIONES

El aparato no debe estar sometido a vibraciones durante la penetración. La aguja, de 1 mm de diámetro, debe ser recta y estar limpia, pues la acumulación de pasta en su periferia puede retardar la penetración, así como la pasta en la punta puede aumentar la misma. Esta determinación es sólo aproximada, puesto que no sólo la temperatura y la cantidad de agua de amasado influyen en el resultado, sino también la temperatura y humedad del aire.

SECCION 6.3.2.6.

TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO HIDRÁULICO MÉTODO DE LAS AGUJAS DE GILLMORE (ASTM C 266 AASHTO T154)

6.3.2.6.1. OBJETO

Este método tiene por objeto establecer el método de ensayo para determinar los tiempos de fraguado de pastas de cemento hidráulico, por medio de las agujas de Gillmore.

6.3.2.6.2. EQUIPO Y MATERIALES

B.1. Balanzas y pesas

Deben cumplir con los requisitos establecidos en la **Sección 6.3.2.5.**

B.2. Probetas

Deben cumplir con los requisitos establecidos en la **Sección 6.3.2.5.**

Aparato de Gillmore (Figura 6.3_18). Consta de los siguientes elementos:

- Un soporte con dos brazos rígidamente unidos a él, que mantiene en posición vertical los dispositivos de penetración.
- Un dispositivo de penetración inicial

Tiene un vástago móvil, con un compensador de peso y una aguja en uno de sus extremos. El conjunto debe pesar $113,5 \pm 0,5$ g ($\frac{1}{4}$ lb \pm 8 granos). El diámetro de la aguja debe ser de $2,12 \pm 0,05$ mm ($1/12 \pm 0.002$ ") y su longitud de 4,8 mm ($3/16$ ").

- Un dispositivo de penetración final

Tiene un vástago móvil, con un compensador de peso y una aguja en uno de sus extremos. El conjunto debe pesar $453,6 \pm 0,5$ g (1 lb \pm 8 granos). El diámetro de la aguja debe ser de $1,06 \pm 0,05$ mm y su longitud de 4,8 mm ($3/16$ ").

- Cámara húmeda

Debe tener las dimensiones adecuadas para que las muestras puedan almacenarse con facilidad. Además, debe mantenerse a una temperatura de $23 \pm 1,7$ °C y a una humedad relativa no menor de 90%.

6.3.2.6.3. CONDICIONES AMBIENTALES

Son las mismas establecidas en la **Sección 6.3.2.5.**

6.3.2.6.4. PROCEDIMIENTO

a. Preparación de la pasta

Se efectúa según la **Sección 6.3.2.5**.

b. Preparación de la muestra

Se extiende la pasta sobre una placa de vidrio; luego con ayuda de la paleta de albañil, se lleva la pasta desde la periferia hacia el centro, hasta formar un tronco de cono de bases paralelas, de unos 76 mm de diámetro en la base mayor y unos 13 mm de altura. Inmediatamente después se alisa la superficie con el palustre (**ver Figura 6.3_18 (a)**). La placa de vidrio debe ser cuadrada, de unos 100 mm de lado, limpia y plana.

c. Determinación de los tiempos de fraguado

El conjunto constituido por la muestra y la placa, se introduce en la cámara húmeda, hasta que las determinaciones empiecen. El método que se sigue para las penetraciones consiste en colocar la muestra debajo de los dispositivos de penetración y luego bajar éstos suavemente hasta que descansen sobre ella. Se repite el método hasta que las agujas de los dispositivos de penetración no dejen huella sobre la muestra. Los extremos de las agujas deben ser planos y perpendiculares a su eje. Entre cada determinación y la siguiente, la muestra de ensayo debe permanecer en la cámara húmeda.

Se toman como tiempo inicial y final de fraguado, los transcurridos entre el momento en que se le agrega agua al cemento y aquellos en que los dispositivos de penetración inicial y final respectivamente, no dejan huella sobre la muestra.

6.3.2.6.5. PRECAUCIONES

Como la temperatura, cantidad de agua de amasado y humedad del aire afectan el ensayo, esta determinación es sólo aproximada.



Figura 6.3_18. HORMIGÓN SOBRE PLACA DE VIDRIO

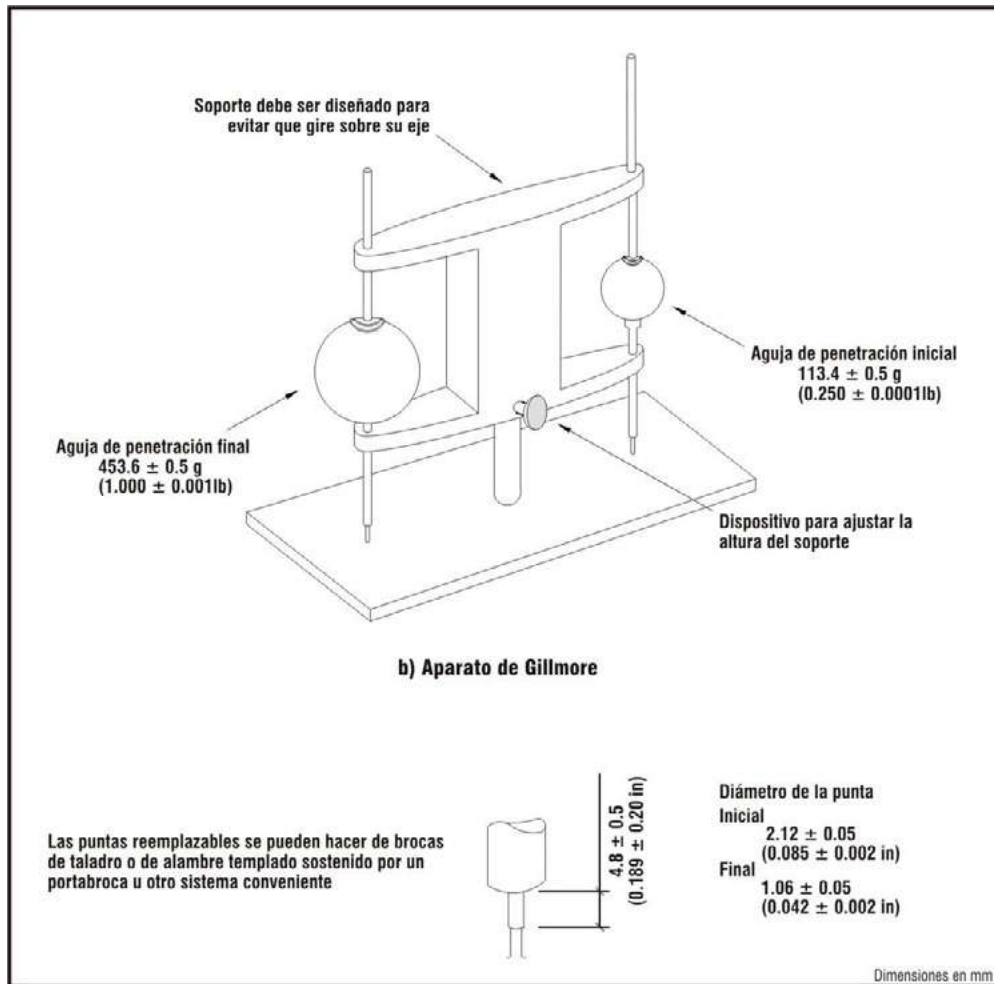


Figura 6.3_19. AGUJAS DE GILLMORE

SECCION 6.3.2.7.

PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO HIDRÁULICO (ASTMC 188 AASHTO T133)

6.3.2.7.1. OBJETO

Este método tiene por objeto establecer el método de ensayo para determinar el peso específico del cemento hidráulico. Su principal utilidad está relacionada con el diseño y control de las mezclas de hormigón.

6.3.2.7.2. EQUIPO Y MATERIALES

1. Frasco patrón de Le Chatelier

Debe cumplir con las dimensiones indicadas en la **Figura 6.3_20**. Los requisitos con respecto a las tolerancias, inscripción y longitud, espaciamiento y uniformidad de la graduación serán tenidos en cuenta en forma estricta. Deberá existir un espacio de por lo menos 10 mm entre la marca más alta de la graduación y el punto más bajo del esmerilado hecho para el tapón de vidrio. El cuello deberá ser graduado de 0 a 1 ml y de 18 a 24 ml, con separaciones de 0,1 ml. El error de cualquier capacidad indicada, no deberá ser superior a 0,05 ml.

2. El material de construcción deberá ser vidrio de la mejor calidad y libre de estrías. El vidrio debe ser químicamente resistente y tener histéresis térmica. Todo frasco debe ser templado cuidadosamente antes de ser graduado. Deberá ser de espesor suficiente para asegurar una buena resistencia a la rotura.
3. En la determinación del peso específico se debe emplear kerosene libre de agua, o nafta con una gravedad no inferior a 62° A.P.I.
4. El uso de equipo alternativo o de métodos alternos para determinar el peso específico del cemento hidráulico es permitido siempre y cuando el resultado obtenido por un operador solo, mediante el equipo o método alternativo, no difiera en más de 0,03 g/cm³ del resultado obtenido mediante este método.

6.3.2.7.3. PROCEDIMIENTO

5. Debe determinarse el peso específico del cemento tal como se recibe, a menos que se especifique otra cosa. Si la determinación del peso específico se requiere sobre una muestra sometida previamente al ensayo de la pérdida al fuego, debe ponérsela primero en ignición como se indica en el procedimiento descrito en la **Norma ASTM C 114 o AASHTO T 105**.
6. Debe llenarse el frasco con cualquiera de los líquidos especificados en el numeral 3 hasta un punto situado entre las marcas 0 y 1 ml. Se debe secar el interior del frasco por encima del nivel líquido, si es necesario, después de verterlo. Debe anotarse la primera lectura después de sumergir el frasco en el baño de agua como se indica en el numeral 7. Entonces, se debe agregar Cemento Pórtland, aproximadamente 64 g, en pequeñas cantidades, a la misma temperatura que el líquido, procurando evitar salpicaduras y observando que el cemento no se adhiera a las paredes del frasco por encima del líquido.

Puede usarse un vibrador para acelerar la adición del cemento dentro del frasco y evitar que éste se tranque en el cuello. Después de agregar todo el cemento, debe colocarse el tapón

en el frasco y hacerse girar en posición inclinada o en círculo horizontal poco a poco, hasta que no asciendan burbujas a la superficie del líquido, para sacarle el aire. Si se ha añadido una cantidad apropiada de cemento, el nivel del líquido debe estar en su posición final en cualquier punto en la serie superior de graduaciones. Debe hacerse la lectura final una vez que el frasco se haya sumergido en el baño de agua, de acuerdo con el numeral 7.

7. Debe sumergirse el frasco en un baño de agua a temperatura ambiente durante un tiempo suficiente, antes de hacer cualquiera de las lecturas, para evitar variaciones mayores de 0,2°C en la temperatura del líquido dentro del frasco. Todas las lecturas se deben comprobar hasta obtener un valor constante para asegurarse de que los contenidos del frasco han alcanzado la temperatura del baño de agua.

6.3.2.7.4. CÁLCULOS

La diferencia entre las lecturas inicial y final representa el volumen líquido desplazado por el peso de cemento usado en el ensayo. El peso específico debe calcularse como sigue:

$$\text{Peso específico} = \frac{\text{Peso de cemento (g)}}{\text{volumen desplazado (ml)}}$$

6.3.2.7.5. PRECISIÓN

8. Los resultados de dos ensayos efectuados por un mismo operador, sobre una misma muestra, no diferirán en más de 0,03 g/ml.
9. Los resultados de dos ensayos efectuados en laboratorios distintos, sobre una misma muestra, no diferirán en más de 0,10 g/ml.

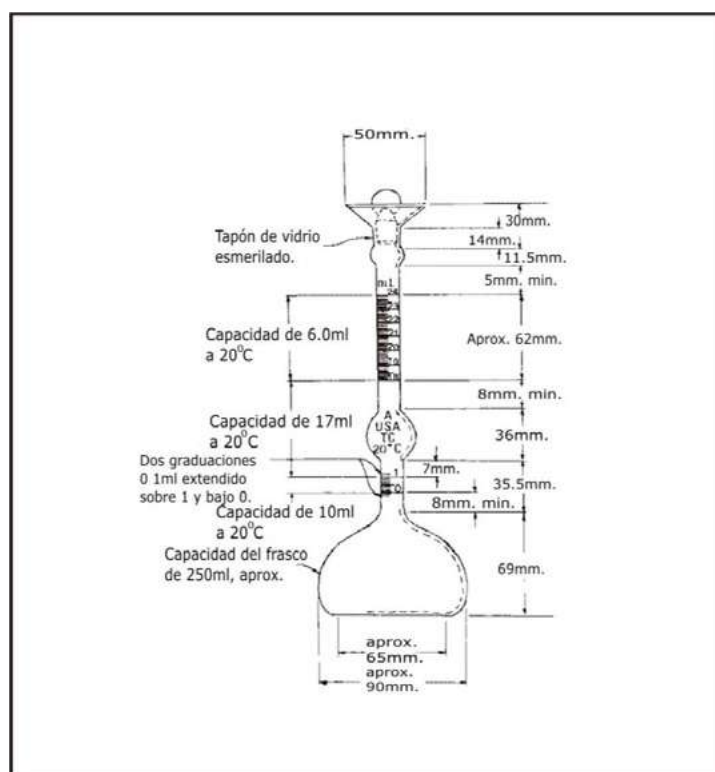


Figura 6.3_20. FRASCO PATRÓN DE LE CHATELIER

SECCION 6.3.2.8.

FALSO FRAGUADO DEL CEMENTO PORTLAND MÉTODO DE LA PASTA (ASTM C 451AASHTO T186)

6.3.2.8.1. OBJETO

Este método tiene por objeto establecer el método para determinar el falso fraguado de pastas de cemento portland.

6.3.2.8.2. DEFINICIONES

B.1.Falso fraguado

Endurecimiento rápido de una pasta de cemento portland, mortero u hormigón, sin desprendimiento apreciable de calor. La plasticidad se recupera continuando la mezcla de la pasta endurecida sin adición de agua.

B.2.Fraguado rápido o instantáneo

Endurecimiento rápido de una pasta de cemento portland, mortero u hormigón, generalmente con desarrollo de apreciable cantidad de calor. La rigidez de la pasta no se elimina, ni su plasticidad se recupera, continuando la mezcla de la pasta endurecida sin adición de agua.

6.3.2.8.3. USO Y SIGNIFICADO

El propósito de este método es determinar el estado en el cual una pasta de cemento desarrolla un falso fraguado o establecer si un cemento cumple o no con un límite especificado para el falso fraguado.

Cuando se use para determinación del cumplimiento de un límite especificado, tal límite generalmente se establece como la mínima penetración final permisible, en porcentaje, calculada según el numeral 6. Cuando se use para estimar la tendencia relativa de un cemento a manifestar falso fraguado se obtiene información adicional empleando el procedimiento de remezclado del numeral 5. Bajo ciertas condiciones, puede hacerse un juicio comparando el comportamiento en el ensayo inicial y en el de remezclado, para diferenciar una tendencia relativamente menos seria y menos persistente al falso fraguado, de otra que sea más persistente y en consecuencia más seria.

Un falso fraguado muy marcado puede causar dificultades desde el punto de vista de la colocación y manipulación. Pero esto no es probable donde el hormigón se mezcla generalmente por un tiempo largo, como ocurre en un camión mezclador, o cuando éste es remezclado antes de colocarlo o transportarlo, como sucede en operaciones de hormigón bombeado. Esto es mucho más importante, cuando el hormigón se mezcla por un tiempo corto en mezcladoras fijas y se transporta en equipos sin agitador, como sucede en algunos trabajos de pavimentación.

El falso fraguado, por sí mismo, no tiene efectos perjudiciales sobre la calidad del hormigón; sin embargo, los cementos con un falso fraguado muy marcado, generalmente requieren un poco más de agua de mezcla para producir la misma consistencia y se puede esperar como resultado, una ligera disminución de la resistencia e incremento de la contracción por secado.

Un fraguado rápido de suficiente intensidad como para causar dificultades desde el punto de

vista de la colocación y manipulación, generalmente hace que el cemento no cumpla con los requisitos de fraguado.

6.3.2.8.4. EQUIPO Y MATERIALES

B.1. Balanzas y Pesas

Deben cumplir con lo especificado en la **Sección 6.3.2.4** o **6.3.2.5**.

B.2. Probetas graduadas

Deben cumplir con lo especificado en la **Sección 6.3.2.4** o **6.3.2.5**.

B.3. Aparato de Vicat

Debe cumplir con lo especificado en la **Sección 6.3.2.10**.

B.4. Palustre

Debe ser de acero con longitud de 125 ± 25 mm (4 a 6") y de bordes rectos.

B.5. Mezcladora, recipiente y paleta

Deben cumplir con lo especificado en la **Sección 6.3.2.11**.

B.6. Agua

El agua potable es satisfactoria para los ensayos de rutina, pero debe tenerse especial cuidado en el tipo de agua cuando se trate de ciertos tipos de cementos.

6.3.2.8.5. CONDICIONES GENERALES

La temperatura ambiente, de los materiales secos, del recipiente y la paleta, del anillo tronco-cónico y de la placa de base deberán ser mantenidas entre 20 y 27.5°C (68 y 81.5°F). La temperatura del agua de mezcla deberá permanecer en el intervalo 23 ± 1.7 °C (73.4 ± 3 °F).

La humedad relativa en el laboratorio no debe ser inferior del 50%.

6.3.2.8.6. PROCEDIMIENTO

1. Preparación de la pasta de cemento

- a) Deben mezclarse 500 g de cemento con agua suficiente para obtener una pasta con una penetración inicial de 34 ± 4 mm, empleando el siguiente procedimiento:
- b) Se colocan la paleta y el recipiente, secos, en posición de trabajo en la mezcladora.
- c) Se introducen los materiales en el recipiente y se mezclan de la siguiente manera:
- d) Se vierte el agua de amasado en el recipiente.
- e) Se agrega el cemento y se deja 30 segundos para que absorba el agua.
- f) Se pone en movimiento la mezcladora a velocidad de 140 ± 5 rpm durante 30

segundos.

- g) Se detiene la mezcladora 15 segundos; durante este tiempo la pasta adherida a las paredes se coloca nuevamente en el centro del recipiente.
- h) Se pone en movimiento la mezcladora a velocidad de 285 ± 10 rpm durante 150 segundos.

2. Moldeo de la muestra de ensayo

Rápidamente debe moldearse la pasta de cemento con las manos enguantadas dándole forma esférica. Con la muestra que cabe en una mano se llena completamente por la base mayor el molde G sostenido en la otra llenando completamente el molde con la pasta. Se debe quitar el exceso en esta base con un simple movimiento de la palma de la mano. Colóquese el molde sobre su base mayor en una placa de vidrio (H); quítese el exceso de pasta de la parte superior del molde, con un solo paso del palustre, el cual debe colocarse formando un pequeño ángulo con la base superior del molde. Debe alisarse la parte superior de la muestra, si es necesario, con una o dos pasadas suaves del extremo puntiagudo del palustre, o sacudiendo suavemente el conjunto.

Durante estas operaciones, debe tenerse el cuidado de no comprimir la pasta.

3. Determinación de la penetración inicial

Colóquese la pasta confinada en el molde, el cual descansa sobre la placa de vidrio (H), bajo el vástago B de tal manera que la sonda C quede en contacto con la superficie de la pasta en un punto que esté aproximadamente a un tercio del diámetro del molde a partir de su borde; por medio del tornillo de sujeción E, fíjese el vástago en la posición indicada. Colóquese el índice móvil F, marcando el cero superior de la escala y suéltese el vástago exactamente 20 segundos después de completarse la mezcla. El aparato no debe estar sometido a vibración durante el ensayo. Se considera que la pasta tiene consistencia para penetración inicial cuando la sonda penetra 34 ± 4 mm abajo de la superficie, después de 30 segundos. Háganse pastas de prueba con diferentes porcentajes de agua hasta obtenerse esta consistencia.

Dicha consistencia corresponde a la penetración inicial. Durante los 30 segundos necesarios para la penetración inicial, debe ponerse el exceso de pasta en el recipiente; tápese éste y la paleta de mezclar.

4. Determinación de la penetración final

Después de hecha la lectura inicial, retírese la sonda de la pasta y límpiense; colóquese el molde y la placa en una nueva posición. Esta operación debe llevarse a cabo alterando lo menos posible la pasta confinada en el molde Vicat. Colóquese la sonda nuevamente en contacto con la superficie de la pasta. Transcurridos 5 minutos después de terminado el período de mezcla, repítase el proceso enunciado para penetración inicial; la lectura obtenida corresponde a la penetración final.

5. Procedimiento de remezclado

Si la penetración determinada por el procedimiento descrito, muestra endurecimiento rápido del cemento, puede obtenerse información adicional sobre su naturaleza por el siguiente ensayo: Al terminar la medida de la penetración final, trasládese inmediatamente la pasta del molde al recipiente. Póngase en marcha la mezcladora, levántese el recipiente a la posición de mezcla y remézclase a velocidad de 285 ± 10 rpm durante 1 minuto.

Llénese el molde y determínese la penetración de la misma manera como se especifica en el

numeral 4.

6.3.2.8.7. CÁLCULOS E INFORME

6. Se debe mostrar el porcentaje de penetración como sigue:

Penetración inicial..... mm

Penetración final..... mm

$$\% \text{ de penetracion} = \frac{\textit{penetracion final}}{\textit{penetracion inicial}} \times 100$$

Penetración de remezclado mm.

SECCION 6.3.2.9.

CALOR DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C 186)

6.3.2.9.1. OBJETO

Este método tiene por objeto establecer el método para determinar el calor de hidratación del cemento hidráulico.

6.3.2.9.2. DEFINICIONES

Calor de hidratación. Diferencia entre el calor de disolución del cemento anhidro en condiciones determinadas y el calor de disolución del mismo parcialmente hidratado a 7 y 28 días, en las mismas condiciones de ensayo.

6.3.2.9.3. EQUIPO

1. Calorímetro

Consiste como se muestra en la Figura 6.3_ 21, en un vaso Dewar (vaso de boca ancha para vacío) de 500 ml de capacidad aproximadamente, provisto de un tapón de corcho, que se coloca en un recipiente adecuado para protegerlo de las variaciones de temperatura. El vaso se reviste interiormente con una película de material resistente al ácido fluorhídrico, tal como una resina fenólica o cera virgen o un forro plástico.

Este revestimiento debe conservarse intacto y libre de grietas. El calorímetro debe cumplir la condición, que al llenar el vaso Dewar con 425 g del ácido especificado en el numeral 28, taponarlo y dejarlo en reposo durante 30 minutos, la temperatura del ácido no debe descender más de 0.001°C por minuto y por grado centígrado de diferencia con la temperatura del laboratorio donde se realiza el ensayo. La temperatura para esta verificación deberá aproximarse a las temperaturas iniciales que se presentan cuando se hace la determinación.

2. Aislante

El aislante deberá ser hecho de lámina de algodón o de material similar, el cual deberá tener por lo menos 25 mm (1") de espesor y deberá rodear el vaso en sus paredes y fondo, pero permitiendo el fácil manejo del vaso.

3. Termómetros diferencial y de referencia

El termómetro diferencial debe ser del tipo Beckmann, graduado por lo menos cada 0.01°C y debe medir como mínimo, un intervalo de 6°C. El límite superior del termómetro debe ajustarse a una temperatura aproximadamente igual a la del laboratorio. La parte del termómetro que queda dentro del calorímetro se debe proteger con una película resistente al ácido fluorhídrico, análoga a la descrita en el numeral 1. El termómetro debe estar equipado con lupas que permitan leer las temperaturas con precisión.

El cero del termómetro Beckmann deberá ser determinado sumergiéndolo en un líquido y posteriormente comparándolo con el termómetro de referencia.

4. Embudo

Se usa para verter la muestra en el calorímetro y debe ser de vidrio o de material plástico. Su vástago debe tener una longitud de unos 80 mm (3") y un diámetro interior no menor de 6 mm (¼").

5. Dispositivo de agitación

El agitador debe ser de plástico inerte o de vidrio; en este último caso, la parte que queda dentro del líquido se debe proteger con resina fenólica, cera virgen o con cualquier material resistente al ataque del ácido fluorhídrico. La longitud debe ser tal, que su extremo llegue hasta 10 ó 20 mm del fondo del vaso. El agitador debe ser movido por un motor adecuado, provisto de los engranajes necesarios para que la velocidad de agitación sea constante y esté comprendida entre 350 y 700 rpm.

Nota 1: La Norma ASTM C 186 recomienda el agitador de hélices mostrado en la Figura 6.3_22, hecho de polietileno, con un diámetro de hélices de 34 mm (1 3/8"), diámetro del eje de 6 mm (¼") y longitud del eje 457 mm (18"). Este agitador cumple una doble función: mantener una temperatura uniforme a través del líquido y proporcionar suficiente agitación para mantener los sólidos en suspensión en la mezcla de ácido.

Debido a que un agitador capaz de mantener los sólidos en suspensión genera considerable calor en el calorímetro, es importante que la velocidad del agitador, y por lo tanto la tasa de generación de calor, se mantenga constante. Por ello, es indispensable utilizar un motor sincrónico y un regulador de velocidad junto al agitador.

6. Batidora

Debe ser mecánica, capaz de mezclar íntimamente el agua y el cemento hasta producir una pasta uniforme.

7. Cámara con temperatura constante

Debe tener dispositivos adecuados para conservar la temperatura en $23 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$ ($73.4 \pm 3^{\circ}\text{F}$) y suficiente espacio para almacenar las muestras.

8. Mortero

Debe tener 200 mm (8") de diámetro aproximadamente; se emplea para pulverizar las muestras parcialmente hidratadas.

9. Tubos de vidrio o plástico

Deben tener una longitud de 100 mm (3.9") aproximadamente, un diámetro de unos 20 mm (0.8") y estar provistos de sus correspondientes tapones de corcho. Se utilizan para guardar las muestras de cemento parcialmente hidratadas cuyo calor de disolución a los 7 y 28 días va a determinarse.

10. Horno

Debe mantener una temperatura entre 100 y 110°C.

11. Cronómetro

12. Tamices

Se utilizan los tamices 150 μm (No.100) y 850 μm (No.20).

13. Crisoles

Deben ser de platino, tener unos 30 ml de capacidad y estar provistos de tapas. Se utilizan para determinar las pérdidas por calcinación.

14. Horno o mufla

Debe mantener una temperatura entre 900 y 950°C.

15. Balanza analítica

La balanza, lo mismo que las pesas, deben cumplir con los requisitos exigidos por las normas de ensayos químicos del cemento portland (ASTM C 114). Se utiliza para pesar las muestras antes de introducirlas al calorímetro y para determinar las pérdidas por calcinación.

16. Balanza

Debe estar dentro de una caja de vidrio, tener una capacidad de 1 kg y pesar con una precisión de 0.05 g. Se utiliza para pesar el ácido que se vierte al calorímetro.

17. Frascos pesasustancias

6.3.2.9.4. REACTIVOS

18. Óxido de zinc

Debe ser químicamente puro y someterse al tratamiento siguiente: en un crisol de porcelana se calcinan unos 50 g durante 1 hora, entre 900 y 950°C y se dejan enfriar en un desecador.

Una vez frío el óxido de zinc se pulveriza hasta que pase íntegramente por el tamiz 150 µm (No.100) y en estas condiciones se conserva en el desecador. Inmediatamente antes de iniciar la determinación de la capacidad calorífica del sistema, 7 g de óxido de zinc así preparados, se calcinan (entre 900°C - 950°C) durante 5 minutos, se enfrían hasta temperatura ambiente en un desecador y se pesan para su introducción al calorímetro.

19. Ácido fluorhídrico

Se utiliza en solución al 48%. (Peso específico 1.15)

20. Ácido nítrico

Debe ser 2 N y debe prepararse en bastante cantidad, puesto que cada vez que se utiliza una nueva preparación de ácido, debe determinarse la capacidad calorífica del sistema.

Opcionalmente, se pueden tomar 127 ml de ácido nítrico concentrado (1.421 de peso específico), diluyéndolos hasta completar un litro de solución.

21. Parafina, o una cera apropiada para sellar los tubos de vidrio o plásticos.

6.3.2.9.5. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD CALORÍFICA DEL SISTEMA

El método para determinar la capacidad calorífica del sistema, o sea el calor necesario para elevar la temperatura del calorímetro y su contenido en 1°C, mediante la disolución de 7 g de óxido de zinc calcinado en una mezcla de los ácidos especificados, es el siguiente:

22. Se vierten unos 400 g de ácido nítrico 2 N, enfriado a la temperatura indicada por el límite inferior del termómetro Beckmann, (que ordinariamente es de 4 a 5°C por debajo de la del laboratorio) dentro del vaso Dewar. Se pesan 8 ml de ácido fluorhídrico al 48% y se vierten dentro del vaso. Se añade luego suficiente ácido nítrico 2 N, hasta completar un peso total de mezcla de 425 g. Se coloca el calorímetro en posición de trabajo y se agita la mezcla mediante el dispositivo de agitación, durante todo el ensayo.

Debe tenerse cuidado de que el dispositivo de agitación no golpee el termómetro, el vaso ni el tapón.

El extremo del vástago del embudo debe quedar unos 6 mm ($\frac{1}{4}$ ") por debajo de la cara inferior del tapón y por lo menos 12 mm ($\frac{1}{2}$ ") por encima del nivel del líquido. La parte superior del bulbo del termómetro debe quedar por lo menos 38 mm ($1\frac{1}{2}$ ") por debajo del líquido y debe ser colocada a la misma profundidad en todas las determinaciones.

Después de un período inicial de 20 minutos de mezclado, que permite que la temperatura del sistema sea uniforme, se lee la temperatura ambiente con aproximación de 0.1°C y la temperatura del ácido con aproximación de 0.001°C; se empieza a contar el tiempo e inmediatamente se introduce por el embudo, a una velocidad uniforme, el óxido de zinc preparado según el numeral 18. La temperatura de éste al verterlo en el vaso, se considera igual a la del laboratorio. Se debe tomar de 1 a 2 minutos en verter el óxido de zinc. Las porciones de éste que queden adheridas a las paredes del embudo, se deben empujar al calorímetro con un cepillo apropiado.

23. Se lee la temperatura, a los 20 y a los 40 minutos después de iniciar la introducción del óxido al calorímetro, con una aproximación de 0.001°C. En los primeros 20 minutos se obtiene cambio de temperatura correspondiente al período de disolución. El segundo período de 20 minutos, sirve para hallar los posibles cambios de temperatura del sistema. La diferencia entre la lectura al final del primer período y la correspondiente al final del segundo período, es la corrección que debe ser sumada o restada al cambio de temperatura del primer período, ya sea que la temperatura del calorímetro suba o baje, durante el segundo período.

24. El cálculo del cambio de temperatura se hace como sigue:

$$R_0 = t_{20} - t_0$$

$$R = R_0 - (t_{40} - t_{20})$$

Donde:

R_0 : Cambio de temperatura del periodo (°C)

t_{20} : Temperatura del calorímetro al final del primer periodo de disolución.

t_0 : Temperatura del calorímetro al introducir el óxido de zinc (°C).

R: Cambio de temperatura corregida (°C).

t_{40} : Temperatura del calorímetro al final del segundo periodo (°C).

25. La capacidad calorífica del sistema se calcula con la siguiente fórmula:

$$C = P \frac{2561,1 + 0,1 (30 - t) + 0,12(T - t)}{R}$$

Donde:

C: Capacidad calorífica del sistema (cal/°C).

- P: Peso del óxido de zinc (g).
- t: Temperatura final del primer periodo en °C (t_{20} más la temperatura (°C) a la cual el termómetro BECKMANN marca 0)
- T: Temperatura del óxido de zinc.
- R: Cambio de temperatura corregida (°C)

26. Si al abrir el calorímetro se encuentra una cantidad apreciable de óxido de zinc adherido al extremo del embudo o en el tapón, el ensayo se debe repetir.

27. Se debe volver a determinar la capacidad calorífica del sistema en los siguientes casos:

- Cuando se altera la posición del termómetro dentro del tapón de corcho.
- Cuando se aplica una nueva capa protectora al termómetro, al agitador o al vaso.
- Cuando se ponen en servicio un termómetro, un agitador o un vaso nuevos.
- Cuando se usa una nueva preparación de ácido.
- Cuando el operador lo considere necesario por alguna otra causa.

6.3.2.9.6. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CALOR DE HIDRATACIÓN

28. Antes del mezclado, la temperatura del agua y la del cemento deben ser de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3^\circ\text{F}$). Con una espátula, se mezclan 150 g de cemento y 60 ml de agua destilada y se agita la mezcla en la batidora por 5 minutos. Una vez preparada la mezcla, se colocan cantidades aproximadamente iguales de pasta en cuatro o más tubos de vidrio, llenándolos hasta unos 13 mm ($\frac{1}{2}$ " del borde. Inmediatamente después de llenados los tubos, se cierran con tapones de corcho; si es necesario, séllese con parafina. Los tubos se guardan luego en posición vertical dentro de la cámara a una temperatura constante de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ hasta el momento del ensayo.

29. Preparación de la pasta parcialmente hidratada para el ensayo. Después del tiempo especificado para el ensayo, se saca uno de los tubos que estaba en la cámara y, mientras transcurren los 20 minutos del período inicial del mezclado en el calorímetro, se rompe el tubo para sacar la muestra y rápidamente se pulveriza en el mortero hasta que pase totalmente por el tamiz de $850 \mu\text{m}$ (No.20); enseguida, se pasa a un frasco pesa sustancias bien tapado. Las muestras se deben exponer al aire el menor tiempo posible, especialmente las de 7 días, para reducir a un mínimo la acción del CO_2 e impedir las pérdidas por evaporación.

30. Determinación del calor de disolución del cemento seco

Se determina en la misma forma que la capacidad calorífica del sistema, salvo que se usan 3 g de cemento, pesados con una precisión de 0,001 g, en lugar de óxido de zinc (ver punto "Procedimiento para la determinación de la capacidad calorífica del sistema").

Los resultados se deben calcular y expresar con base en el peso del cemento calcinado. Esta determinación debe hacerse inmediatamente antes de la correspondiente a la muestra parcialmente hidratada a los 7 días.

31. Determinación del calor de disolución del cemento parcialmente hidratado. Se determina en la misma forma que el del cemento seco, salvo que se usan $4,18 \pm 0,05$ g de muestra,

pesados con una precisión de 0,001 g. Se deben calcular los resultados con base en el peso del cemento calcinado.

32. Determinación de las pérdidas por calcinación

Cuando se pesa la muestra que va a introducirse dentro del calorímetro, se debe tomar otra aproximadamente igual, para determinar las pérdidas por calcinación. En el caso del cemento seco, se coloca la muestra en un crisol y se pone en la mufla durante 90 minutos por lo menos, a una temperatura entre 900 a 950°C. Luego se coloca el crisol en un desecador, se deja enfriar a la temperatura del laboratorio e inmediatamente se pesa.

En el caso del cemento parcialmente hidratado, la muestra pesada, se seca en un horno a una temperatura entre 100 a 110°C por 1 hora y luego se coloca en la mufla a 900 – 950°C durante toda la noche o sobre un mechero de gas por un tiempo mayores 5 horas.

El peso del cemento introducido al calorímetro se expresa con base en el peso después de calcinado, por medio de la siguiente fórmula:

$$W_i = \frac{W_2}{W_1} W$$

Donde:

W_i = Peso del cemento introducido al calorímetro, sobre la base del peso después de calcinado, g.

W_2 = Peso de la muestra calcinada, g.

W_1 = Peso de la muestra antes de la calcinación, g.

W = Peso del cemento introducido al calorímetro, g.

6.3.2.9.7. CÁLCULOS

B.1. Calor de disolución del cemento seco

Se calcula el aumento corregido de temperatura debido a la disolución del cemento, según el numeral 30. Si la temperatura de la solución dentro del calorímetro al final del primer período, es distinta de la temperatura de la solución al ser introducido el cemento, debe corregirse de la siguiente manera: como el cemento seco tiene un calor específico aproximado de 0,2 cal/g.°C de cemento calcinado, si la temperatura al final del primer período excede la de la muestra de cemento en el momento de ser introducida al calorímetro, se añade el calor de disolución, 0,2 cal por gramo y por grado centígrado de diferencia entre las dos temperaturas.

El calor de disolución se calcula como sigue:

$$H_i = \frac{R \times C}{W_i} - 0,2(T - t_d)$$

Donde:

H_i = Calor de disolución, en cal/g de cemento seco.

R = Cambio de temperatura corregido, en °C.

C = Capacidad calorífica del sistema en cal/°C.

W_i = Peso del cemento introducido al calorímetro con base en el peso calcinado, en g.

T = Temperatura del cemento cuando fue introducido al calorímetro, en °C (temperatura del laboratorio).

t_d = Temperatura del calorímetro al final del primer período, sobre cemento seco, en °C (t_{20} más la temperatura a la cual se puso en cero el termómetro Beckmann).

B.2. Calor de disolución del cemento parcialmente hidratado

Se calcula en la forma indicada en el numeral 31, con las siguientes correcciones:

Como en la determinación del calor de disolución del cemento parcialmente hidratado, un aumento de 1°C en la temperatura al final del primer período causa en dicho calor una disminución aproximada de 0,3 cal/g, si la mencionada temperatura excede la del final del primer período en la determinación del calor de disolución del cemento seco, debe agregarse al valor obtenido para la muestra parcialmente hidratada, 0,3 cal/g por cada °C de diferencia.

Debe corregirse también el calor de disolución, si la temperatura dentro del calorímetro al final del primer período, es distinta a la de la solución al ser introducido el cemento. Esta corrección debe hacerse en la siguiente forma: Como el cemento parcialmente hidratado tiene un calor específico de unos 0.4 cal/g, si la temperatura al final del primer período excede a la de la muestra en el momento de ser introducida al calorímetro, se añaden al calor de disolución 0.4 cal/g por cada °C de diferencia entre las dos temperaturas. El calor de disolución se calcula como sigue:

$$H_2 = \frac{R \times C}{W_i} - 0,4(T - t_h) - 0,3(t_d - t_h)$$

Donde:

H_2 = Calor de disolución del cemento parcialmente hidratado, en cal/g.

t_h = Temperatura del calorímetro al final del primer período, sobre cemento parcialmente hidratado, en °C (t_{20} más la temperatura a la cual se puso en cero el termómetro Beckmann).

R, C, W_i , T y t_d = El mismo significado que el numeral 32

B.3. Calor de hidratación

Debe expresarse con base en 25°C. Una temperatura mayor de 25°C eleva el calor de hidratación aproximadamente en 0.1 calorías por °C y por gramo de cemento calcinado. Por ejemplo, si la temperatura final es de 27°C, deben sustraerse 0.2 calorías del calor de hidratación observado, con el objeto de referirlo a 25°C. En los casos extremos, deben hacerse correcciones adecuadas para determinar la temperatura final del calorímetro. El calor de hidratación se calcula con una aproximación de 1 caloría, como sigue:

$$H_h = H_2 - 0,1 (t_h - 25)$$

Siendo:

H_h = Calor de hidratación, del cemento calcinado en cal/g.

H_1 = Calor de disolución del cemento seco

H_2 = Calor de disolución del cemento parcialmente hidratado.

t_h = El mismo significado que en el numeral 33.

6.3.2.9.8. REENSAYOS

En caso de que no se cumplan los requisitos exigidos para determinar el calor de disolución a los 28 días, se puede ensayar una muestra de reserva de más de 28 días, añadiendo 0.5 cal/g por día de exceso al calor de disolución observado. El período en el cual esta corrección puede ser hecha está limitado a 4 días. En caso de que la falla se presente en la determinación a los 7 días, debe hacerse el ensayo de nuevo, incluyendo el mezclado de la pasta. No es necesario determinar nuevamente el calor de disolución del cemento seco en reensayos.

6.3.2.9.9. PRECISIÓN

Los resultados de los ensayos efectuados por un mismo operador, sobre una misma muestra, no diferirán en más de 8 cal/g para el calor de disolución, ni más de 10 cal/g para el calor de hidratación.

Los resultados de dos ensayos efectuados por laboratorios distintos, sobre una misma muestra, no diferirán en más de 13 cal/g para el calor de disolución, ni más de 11 cal/g para el calor de hidratación.

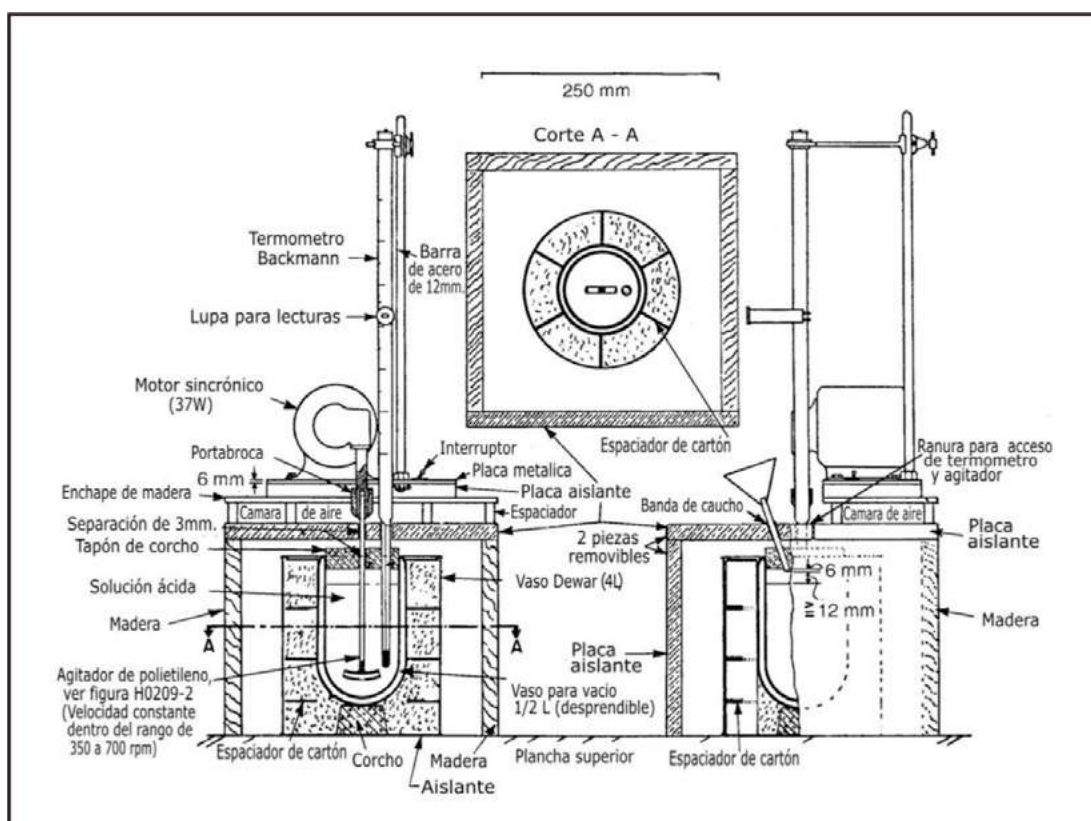


Figura 6.3_21. CALORÍMETRO

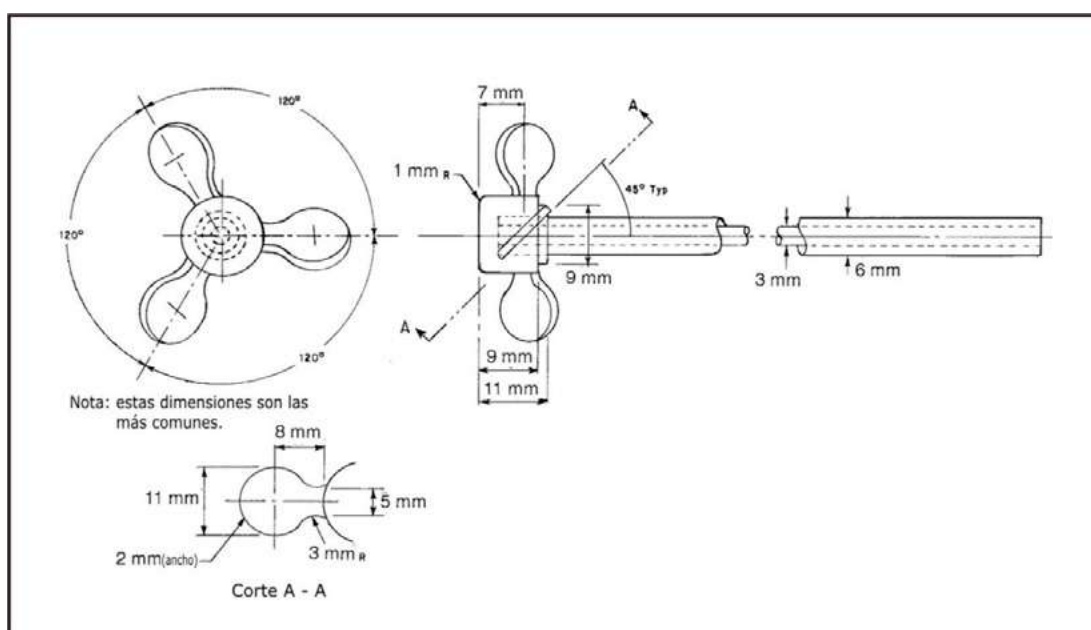


Figura 6.3_22. AGITADOR

SECCION 6.3.2.10. | CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO (ASTM C 187AASHTO T129)

6.3.2.10.1. OBJETO

Este método tiene por objeto establecer el método de ensayo para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico mediante el aparato de Vicat o determinar la cantidad de agua requerida para preparar pastas de cemento hidráulico, de consistencia normal, para su posterior ensayo.

6.3.2.10.2. EQUIPO

B.1. Balanzas y pesas

Deben cumplir con los requisitos establecidos en la Sección 6.3.2.4 o **6.3.2.5**.

B.2. Probetas

Deben cumplir con los requisitos establecidos en la **Sección 6.3.2.4** o **6.3.2.5**.

B.3. Aparato de Vicat

El aparato de Vicat consiste en un soporte (A) que tiene un vástago móvil (B), que pesa 300 g. Uno de sus extremos (C) el de sondeo, tiene 10 mm de diámetro y una longitud mínima de 50 mm; el otro extremo tiene una aguja (D) de 1 mm de diámetro y 50 mm de longitud. El vástago (B) es reversible; puede sostenerse en la posición deseada por medio de un tornillo (E) y tiene un índice ajustable (F) que se mueve sobre una escala graduada en milímetros, rígidamente unida al soporte. **(Véase Figura 6.3_ 23)**

El aparato de Vicat también puede estar construido con vástago no reversible, pero en este caso debe tener un dispositivo de compensación de su peso que permita cambiar el émbolo por la aguja. Las secciones terminales de la aguja y del émbolo deben ser planas y perpendiculares al eje del vástago.

El molde en el cual se coloca la pasta debe ser de forma tronco-cónica y su base mayor debe reposar sobre una placa de vidrio. El molde debe ser de material no absorbente que resista física y químicamente al ataque de las pastas de cemento. El aparato de Vicat y el molde deben cumplir con los siguientes requisitos:

Peso del émbolo	300 ± 0,5 g	(0.661 lb ± 8 gramos)
Diámetro del émbolo	10 ± 0,05 mm	(0.394 ± 0.002")
Diámetro de la aguja	1 ± 0,05 mm	(0.039 ± 0.002")
Diámetro interior de la base mayor del molde	70 ± 3 mm	(2.75 ± 0.12")
Diámetro interior de la base menor del molde	60 ± 3 mm	(2.36 ± 0.12")
Altura del molde	40 ± 1 mm	(1.57 ± 0.04")

La escala graduada, comparada con una escala patrón de exactitud de ± 0,1 mm en todos sus puntos, no debe indicar en ninguna parte una desviación mayor de 0,25 mm.

6.3.2.10.3. CONDICIONES AMBIENTALES

La temperatura ambiente en la sala de trabajo, así como la de las herramientas y materiales, excepto el agua, debe mantenerse entre 20 y 27.5°C. La temperatura del agua de mezcla debe ser de $23 \pm 1.7^\circ\text{C}$. La humedad relativa en el laboratorio no debe ser menor de 50%.

6.3.2.10.4. PROCEDIMIENTO

a. Preparación de la pasta de cemento

Sobre una superficie pulida y no absorbente se coloca una muestra de 500 g en forma de cono y se le hace un hoyo en el centro. Se vierte en el hoyo una cantidad medida de agua destilada y luego, con ayuda del palustre, se pasa al hoyo el cemento seco que lo rodea exteriormente, empleando en esta operación 30 segundos. Durante los siguientes 30 segundos, mientras se permite la absorción del agua, el cemento que aún permanece seco en el exterior del cono debe mezclarse suavemente mediante el palustre con la pasta húmeda para reducir las pérdidas por evaporación y facilitar la completa absorción. Luego se termina la operación mezclando y amasando con las manos, continua y vigorosamente durante 90 segundos. En este último paso y en el siguiente, el operador debe usar guantes de caucho bien ajustados.

De forma opcional se puede seguir el procedimiento descrito en la **Sección 6.3.2.11** "Mezcla mecánica de pastas y morteros de consistencia plástica".

b. Llenado de moldes

La pasta de cemento preparada se moldea con las manos, dándole forma esférica y se lanza 6 veces de una mano a otra a través de una distancia de unos 150 mm (6"). Con la muestra que permanece en una mano se llena completamente por la base mayor el molde, sostenido en la otra, quitando el exceso en esta base con un solo movimiento de la palma de la mano. Se coloca la placa de vidrio (H) sobre la base mayor, se voltea el conjunto y con ayuda de un palustre se quita el exceso en la base menor. Finalmente, el conjunto se sacude suavemente. Durante estas operaciones se debe tener cuidado de no comprimir la muestra.

c. Determinación de la consistencia normal

El conjunto constituido por la placa, la pasta y el molde se lleva al aparato y se centra debajo del vástago (B), se hace descender el mismo hasta que el extremo del émbolo (C) haga contacto con la superficie de la pasta y se fija en esta posición por medio del tornillo (E). Se lee la posición inicial del índice (F) en la escala o se desplaza el índice hasta que coincida con el cero superior; 30 segundos después de terminada la mezcla, se suelta el vástago cuidando que el aparato no esté sometido a ninguna vibración durante el ensayo. Se considera que la pasta tiene consistencia normal cuando el émbolo penetra 10 ± 1 mm, 30 segundos después de haber sido soltado. Si no se obtiene la consistencia normal en el primer ensayo, debe repetirse toda la operación, variando la cantidad de agua, hasta obtenerla; cada vez hay que emplear cemento nuevo.

6.3.2.10.5. CÁLCULOS

La cantidad de agua requerida para obtener una pasta de consistencia normal debe calcularse como un porcentaje en peso del cemento seco, con aproximación del 0.1% y reportarse con aproximación del 0.5%.

6.3.2.10.6. PRECISIÓN

Los resultados de dos ensayos obtenidos ya sea por un mismo operador o por distintos laboratorios, no diferirán en más de 1,10%.

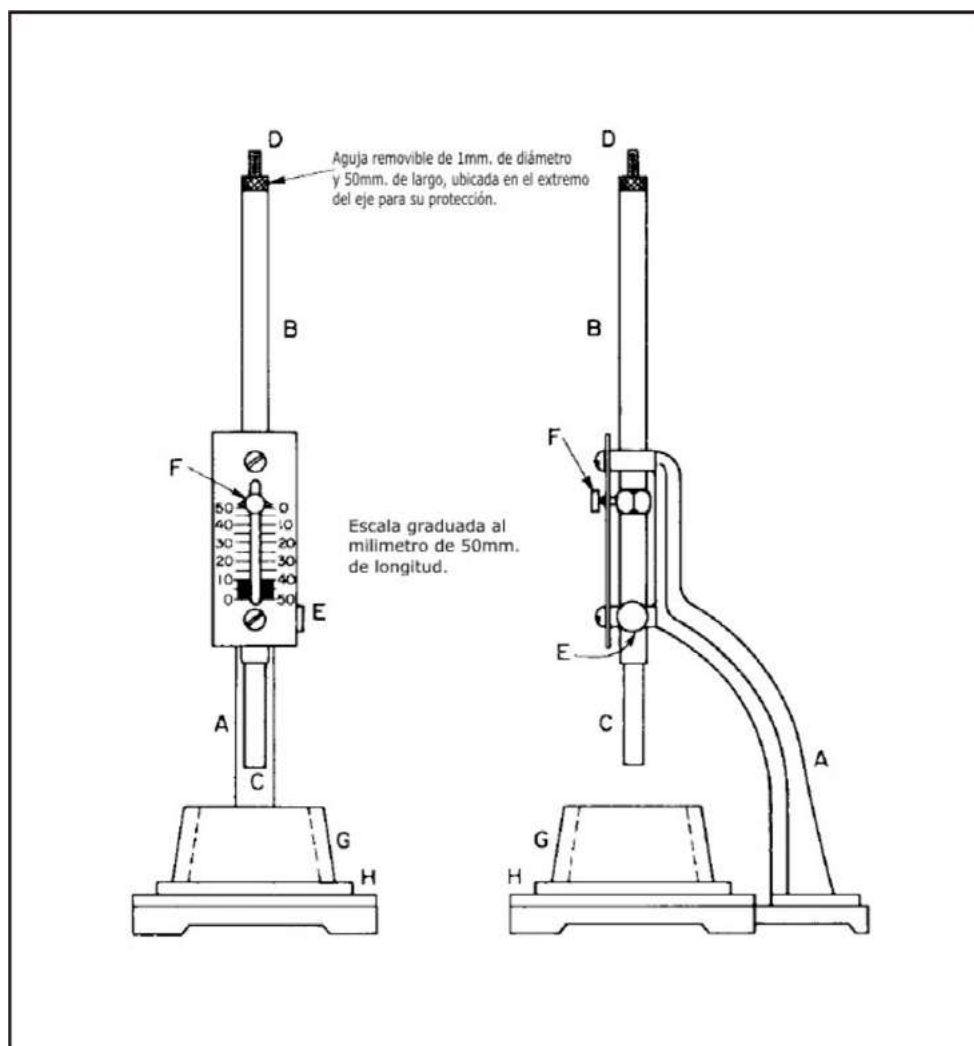


Figura 6.3_23. APARATO DE VICAT

SECCION 6.3.2.11.

MEZCLA MECÁNICA DE PASTAS DE CEMENTO HIDRÁULICO Y MORTEROS DE CONSISTENCIA PLÁSTICA (ASTM C 305 AASHTO T162)

6.3.2.11.1. OBJETO

Este método tiene por objeto, establecer el método para efectuar la mezcla mecánica de pastas de cemento hidráulico y morteros de consistencia plástica.

6.3.2.11.2. EQUIPO

B.1. Mezcladora

Consta de una paleta y un recipiente. Será impulsada eléctricamente, debe ser del tipo epicíclico, que imparte a la paleta movimiento de rotación y planetario; la mezcladora tendrá mínimo dos (2) velocidades, controladas por medios mecánicos (No se aceptarán ajustes de velocidad por medio de reóstatos); la velocidad primera, o baja, girará la paleta a razón de 140 ± 5 rpm y el movimiento del planetario será aproximadamente 62 rpm. La segunda o rápida, robará la paleta a razón de 285 ± 10 rpm, con movimiento del planetario de aproximadamente 125 rpm. El motor que acciona el sistema, tendrá una potencia mínima de 125 W (1/6 hp).

Cuando la mezcladora está en posición de trabajo, la distancia entre el borde inferior de la paleta y el fondo del recipiente de mezcla, no será mayor de 2,54 mm, ni menor de 0,76 mm.

B.2. Paleta mezcladora

Será de fácil remoción, construida de acero inoxidable, y cumplirá con el diseño mostrado en la **Figura 6.3_24**. Sus medidas serán tales que, cuando se encuentre en funcionamiento, su contorno se adapte al del recipiente usado con la mezcladora y quede entre ambos una luz de unos 4 mm, pero no menor de 0,76 mm, en el momento de su mayor proximidad.

B.3. Recipiente de mezcla

Será removible, construido de acero inoxidable, con las dimensiones y formas mostradas en la **Figura 6.3_25**, tendrá una capacidad nominal de $4,75 \text{ dm}^3$. Estará equipado con los elementos necesarios para su fijación a la base de la mezcladora. Estará provisto de una tapa de material no absorbente ni atacable por las mezclas de cemento.

B.4. Raspador

Es una paleta de caucho semiduro, de unos 75 mm de largo, por 50 mm de ancho y espesor que va disminuyendo hacia el borde hasta 2 mm. Lo anterior estará unido a un mango de alrededor de 150 mm de largo.

B.5. Equipo Suplementario

Balanzas, pesas, probetas graduadas, y cualquier otro aparato utilizado en la medición y preparación de pasta y morteros antes del mezclado, cumplirán con los requisitos especificados en las normas correspondientes sobre métodos de ensayo.

6.3.2.11.3. TEMPERATURA Y HUMEDAD

La temperatura en el cuarto donde se realiza el ensayo se mantendrá entre 20 y 27,5°C (68 y 81.5°F). Los materiales secos, la paleta y el recipiente mezclador, estarán dentro de los rangos anteriores, al momento del ensayo. El agua para la mezcla estará a una temperatura de $23 \pm 1,7^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3^\circ\text{F}$). La humedad relativa del laboratorio no será inferior al 50%.

6.3.2.11.4. MATERIALES

Las proporciones y calidades de los materiales, cumplirán los requisitos exigidos en el método particular para el cual se preparen la pasta o el mortero.

6.3.2.11.5. PROCEDIMIENTO

B.1. Para mezcla de pastas

Se colocan la paleta mezcladora y el recipiente de mezcla secos, en la posición de trabajo y se procede así:

- a) Se vierte la totalidad del agua de amasado en el recipiente.
- b) Se agrega el cemento y se deja en reposo 30 segundos, para que absorba el agua.
- c) Se mezcla a la velocidad lenta (140 ± 5 rpm) durante 30 segundos.
- d) Se detiene la mezcladora por 15 segundos, durante los cuales, con el raspador se pasa la pasta que se ha adherido a las paredes, al fondo del recipiente.
- e) Se mezcla a velocidad rápida (285 ± 10 rpm) durante 60 segundos.

B.2. Para la mezcla de morteros

Se coloca la mezcladora en posición de trabajo (secando la paleta y el recipiente) y se procede así:

- a) Coloque toda el agua de amasado en el recipiente.
- b) Agregar el cemento al agua y mezclar en baja velocidad por 30 segundos.
- c) Agregar lentamente la totalidad de la arena en un lapso de 30 segundos, mientras la mezcladora funciona a baja velocidad.
- d) Se detiene la mezcladora, se cambia a la velocidad rápida y se mezcla durante 30 segundos.
- e) Se detiene la mezcladora durante 90 segundos. En los primeros 15 segundos de este intervalo, se arrastra rápidamente hacia el fondo, el mortero que se ha adherido a las paredes. Para el resto del intervalo se tapa el recipiente.
- f) Finalmente se mezcla a velocidad rápida, durante 60 segundos.

Al requerirse un período de mezclado adicional, lo cual se debe establecer en el método respectivo, se arrastra hacia el fondo el material adherido a las paredes, antes de iniciar el mezclado adicional.

6.3.2.11.6. ADVERTENCIA

La luz entre el contorno de la paleta y el recipiente, especificada en este método, es adecuada para morteros ejecutados con arena normalizada. Cuando se use arena gruesa se debe reajustar la distancia entre el borde de la paleta y el recipiente, para evitar serios desperfectos al equipo.

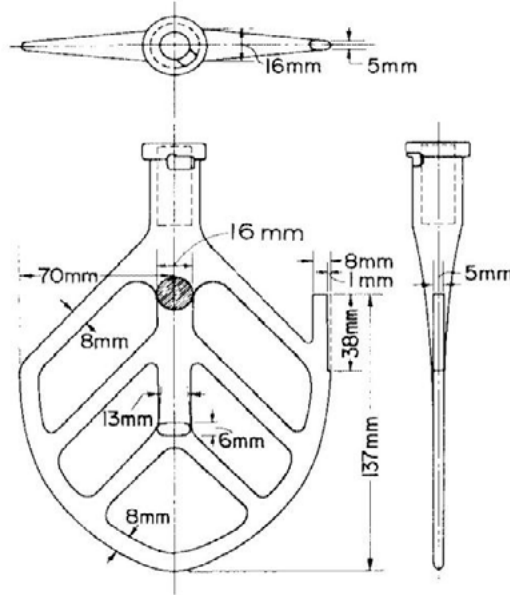


Figura 6.3_24. PALETA MEZCLADORA

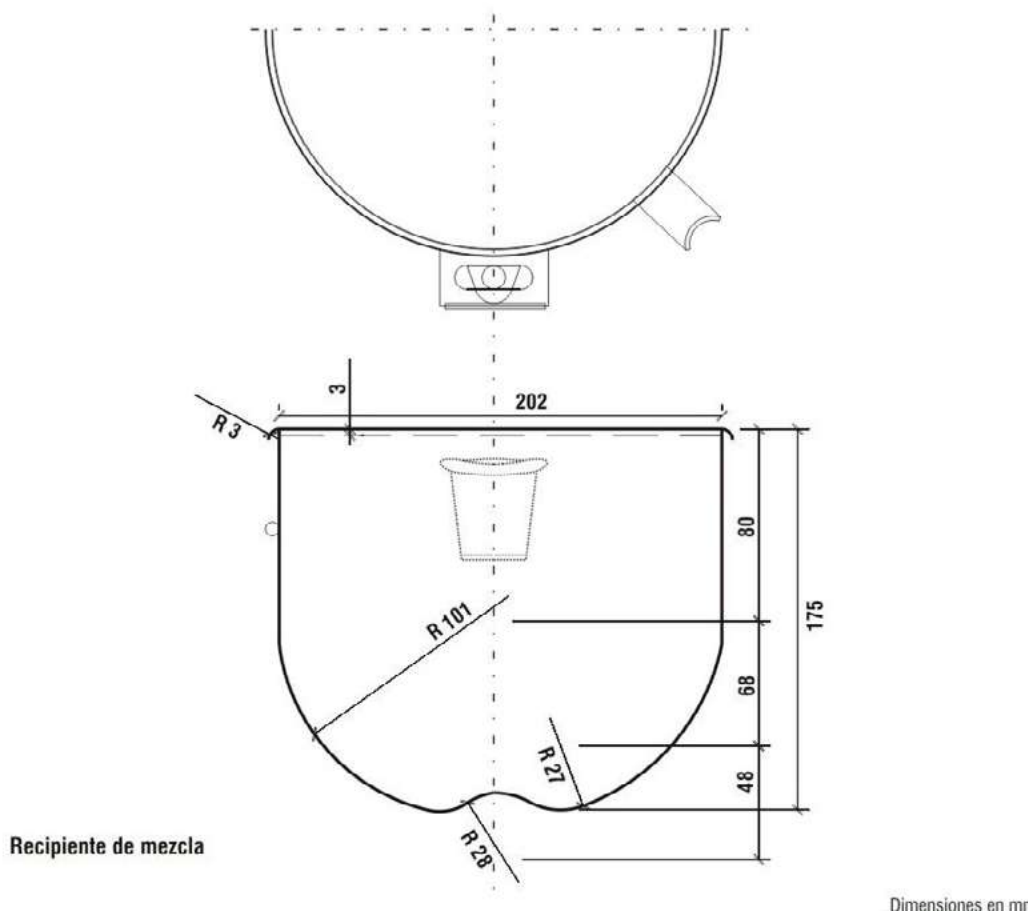


Figura 6.3_25. RECIPIENTE DE MEZCLA

SECCION 6.3.2.12.

EXUDACIÓN DE PASTAS Y MORTEROS DE CEMENTO (ASTM C 243)

6.3.2.12.1. OBJETO

Este método tiene por objeto determinar la velocidad y capacidad de exudación de las pastas y morteros de cemento.

6.3.2.12.2. EQUIPOS

B.1. Balanzas

Tendrán una capacidad de 5.000 g con precisión de 5 g para una carga total.

B.2. Pesas

Se usará un juego de las siguientes:

$1000 \pm 0,50$ g; $500 \pm 0,35$ g; $300 \pm 0,30$ g; $250 \pm 0,25$ g; $200 \pm 0,20$ g

B.3. Compactador

Construido de un material no absorbente ni abrasivo (caucho, madera dura), con una sección transversal de 12 x 25 mm y una longitud de 130 a 150 mm. La superficie de compactación debe ser plana y perpendicular a su eje longitudinal.

B.4. Aparato para medir la exudación

Consta de lo siguiente:

- a) Recipiente para la pasta o mortero, construido de metal anticorrosivo, de 127 mm (5") de diámetro, 102 mm (4") de altura. Un anillo exterior de 152 mm (6") de diámetro, soldado al perímetro del recipiente 12.7 mm (0.5") por debajo del borde superior y que sobresalga 38 mm (1.5") por encima del borde.

- b) Anillo colector

Debe ser de metal anticorrosivo, de 76 mm (3") de diámetro interior y con el borde inferior chaflanado para dirigir el ascenso del agua al embudo.

- c) Bureta y embudo

El conjunto de bureta y embudo deben ser de vidrio y con unión pulida, para facilitar la subida del agua en la bureta. La capacidad de la bureta debe ser de 25 ml y su longitud máxima de 46 cm., debe estar sostenida por un soporte, para la correcta colocación del embudo sobre el anillo colector. El diámetro exterior del embudo debe tener 74 mm (2.9") y el extremo del cuello debe cortarse perpendicularmente al eje longitudinal y tener el borde redondeado.

- d) Tubo capilar reducido, Llave de paso y Aspirador. Este conjunto debe colocarse en la partesuperior de la bureta, por medio de un adecuado tapón de caucho.

B.5. Mezcladora mecánica

Debe usarse la mezcladora indicada en la **Sección 6.3.2.11** “Mezcla Mecánica de Pastas de Cemento Hidráulico y Morteros de consistencia Plástica”.

B.6. Mesa de Flujo

Se debe usar la mesa señalada en la **Sección 6.3.2.15** “Método para determinar la Fluidéz de Morteros de Cemento Hidráulico”.

B.7. Molde

Se usará el molde que se utiliza en la **Sección 6.3.2.15** “Método para determinar la Fluidéz de Morteros de Cemento Hidráulico”.

6.3.2.12.3. CONDICIONES AMBIENTALES

La temperatura del laboratorio y la de los componentes de la mezcla será de $23 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ ($73,4 \pm 3^{\circ}\text{F}$).

La humedad relativa del laboratorio no debe ser menor de 50%.

6.3.2.12.4. ENSAYO SOBRE PASTAS

- La pasta que se debe emplear, cumplirá la siguiente proporción:

2300 g de cemento y 1035 g de agua.

- Al mezclar mecánicamente la pasta, deben seguirse los pasos siguientes:
- Colocar toda el agua en el recipiente de la mezcladora.
- Agregar el cemento y mezclar por 3 minutos a velocidad lenta (140 ± 5 rpm).
- Dejar la pasta en reposo durante 3 minutos, en los primeros 15 segundos de este período, se raspa la pasta adherida a las paredes de la mezcladora, luego se tapa durante el período restante.
- Repetir la operación de mezclado por 3 minutos a velocidad lenta.

B.1. Procedimiento

Una vez que se ha preparado la mezcla, se vierte cuidadosamente en el recipiente muestreador y se enrasa el borde superior por medio de una regla de acero. El enrasado debe ejecutarse en 15 segundos e inmediatamente comenzarse el ensayo. Se debe colocar el anillo colector en el centro de la superficie de la pasta e introducirlo aproximadamente 19,1 mm ($3/4''$). Se cubre la superficie de la pasta con tetracloruro de carbono hasta una altura de 32,0 mm ($1\frac{1}{4}''$).

Nota 1: Se requieren aproximadamente 500 ml de tetracloruro por ensayo. Se baja el conjunto bureta-embudo, colocado directamente sobre el anillo colector, de manera que quede a menos de 6,4 mm ($\frac{1}{4}''$) de éste. Se hace ascender tetracloruro de carbono hasta la marca de la bureta mediante el aspirador, cerrando luego la llave de paso, la marca en la bureta será el “cero”. Cuatro (4) minutos después se debe hacer la primera lectura; a continuación se hacen lecturas cada dos (2) minutos, durante un intervalo de 30 minutos y luego cada 10 minutos hasta cuando cese la exudación.

6.3.2.12.5. ENSAYO SOBRE MORTEROS

Para la preparación del mortero, se deben emplear 930 g de cemento y 2325 g de arena natural de sílice; la cantidad de agua necesaria, medida en gramos, será tal que produzca un flujo entre 105 y 110, determinado de acuerdo con la Sección 6.3.2.15, y debe expresarse como un porcentaje del peso de cemento.

Como guía, para el ensayo inicial, el peso de agua en porcentaje del cemento, para producir el flujo requerido, debe ser aproximadamente de 50 a 52% para cemento Portland con aire incluido y de 52 a 54% para cemento Portland sin aire incluido.

La mezcla se hará de la siguiente forma:

- a. Se coloca toda el agua en la mezcladora.
- b. Se adiciona el cemento y se inicia la mezcla durante 30 segundos a velocidad lenta (140 ± 5 rpm).
- c. Se agrega la arena lenta y cuidadosamente durante 30 segundos.
- d. Se continúa el mezclado a velocidad lenta durante un período adicional de dos (2) minutos.
- e. Se detiene la mezcladora y se deja en reposo el mortero durante tres (3) minutos; durante los primeros 15 segundos de este intervalo, se raspa el mortero adherido a las paredes, a continuación se cubre el recipiente con la tapa o con un paño húmedo.
- f. Finalmente se repite la operación de mezclado a velocidad lenta por tres (3) minutos.

B.1. Determinación del flujo

El flujo en la mezcla de mortero se determina de acuerdo al procedimiento descrito en el **Sección 6.3.2.15** con las siguientes excepciones:

La mesa de flujo se deja caer desde una altura de 13 mm ($\frac{1}{2}$ "), diez (10) veces en seis (6) segundos.

Cuando se haya obtenido una cantidad de mezcla (tongada) que tenga el flujo apropiado, la porción utilizada para hacer la determinación del flujo, se descarta y no se utiliza en la determinación de la pérdida de agua por exudación.

B.2. Procedimiento

Inmediatamente después del ensayo de flujo, el mortero que queda en el recipiente de mezclado, se vuelve a mezclar durante 30 segundos, dentro de un tiempo total no mayor de 2 minutos y 30 segundos, después de completar la mezcla original de mortero. Empiece colocando el mortero en el recipiente muestreador, en tres (3) capas, apisonando cada capa 40 veces con el compactador y nivelando la superficie con el borde del recipiente, alisándola con la platina de acero de borde recto. Continúe el ensayo de manera similar para la pasta (punto "Ensayo sobre la pasta"), tomando como tiempo inicial el de la terminación de la nivelación de la superficie del mortero en el recipiente.

6.3.2.12.6. CÁLCULOS

B.1. Velocidad de Exudación

Se calcula la velocidad inicial de exudación, utilizando los valores tomados durante los primeros 30 minutos del ensayo, cuando la pérdida de agua tiene velocidad uniforme.

Nota 2: Puesto que muchos cementos no pierden agua a velocidad uniforme durante los primeros 30 minutos del ensayo, se hace necesario dibujar un gráfico de valores de “pérdida de agua contra tiempo” para determinar la correcta pendiente inicial de la curva, la cual es la rata de exudación inicial.

$$R_B = V_1 / A \times t$$

Donde:

R_B = Velocidad de exudación, $\text{cm}^3/\text{cm}^2.\text{s}$

V_1 = Volumen de la pérdida de agua en cm^3 , medido durante el intervalo de tiempo t .

A = Area, en cm^2 , comprendida entre el anillo colector (76,2 mm (3") diámetro).

t = Tiempo, en segundos, durante el cual la pérdida de agua tiene la velocidad uniforme.

Capacidad de Exudación

Se calcula como sigue:

$$C_B = V_2 / V_3$$

Donde:

C_B = Capacidad de exudación, cm^3/cm^3 .

V_2 = Volumen total de la pérdida de agua, cm^3 .

V_3 = Volumen del cilindro de pasta o mortero directamente debajo del anillo colector en cm^3 .

6.3.2.12.7. INFORME

En el informe de cálculo y resultados, los valores de velocidad y capacidad de exudación, se expresan con aproximación de 3 cifras significativas.

6.3.2.12.8. PRECAUCIÓN

El aparato para la medida de exudación, deberá colocarse en un lugar donde no haya vibraciones y preferiblemente sobre una lámina de caucho o equivalente.

SECCION 6.3.2.13.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C 109)

6.3.2.13.1. OBJETO

Este ensayo cubre la determinación del esfuerzo de compresión de morteros de cemento hidráulico, usando cubos de 50,8 mm (2") de lado.

La compresión se medirá sobre dos (2) cubos de 50,8 mm (2") compactados en dos (2) capas.

Los cubos serán curados un día en los moldes y se desmoldarán y sumergirán en agua-cal hasta su ensayo.

6.3.2.13.2. EQUIPO

B.1. Balanzas, con capacidad de 2.000 g y precisión de 2 g.

B.2. Tamices

Se requiere una serie con los siguientes:

1,18 mm (No.16)	300 µm (No.50)
600 µm (No.30)	150 µm (No.100).

B.3. Probetas

Las probetas de vidrio, deben tener con preferencia una capacidad que permita medir el agua total de mezcla, en una sola operación; serán graduadas por lo menos cada 5 ml y tendrán una precisión de 2 ml, al indicar el volumen a 20°C (68°F).

B.4. Cámara húmeda

Se requiere una cámara que tenga condiciones adecuadas, para almacenar con facilidad las muestras, y mantener una temperatura de $23 \pm 1,7^\circ\text{C}$, con una humedad relativa no menor del 90%.

B.5. Moldes

Para los cubos de 50,8 mm (2") se requieren moldes que no tengan más de tres (3) compartimentos, ni consten de más de dos (2) elementos separables. Estos elementos deben estar dotados de dispositivos que aseguren una perfecta y rígida unión; serán fabricados de metal duro, no atacable por las mezclas de cemento y que no vayan a producir ensanchamientos o pandeos en los especímenes.

Las caras interiores, serán planas y lisas con variación máxima de 0,025 mm; la distancia entre las caras opuestas, (50,8 mm) tendrá variación máxima de 0,508 mm y la altura de 50,8 mm tendrá una variación permisible de 0,38 mm. El ángulo formado por las caras interiores adyacentes será de $90 \pm 0,5^\circ$.

B.6.Mezcladora

Cumplirá con los requisitos de la **Sección 6.3.2.11.**

B.7.Mesa de Flujo

Cumplirá con los requisitos de la **Sección 6.3.2.15.**

B.8.Compactador

Cumplirá con lo especificado en la **Sección 6.3.2.15.**

B.9.Palustre

Será de una longitud entre 100 y 150 mm (4" y 6") con hoja de acero.

B.10.Máquina de Ensayo

Podrá ser mecánica o hidráulica, con una abertura suficiente entre los apoyos, para que permita colocar la muestra y los aparatos de comprobación. La carga aplicada a la muestra, deberá medirse con una tolerancia de $\pm 1,0\%$. El soporte superior, tendrá una esfera metálica firmemente asegurada al centro del apoyo superior de la máquina (sistema de rótula). El centro de la esfera estará sobre la perpendicular levantada el centro de la superficie del bloque en contacto con la muestra (cubo).

El bloque se colocará asentando sobre la esfera, pero podrá inclinarse libremente en cualquier dirección. La diagonal o diámetro de la superficie de apoyo será ligeramente mayor que la diagonal de la cara de la muestra (cubo), para facilitar su centrado. Debajo del cubo se colocará un bloque metálico para minimizar el desgaste del plato inferior de la máquina. Este bloque tendrá marcas grabadas, que permitan centrar exactamente el cubo y su dureza Rockwell no será inferior a 60 HRC. Las superficies que van a hacer contacto con los cubos, deben ser planas y con variación permisible de 0,025 mm (0.001").

6.3.2.13.3. MATERIALES - ARENA

La arena usada para hacer las muestras (cubos), en este ensayo, será natural de sílice; normalizada para ensayo y gradada de acuerdo con los siguientes tamices:

Tabla 6.3_35. TAMICES PARA NORMALIZACIÓN Y GRADACIÓN DE ARENA

Tamices		% que pasa
	Alternativa	
1,18 mm	(No.16)	100
600 μm	(No.30)	96 - 100
300 μm	(No.50)	23 - 33
150 μm	(No.100)	0 - 4

Para comprobar la gradación normalizada, se toma el contenido de un saco lleno de arena, de aproximadamente 45 kg, se extiende en una superficie plana y por cuarteo se toman unos 700 g; de esta muestra, se toman unos 100 g y se hace el tamizado, tomando las mallas en forma independiente; en 60 segundos de continuo tamizado no pasarán por el tamiz más de 0,5 g. El material retenido en cada malla estará de acuerdo con la gradación presentada antes.

6.3.2.13.4. CONDICIONES DE ENSAYO

Condiciones Ambientales. La temperatura del aire en las vecindades de la mezcladora, moldes, materiales, prensa, etc., será de 20 a 27,5°C (68 a 81.5°F).

El agua de mezclado tendrá una temperatura de $23 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ ($73.4 \pm 3^{\circ}\text{F}$). La humedad relativa no será menor del 50%. Se deberá comprobar el flujo del mortero conforme lo establecido en la **Sección 6.3.2.15**.

Se deben hacer varios morteros de prueba con variantes en el porcentaje de adición del agua hasta obtener el flujo especificado. Cada prueba se hará con mortero nuevo. (**Sección 6.3.2.15**).

6.3.2.13.5. PROCEDIMIENTO

B.1.Preparación de los moldes

A los moldes se les aplicará en sus caras interiores una capa delgada de aceite mineral ligero. Las superficies de contacto de los elementos separables se revestirán de una capa de aceite mineral pesado, luego se unen estos elementos y se elimina el exceso de aceite en cada uno de los compartimentos. Luego se coloca el molde sobre una placa plana, no absorbente, cubierta con una delgada capa de aceite. En la parte exterior de las juntas de las partes que componen el molde, o de éstos con la placa, se aplicará una mezcla de 3 partes en peso de parafina y 5 partes de resina o cera calentada a $110 - 120^{\circ}\text{C}$, para impermeabilizar.

B.2.Composición del mortero

Las proporciones en peso de materiales para el mortero normal serán de una (1) parte de cemento y 2,75 partes de arena gradada, usando una relación agua - cemento de 0,485 para los cementos Portland y 0,460 para las que contienen aire; sin embargo, será tal que produzca un flujo de 110 ± 5 , expresada en porcentaje del cemento.

Las cantidades que deben ser mezcladas para formar la tongada parra seis (6) cubos de ensayo, serán de 500 g de cemento y 1375 g de arena y 242 ml de agua, aproximadamente. Para nueve (9) cubos se requieren 740 g de cemento, 2035 g de arena y 359 ml de agua.

B.3.Moldeo de especímenes

Después de preparado el mortero, hay que dejarlo quieto en la mezcladora por 90 segundos, sin cubrirla. Durante los últimos 15 segundos de este intervalo, rápidamente se debe raspar el mortero pegado en las paredes y luego remezclar por 15 segundos a velocidad lenta. Dentro de un tiempo transcurrido no mayor de 2 minutos y 30 segundos después de completar la mezcla original de la tongada, se inicia el llenado de los compartimentos, colocando una capa de más o menos 25 mm (1") de espesor (aproximadamente la mitad del molde), en cada uno de los compartimentos, y se apisonan con 32 golpes que se aplicarán sobre la superficie, en 4 etapas de 8 golpes adyacentes cada una, como se ilustra en el siguiente esquema.

1	2	3	4
8	7	6	5

4	5
3	6
2	7
1	8

Los golpes de cada etapa se darán siguiendo una dirección perpendicular a los de la anterior; la presión del compactador será tal, que asegure el llenado de los compartimentos. Se deben completar las cuatro (4) etapas de compactación, en cada compartimento, antes de seguir con el siguiente. Una vez terminada la etapa de la primera capa en todos los compartimentos, se llenan con una segunda capa y se procede como en la primera.

Durante la compactación de la segunda capa, al completar cada etapa y antes de iniciar la siguiente, se introduce en el compartimento el mortero que se ha depositado en los bordes del molde. A lo largo de estas operaciones, el operario usará guantes de caucho.

Al finalizar la compactación, las caras superiores de los cubos, deben quedar un poco más altas que el borde superior de los moldes. La superficie de los cubos debe ser alisada con la parte plana del palustre, retirando el mortero sobrante, con un movimiento de vaivén.

B.4. Almacenamiento de los especímenes

Terminada la operación de llenado, el conjunto de molde y placa, se colocará en la cámara húmeda durante 20 o 24 horas, con la cara superior expuesta al aire húmedo, pero protegidos contra la caída de gotas. Si los cubos se retiran del molde antes de las 24 horas, se dejarán en la cámara húmeda hasta completar este tiempo. Los cubos que no se van a ensayar a las 24 horas, se sumergen en agua-cal saturada dentro del tanque de almacenamiento, construido con material no corrosivo; el agua del tanque se renovará frecuentemente para que permanezca limpia.

B.5. Ensayo

Los cubos que van a ser ensayados a las 24 horas, se sacan de la cámara húmeda cubriéndolos con un paño húmedo, mientras se van pasando a la máquina. Para los otros cubos, deben sacarse del tanque de almacenamiento uno a uno y probarse inmediatamente. Todos los cubos se ensayarán dentro de las siguientes tolerancias de tiempo: a las 24 horas $\pm \frac{1}{2}$ hora; a los 3 días ± 1 hora; a los 7 días ± 3 horas; y a los 28 días ± 12 horas.

Los cubos deberán secarse y dejarse limpios de arena suelta, o incrustaciones, en las caras que van a estar en contacto con los bloques de la máquina de ensayo. Se debe comprobar por medio de una regla, que las caras están perfectamente planas.

Colóquese cuidadosamente el espécimen en la máquina de ensayo, debajo del centro de la parte superior de la máquina, comprobándose antes de ensayar cada cubo, que la rótula gira libremente en cualquier dirección. No se usarán amortiguadores entre el cubo y los bloques de carga.

Cuando se espera que el cubo resista una carga máxima superior a 13,3 kN (3000 lbf), se aplica a éste una carga inicial de la mitad del valor esperado, a velocidad conveniente; si se espera que la carga que va a resistir sea menor de 13,3 kN (3000 lbf), no se aplicará carga inicial al cubo. La velocidad de aplicación de la carga se calcula en tal forma que la carga restante para romper los cubos con resistencia esperada mayor de 13,3 kN (3000 lbf) o la carga total en los otros, se aplique sin interrupción en un tiempo comprendido entre 20 y 80 segundos, desde el inicio de la carga. No se hará ningún ajuste a la máquina mientras se esté efectuando el ensayo.

6.3.2.13.6. CÁLCULOS E INFORME

Se anotará la carga máxima indicada por la máquina de ensayo en el momento de la rotura y se calcula la resistencia a la compresión, siendo el área nominal de la sección del cubo de 2581 mm², la cual no debe variar de la real en ± 38 mm²; si hay variación mayor, el cálculo se hará con base en el área real.

Los cubos defectuosos o los que den resistencias que difieran en más del 10% del promedio de todas las muestras hechas de la misma mezcla y ensayadas al mismo tiempo, no se tendrán en cuenta al determinar la resistencia. Cuando se trate de ensayos especiales, se fundirá un número mayor para obtener un promedio final de más de tres (3) resultados.

SECCION 6.3.2.14.

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C 348)

6.3.2.14.1. OBJETO

Este método tiene por objeto definir el método para determinar la resistencia a la flexión, de morteros de cemento hidráulico.

El ensayo se ejecutará sobre prismas de 40 x 40 x 160 mm (1.575 x 1.575 x 6.3 pulg) moldeados en dos (2) capas y curados durante 24 horas.

6.3.2.14.2. EQUIPO

- Balanzas, pesas, tamices, probetas y mezcladora; deberán cumplir con lo establecido en la **Sección 6.3.2.13**
- Mesa de Flujo, de acuerdo a la **Sección 6.3.2.15**.
- Moldes. Serán construidos de metal no atacable por los morteros de cemento y de espesor tal, que no presenten deformaciones al ser llenados con la muestra; constarán de tres (3) compartimentos de 40 x 40 x 160 mm (1.575 x 1.575 x 6.3 pulg) cada uno, con las siguientes tolerancias para el ancho y alto: de $\pm 0,13$ mm (0.01") para moldes nuevos, o 0,25 mm (± 0.02 ") para moldes en uso; la longitud puede variar en $\pm 2,54$ mm (± 0.10 "). Las caras interiores serán planas; los ángulos entre dos caras interiores adyacentes deben ser de $90 \pm 0.5^\circ$. El molde debe colocarse sobre una placa de unos 10 mm (3/8") de espesor, con una superficie plana de 178 mm (7") por 203 mm (8") con variación permisible de 0.025 mm (0.001").
- Compactador. El compactador debe ser de un material no absorbente ni quebradizo, como caucho de dureza media o madera curada, deberá cumplir con la forma y dimensiones de la **Figura 6.3_26**.
- Guía del compactador. Se construirá de un metal no atacable por el mortero, como bronce; de dureza no inferior de 55B. De acuerdo a la forma y dimensiones de la **Figura 6.3_27**, ésta debe acoplarse al molde en tal forma, que sus bordes inferiores no se separen de los superiores del molde, en más de 0.38 mm (0.015"). La altura total de la guía debe ser de 25,4 mm (1").
- Paleta de albañil. Constará de una hoja de acero de 112 x 254 mm (4½ x 10").
- Dispositivos para la prueba de flexión. Serán diseñados en tal forma, que cumplan con los siguientes requisitos:
 - a) La muestra será cargada en su punto medio.
 - b) Las distancias entre los puntos de apoyo y el de aplicación de la carga, permanecerán constantes.
 - c) La carga será aplicada normal a la superficie de la muestra de manera que no produzca excentricidades.
 - d) Las direcciones de las reacciones serán paralelas a la de la carga aplicada durante

el ensayo.

- e) La carga será aplicada a velocidad uniforme y sin producir impacto.

Las **Figuras 6.3_28 y 6.3_29** muestran dispositivos diseñados para cumplir las condiciones anteriores, que pueden ser acoplados a la máquina de compresión o a la de tensión, respectivamente.

Si se emplea una máquina de compresión hidráulica, con suficiente abertura entre las superficies de apoyo, para permitir el uso de los aparatos de comprobación, deberá usarse el dispositivo mostrado en la **Figura 6.3_28**.

Si se utiliza Máquina de Tensión, **Sección 6.3.2.17**, se utilizará el dispositivo mostrado en la **Figura 6.3_29**.

6.3.2.14.3. MUESTRAS

Deben prepararse tres (3) o más muestras para cada período de ensayo.

Se usará arena gradada normalizada, del tipo Ottawa, o la especificada en el ensayo, **Sección 6.3.2.17**.

La temperatura del ensayo estará, entre 20 y 27,5°C (68 y 81.5°F); el agua de amasado estará a $23 \pm 1,7^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3^\circ\text{F}$). La humedad relativa no será menor del 50%.

Las proporciones en peso para formar un mortero normal, deben ser de una (1) parte de cemento y 2,75 partes de arena gradada seca. Para obtener tres (3) muestras, deberán usarse 500 g de cemento y 1375 g de arena.

La cantidad de agua de amasado, dada en ml, será la que produzca una fluidez de 110 ± 5 , determinada de acuerdo a la **Sección 6.3.2.15**. La mezcla se ejecutará mecánicamente, según la **Sección 6.3.2.11**.

6.3.2.14.4. PREPARACIÓN Y LLENADO DE LOS MOLDES

A los moldes se les aplicará una capa delgada de aceite mineral. Las superficies de contacto de los elementos separables, se revestirán con una capa delgada de aceite mineral pesado o grasa ligera. Luego, se unen los elementos que componen el molde y se eliminan los excesos de aceite o grasa, y se coloca el molde en una placa plana no absorbente y cubierta con una capa delgada de aceite mineral. En la parte exterior de las juntas de los elementos, se aplicará una mezcla de tres (3) partes de parafina y cinco (5) de resina, o cera, en peso, calentadas entre 110 y 120°C (230 y 248°F), para impermeabilizarlas.

Preparado el mortero y remezclado por 15 segundos a velocidad lenta, se vierte una capa de aproximadamente 20 mm (3/4") de espesor, uniformemente distribuida en cada compartimento, acoplado previamente la guía del compactador al molde y se procede a compactar el mortero en cada molde, por 12 veces, aplicadas en tres (3) etapas de 4 golpes cada una, como se muestra en el esquema. Para dar cada golpe del compactador, se coloca la cara inferior de éste en posición horizontal a unos 25 mm (1") de la superficie de la capa, y se baja verticalmente con una fuerza tal, que haga salir una pequeña cantidad de mortero debajo de la superficie de compactación.

Se termina el llenado total de los compartimentos con capas de mortero uniformemente distri-

buidas, que se compactan en la forma utilizada con la primera capa.

Se retira la guía de compactación y se alisa la superficie de la muestra; se enrasa y se elimina el exceso de mortero; se reparan las rajaduras en la cara superior y se alisa la superficie con 2 ó 3 pasadas del palustre. Las muestras se almacenan como se indica en la **Sección 6.3.2.13**.

Tabla 6.3_36. ORDEN DE APISONADO DE LAS CAPAS

1	2
4	3

6.3.2.14.5. ENSAYO

Las muestras que van a ser ensayadas a las 24 horas se sacan de la cámara húmeda, se secan y limpian superficialmente y se pasan a la máquina de prueba. Si son varias las muestras que se sacan de la cámara húmeda o del tanque, se cubrirán con una toalla húmeda. Todas las muestras se probarán dentro de las siguientes tolerancias.

Tabla 6.3_37. TOLERANCIAS

Edad de la muestra	Tolerancia
24 horas	± ½ hora
3 días	± 1 hora
7 días	± 3 horas
28 días	± 12 horas

Se debe comprobar por medio de una regla, que las caras sean perfectamente planas; si tienen curvatura, se tratará de rasparlas y si no es posible, se desecharán.

Se acoplan los dispositivos para la prueba de flexión en la máquina de ensayo. Se coloca la muestra sobre los cilindros de apoyo en tal forma, que quede sobre éstos una cara que haya estado en contacto con la pared del molde. El eje longitudinal de la muestra y los puntos medios de los cilindros en contacto con ella, deben estar en el mismo plano vertical. Se acopla a la máquina el dispositivo para la aplicación de la carga, en tal forma que el eje longitudinal del cilindro de carga, forme ángulo recto con el eje longitudinal de la muestra, sea paralelo a la cara a la que se le aplica la carga y pase por el punto medio de la longitud de la muestra. Se debe garantizar durante el ensayo, un contacto perfecto entre el cilindro de carga y la muestra.

La carga será aplicada a una velocidad de 272 ± 12 kg/min (600 ± 25 lbf/min), la cual se leerá con aproximación de $\pm 1\%$ en un tablero graduado. Debe anotarse la carga de rotura, con una aproximación de 2 kg (5 lbf).

6.3.2.14.6. CÁLCULOS

Se anota la carga máxima de rotura y se calcula la resistencia a la flexión por la fórmula:

$$S = 0.28 P$$

Siendo:

S = Resistencia a la flexibilidad, KPa
 P = Carga máxima total, N

$$S = 0.278 P$$

Siendo:
 S = Resistencia a la flexión, en kg/cm².
 P = Carga máxima aplicada en kg., ó

$$S = 1.8 P$$

S = Resistencia a la flexión, en lb/pulg²
 P = Carga máxima total en, lbf.

La resistencia del mortero a la flexión es el promedio de los resultados obtenidos con la misma muestra (tongada) y en el mismo período de ensayo.

Nota 1: Las muestras defectuosas o las resistencias que difieran más del 10% del promedio no se tendrán en cuenta para promedio.

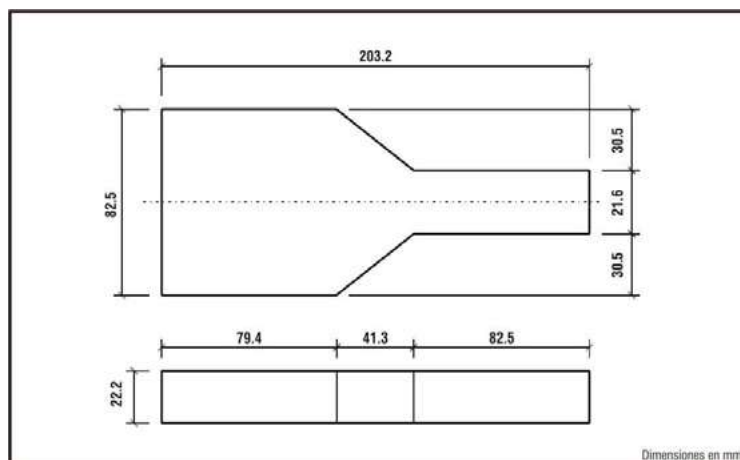


Figura 6.3_26. COMPACTADOR

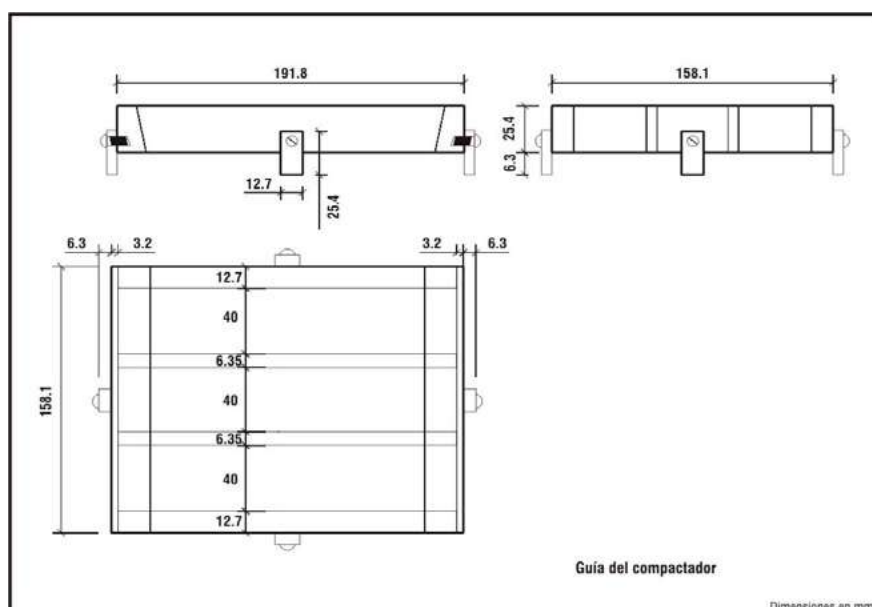


Figura 6.3_27. GUÍA DE COMPACTADOR

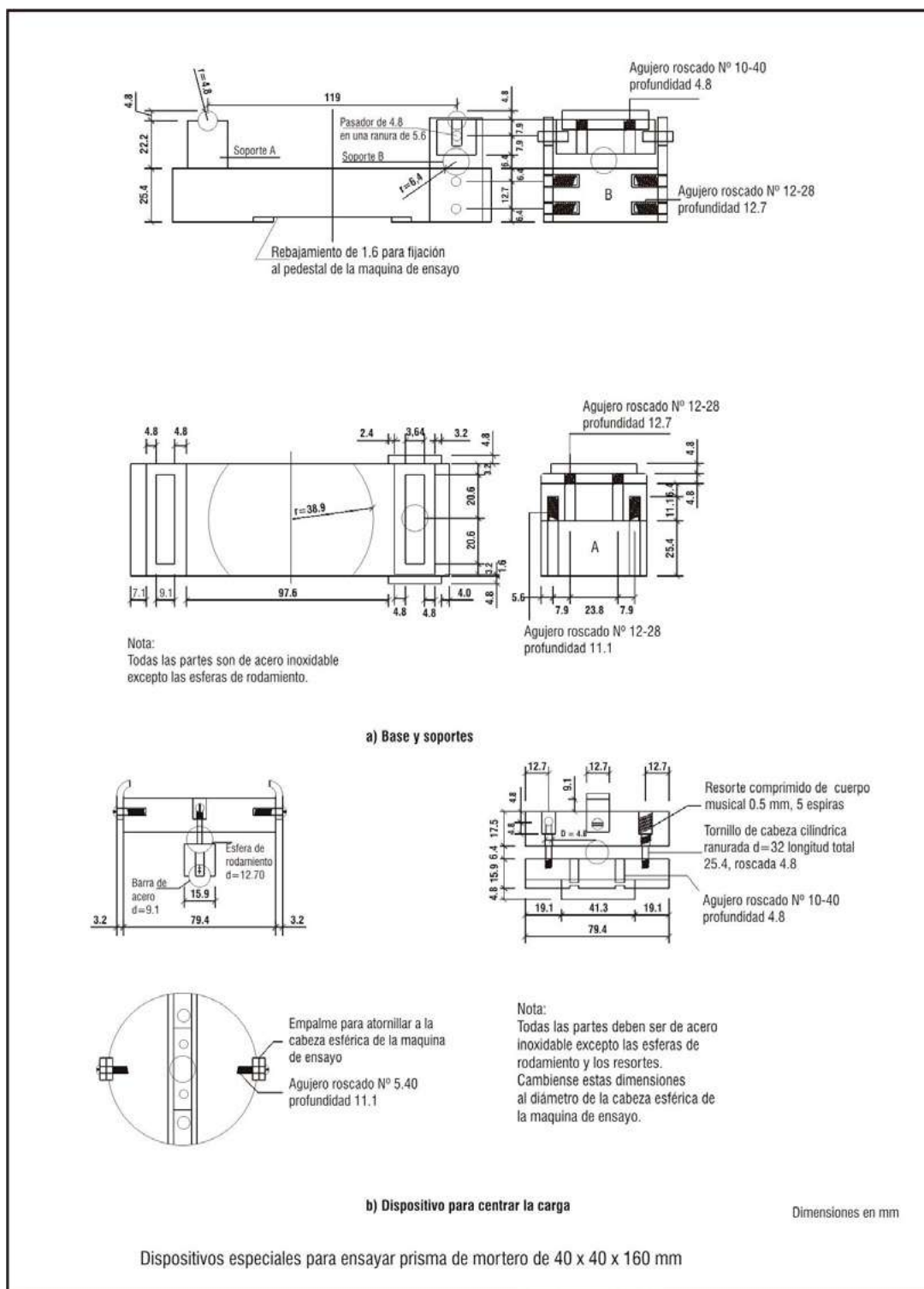


Figura 6.3_28. DISPOSITIVOS ESPECIALES PARA ENSAYAR PRISMAS DE MORTEROS DE 40 X 40 X 160 MM

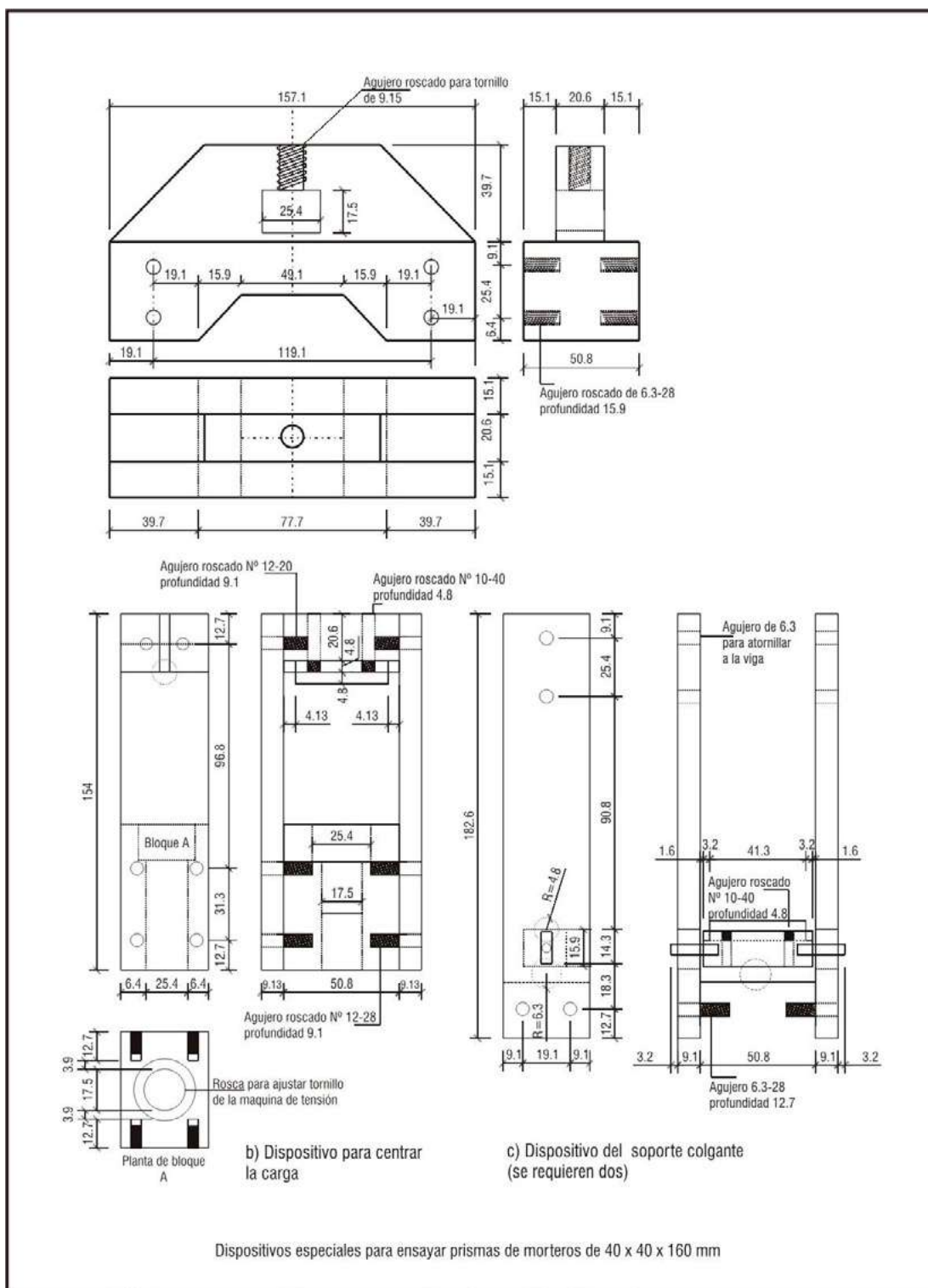


Figura 6.3_29. DISPOSITIVOS ESPECIALES PARA ENSAYAR PRISMAS DE MORTEROS DE 40 X 40 X 160 MM

SECCION 6.3.2.15.

FLUIDEZ DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C 230 AASHTO M152)

6.3.2.15.1.OBJETO

Este método, establece el método para determinar la fluidez de morteros de cemento hidráulico, utilizando la mesa de flujo.

6.3.2.15.2. EQUIPO

B.1.Mesa de flujo

Se trata de una mesa como se muestra en la **Figuras 6.3_30 y 6.3_31** y consta en esencia de lo siguiente: Un soporte, un árbol y una plataforma circular.

La plataforma o mesa será circular de $254 \pm 2,54$ mm (10 ± 0.1 ") de diámetro y 7,62 mm (0.3") de espesor; debe ser de bronce o latón de dureza Rockwell no menor de 25 B y debe tener en la cara inferior 6 nervios integrales de refuerzo, dispuestos radialmente. La cara superior debe ser plana, pulida y libre de defectos superficiales.

El árbol es un elemento que va unido perpendicularmente al centro de la plataforma por medio de una rosca, y que a su vez se montará rígidamente en el soporte, de tal forma que pueda bajar y subir verticalmente, dentro de una altura determinada, por medio de una leva rotativa. La tolerancia para la altura es de $\pm 0,13$ mm (± 0.005 ") para mesas nuevas, y de $\pm 0,38$ mm (± 0.015 ") para mesas en uso.

La leva y el árbol (ver Figuras 6.3_31, Fig. 2B y 2C) deben ser de acero semiduro; el acero del árbol debe ser endurecido por templado. El árbol debe ser recto. La tolerancia entre el diámetro del cilindro del soporte y el árbol, estará comprendida entre 0,05 y 0,08 mm (0.002" y 0.003") para mesas nuevas, y entre 0,05 y 0,25 mm (0.002 y 0.010") para mesas usadas. La leva debe tener forma de espiral, con un radio que aumenta de 12,7 a 31,75 mm ($\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{4}$ ") en 360 grados. El extremo del árbol no debe golpear la leva en el punto de caída, debe hacer contacto con ésta suavemente antes de 120 grados, contados a partir de dicho punto. La leva y el árbol deben diseñarse en tal forma que la plataforma no rote más de una vuelta en 25 caídas. Las superficies de la cara superior del soporte y del resalte del árbol, deben hacer contacto perfecto en el momento de la caída de la plataforma; para esto, deben mantenerse pulidas, planas y paralelas a la cara superior de la mesa.

El soporte debe ser de hierro fundido de grano fino de alta calidad y debe tener tres (3) nervios de refuerzo integrales, a lo largo de toda la altura, separados 120° grados. Un mínimo de 6.35 mm ($\frac{1}{4}$ ") de la cara superior del soporte, debe endurecerse por templado.

La mesa de flujo debe ser accionada por un motor de 0,3 W (1/20 HP) como mínimo, conectado al eje de la leva por medio de un engranaje helicoidal blindado, que reduzca la velocidad. La velocidad de la leva debe ser de 100 r.p.m. El motor no debe montarse o soportarse en la base del soporte, ni en el árbol.

B.2.Montaje de la mesa de flujo

El soporte de la mesa se atornillará firmemente a una platina de hierro o acero, de 254 mm (10") de lado y 25,4 mm (1") de espesor, cuya cara superior sea fresada hasta obtener una su-

perficie plana y pulida. La placa debe anclarse a un pedestal de hormigón por medio de cuatro (4) pernos de 12,7 mm ($\frac{1}{2}$ ") de diámetro, embebidos en el pedestal un mínimo de 152,4 mm (6").

La base del pedestal y la cara inferior de la placa deben hacer contacto en todos sus puntos. El pedestal será un tronco piramidal monolítico de 635 a 762 mm (25" a 30") de altura, con sección cuadrada superior, cuyo lado sea entre 254 y 280 mm (10 y 11") y cuya base cuadrada tiene lado entre 381 y 406 mm (15 y 16").

Bajo cada esquina del pedestal debe colocarse un empaque cuadrado de corcho de 100 mm (4") de lado, por 12,7 mm ($\frac{1}{2}$ ") de espesor. Se debe controlar frecuentemente el nivel de la mesa, la firmeza del pedestal y el ajuste de los pernos de anclaje.

Una vez que ha sido montado el árbol en el pedestal, la mesa de flujo deberá nivelarse en las posiciones alta y baja, a lo largo de diámetros perpendiculares entre sí.

El árbol de la mesa de flujo, debe mantenerse limpio y cuidadosamente lubricado con aceite liviano, tipo (SAE-10), lo mismo que la leva, para disminuir el desgaste. Cuando la mesa no haya sido usada durante algún tiempo, debe levantarse y dejarse caer la plataforma por lo menos 12 veces antes de empezar los ensayos.

B.3. Molde

Debe ser de bronce o latón, de dureza Rockwell no inferior a 25 B, su peso no será inferior a 907 g, y su espesor mínimo de 5,1 mm (0.2"), su forma es de tronco de cono recto, con base superior de $69,8 \pm 0,5$ mm (2.75 ± 0.02 ") de diámetro para moldes nuevos y $69,8 \pm 1,3$ mm (2.75 ± 0.05 ") de diámetro para moldes usados; la base inferior será de $100 \pm 0,5$ mm (4 ± 0.02 ") de diámetro y altura de $50 \pm 0,5$ mm (2 ± 0.02 ").

La base menor estará provista de un collar integral, para facilitar su remoción; en la base inferior del molde, debe colocarse una corona de un material no atacable por el mortero y unos 254 mm de diámetro mayor y 100 mm de diámetro menor, con el objeto de evitar que el mortero que queda fuera del molde, cuando esté lleno, caiga sobre la plataforma.

B.4. Calibrador

Se usará uno para medir los diámetros de la base del mortero, durante el ensayo. Las divisiones de la escala deberán estar grabadas sobre la superficie metálica.

B.5. Compactador

Será de material no absorbente, abrasivo ni quebradizo, como caucho de dureza media o madera (Roble curado). La sección transversal debe ser rectangular de unos 13 x 16 mm ($\frac{1}{2}$ x 0.6") y una longitud entre 130 y 150 mm (5' y 6").

6.3.2.15.3. PROCEDIMIENTO

a. Llenado del Molde

Se limpia y se seca la plataforma de la mesa de flujo, se coloca el molde en el centro, se vierte en el molde una capa del mortero que se requiere ensayar, de unos 25 mm (1") de espesor, y se apisona con 20 golpes del compactador, uniformemente distribuidos; con una segunda capa de mortero, se llena totalmente el molde y se apisona como la primera capa.

La presión del compactador, será la suficiente que asegure el llenado uniforme del molde. Se

retira el exceso de mortero de la capa superior y se alisa la superficie por medio de un palustre.

b. Ensayo

Lleno el molde, se limpia y se seca la plataforma de la mesa, teniendo cuidado de secar el agua que está alrededor de la base del molde.

Después de un (1) minuto de terminada la operación de mezclado, se retira el molde, levantándolo e inmediatamente se deja caer la mesa de flujo desde una altura de 12,7 mm (½") 25 veces en 15 segundos. Luego se mide el diámetro de la base de la muestra, por lo menos en cuatro puntos equidistantes y se calcula el diámetro promedio.

c. Interpretación de los resultados

La fluidez es el aumento del diámetro de la muestra, expresado como un porcentaje del diámetro de la base mayor del molde, según la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Fluidez} = \frac{\text{Diámetro promedio} - 101,6 \text{ mm}}{101,6 \text{ mm}} \times 100$$

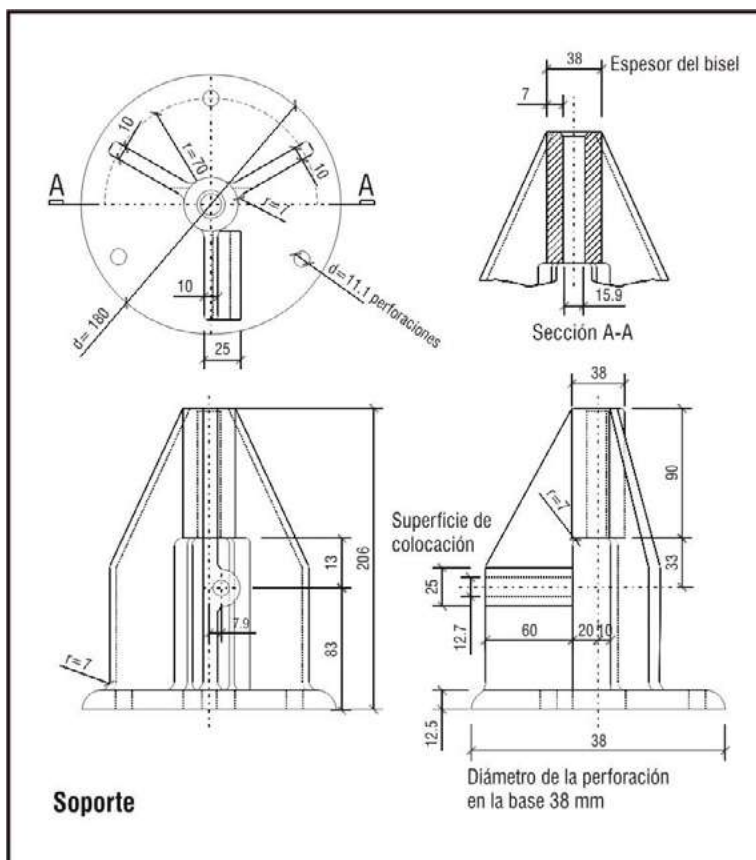


Figura 6.3_30. SOPORTE

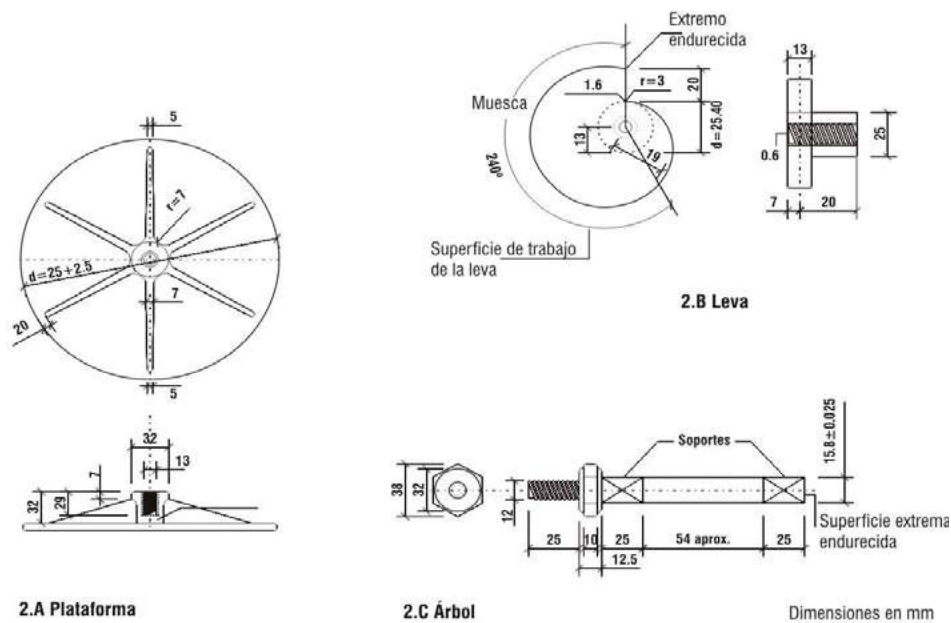


Figura 6.3_31. PLATAFORMA, LEVA Y ÁRBOL

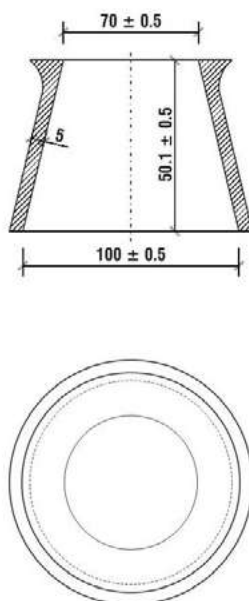


Figura 6.3_32. MOLDE

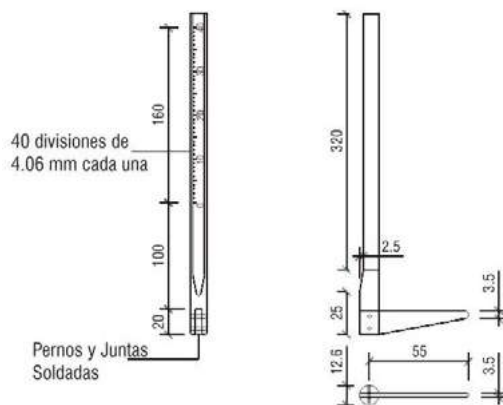


Figura 6.3_33. CALIBRADOR

SECCION 6.3.2.16.

CONTRACCIÓN POR SECADO DE MORTEROS DE CEMENTO PÓRTLAND (ASTM C 596)

6.3.2.16.1. OBJETO

Este método establece un método para determinar el efecto producido por el Cemento Portland, sobre la contracción de una arena gradada sujeta a unas condiciones de temperatura, humedad relativa y tasa de evaporación establecidas para el ambiente.

6.3.2.16.2. DEFINICIÓN

El término “contracción por secado” se define como la disminución en la longitud del espécimen de ensayo, medida a lo largo del eje longitudinal, donde la disminución es causada por cualquier otro factor que no sean cargas externamente aplicadas, bajo condiciones de temperatura, humedad relativa y tasa de evaporación establecidas para el ambiente. El término incluye el efecto neto de la variedad de fenómenos que tienden a ocasionar tanto aumentos como disminuciones en la longitud, durante el período en el cual el espécimen de ensayo en consideración se encuentra almacenado en el ambiente especificado y en el cual un número de procesos, incluyendo la hidratación de los componentes del cemento, se presentan a una variedad de tasas.

6.3.2.16.3. USO Y SIGNIFICADO

La contracción por secado, según se determina en este método, tiene una relación lineal con la contracción del hormigón hecho con el mismo cemento y expuesto a las mismas condiciones de secado. Así, este método puede ser usado cuando se desee obtener información del efecto producido por el cemento Portland, sobre la contracción por secado del hormigón hecho con este cemento.

6.3.2.16.4. EQUIPO

- Balanzas, pesas, probetas graduadas, moldes, palustres y comparador de longitudes, todo esto conforme a la **Sección 6.3.2.4.** “Expansión del cemento en el autoclave”.
- Apisonador. Deberá ser hecho con un material no absorbente y no abrasivo, como caucho de dureza media o madera de roble con propiedad de no absorción lograda mediante inmersión en parafina a 200°C (392°F). Deberá tener una sección transversal de 13 x 25 mm (½ x 1”) y una longitud de 150 mm (6”), aproximadamente. Su cara apisonadora deberá ser plana y perpendicular a su eje longitudinal.
- Dispositivo para desmoldar, construido de forma adecuada para extraer los especímenes de los moldes.

6.3.2.16.5. TEMPERATURA Y HUMEDAD

B.1.Sala de trabajo

La temperatura ambiente de la sala de trabajo, así como de los materiales secos deberá ser mantenida entre 20 y 27,5°C (68 y 81.5°F). La humedad relativa deberá ser del 50%. La temperatura del agua de mezcla no deberá variar del valor de 23°C (73.4°F) en más de 1,7°C (3°F).

B.2.Cámara húmeda

Debe tener las dimensiones adecuadas para que las muestras puedan almacenarse con facilidad. Además, debe mantenerse a una temperatura de $23 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ ($73.4 \pm 3^{\circ}\text{F}$) y a una humedad relativa no menor de 90%.

B.3.Cuarto de secado y controles

Un cuarto de secado con bastidores apropiados deberá proporcionarse para almacenar los especímenes al aire. Los bastidores deberán ser diseñados de tal forma que permitan la circulación libre del aire alrededor de los especímenes, exceptuando en el sitio de los soportes.

Los especímenes deberán estar situados con respecto a las paredes del cuarto o a cualquier otra obstrucción, de tal manera que no se restrinja la circulación de aire en el espacio entre ellos. Los soportes deberán ser horizontales y deberán componerse de dos miembros no absorbentes con una altura no mayor de 25 mm (1") y un ancho de no más de 6 mm ($\frac{1}{4}$ "). Deberá hacerse circular aire acondicionado hacia adentro y hacia afuera del cuarto de forma tal, que la tasa de evaporación especificada sea lograda sobre cada uno de los especímenes.

El aire dentro del cuarto deberá mantenerse a una temperatura de $23,0 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ ($73.4 \pm 3.0^{\circ}\text{F}$) y una humedad relativa de $50 \pm 4\%$. La tasa de evaporación deberá ser de 7 ± 30 ml/24h medida con un Atmómetro o de 13 ± 5 ml/24h medida con un beaker tipo Griffin de 400 ml de bajo tamaño que esté lleno hasta 20 mm ($\frac{3}{4}$ ") por debajo de su borde superior. La tasa de evaporación se medirá a diario, mediante el uso del Atmómetro o por la pérdida de agua del frasco Griffin. (Para mayores detalles referirse a la Norma ASTM C-157/86).

6.3.2.16.6. TOMA DE MUESTRAS

Efectúese la toma de muestras del cemento o los cementos, según la **Sección 6.3.2.1** "Muestreo y aceptación del Cemento Hidráulico".

6.3.2.16.7. PREPARACIÓN DE LOS ESPECIMENES DE ENSAYO

a. Cantidad de especímenes

Deben hacerse cuatro (4) especímenes de ensayo en total. Aunque el conjunto de especímenes de ensayos puede conformarse de cuatro (4) especímenes hechos con mortero de una sola tongada, es preferible hacer doce (12) especímenes hechos de tres tongadas, elaborando cuatro especímenes de cada tongada y cada tongada hecha un día distinto a las otras.

b. Preparación de los moldes

Los moldes y los topes de medida se deben limpiar perfectamente; se arman los moldes y se recubren interiormente con una capa delgada de aceite mineral para que la muestra se pueda retirar con facilidad. Luego se colocan los topes en su sitio, cuidando que estén libres de aceite.

c. Preparación de la pasta de cemento

Una tongada de mortero deberá consistir de 750 g de cemento, 1500 g de arena gradada y una cantidad de agua suficiente para producir un flujo de $110 \pm 5\%$ (**Sección 6.3.2.15**). La arena gradada deberá ser como se especifica en la **Sección 6.3.2.13**. El mezclado deberá hacerse según la **Sección 6.3.2.11**.

d. Llenado de moldes

Colóquese el mortero en el molde, aproximadamente en dos capas iguales. Compáctese cada capa con el apisonador. Cuídese de obtener una perfecta compactación en las esquinas, alrededor de los topes de medida y a lo largo de la superficie del molde. Debe lograrse una compactación uniforme. Después que la capa superior haya sido compactada, enrásese el mortero con la parte superior del molde y alísese la superficie con algunos golpes de palustre. Inmediatamente después de terminado el llenado de los moldes, aflójese el dispositivo que sostiene los topes de medida en posición en cada extremo del molde, para prevenir cualquier restricción de la expansión inicial del espécimen por parte de los topes.

6.3.2.16.8. PROCEDIMIENTO

- Cúrese el espécimen de ensayo en la cámara húmeda, teniendo cuidado de evitar los goteos o escurrimientos de agua. Remuévanse los especímenes de los moldes, cuando se hayan cumplido $23\frac{1}{2} \pm \frac{1}{2}$ horas después de la adición del agua al cemento en la operación de mezclado. Cúrese en agua por un período de 48 horas. Al cumplir una edad de 72 ± 1 horas después de la adición del agua al cemento, retírense del agua los especímenes, séquense con un trapo húmedo y mídase inmediatamente su longitud.
- Inmediatamente después de la medición inicial tomada al final del período de curado, alcénense al aire los especímenes en el cuarto de secado por un período de 25 días. Cada espécimen deberá estar separado de cualquier otro o de cualquier sólido del cuarto de secado una distancia de por lo menos 25 mm (1"), en cualquier punto. Tómense lecturas de longitud de los especímenes a los 4, 11, 18 y 25 días de almacenamiento al aire. Tómense las lecturas preferiblemente en un ambiente con humedad relativa de $50 \pm 4\%$, mientras se mantienen los especímenes a una temperatura de $23,0 \pm 1,7^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3^\circ\text{F}$). Téngase especial cuidado en conservar la temperatura y la humedad dentro de las tolerancias y alrededor del promedio.

6.3.2.16.9. CÁLCULOS

Repórtese la contracción lineal de cada espécimen basándose en la medición inicial (tomada después del período de curado a una edad de 72 horas) y las mediciones después de 4, 11, 18 y 25 días de almacenamiento al aire, como millonésima y como porcentaje de la longitud de medición efectiva.

Repórtese el cambio promedio por unidad de longitud, expresado en millonésimas y como un porcentaje de la longitud de medición efectiva, de los cuatro especímenes pertenecientes a una misma tongada de mortero, como contracción por secado del mortero. Si uno de los cuatro especímenes de una tongada resulta defectuoso, pueden efectuarse los cálculos con los otros tres.

Si más de un espécimen resulta defectuoso, debe repetirse el ensayo con una nueva tongada de cemento. Si se ha ensayado más de una tongada, repórtese el promedio de los resultados de las tongadas.

Nota 1: Cuando la persona que efectúa el ensayo esté claramente consiente de que hubo una desviación importante en el procedimiento prescrito, los resultados observados deben descartarse, sea que resulten o no coherentes con otros que sí son confiables.

Puede darse la situación, como en el caso de la temperatura, que pueda hacerse una corrección, la cual puede hacer valer los resultados.

Puede calcularse una contracción por secado última del mortero, dibujando los valores de contracción en función del recíproco del tiempo. El tiempo incluye el período de curado en húmedo.

6.3.2.16.10. PRECISIÓN

Resultados de los ensayos (cada uno obtenido de cuatro determinaciones de la misma tongada) efectuados por un mismo operador en días diferentes, no deberán diferir por más de 70 milonésimas.

Los resultados del ensayo (cada uno obtenido por el promedio de las cuatro determinaciones de la misma tongada) obtenidas por dos laboratorios, no deberán diferir por más del 25% de su promedio.

SECCION 6.3.2.17.

RESISTENCIA A LA TENSIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C 190 AASHTO T132)

6.3.2.17.1. OBJETO

Este ensayo define el método para determinar la resistencia a la tensión de morteros de cemento hidráulico.

6.3.2.17.2. EQUIPO Y MATERIALES

B.1. Balanzas

Deben ser equipos de precisión para efectuar pesadas de 1000 g a 2000 g.

B.2. Tamices

Se requieren los tamices de 850 μm (No.20) y 600 μm (No.30).

B.3. Probetas Graduadas

Preferentemente de un tamaño tal, que permitan medir el agua de amasado en una sola operación, pueden ser de 100, 150, 200 ml etc.; la precisión debe ser de ± 1.0 ml.

B.4. Moldes

Estarán contruidos con un metal no atacable por los morteros de cemento, y con espesor suficiente para evitar deformaciones al verter el mortero. Pueden usarse moldes en cadena como los mostrados en la **Figura 6.3_ 34**.

Las dimensiones del molde que conforma una briqueta se muestran en la **Figura 6.3_ 36** y además deberán cumplir lo siguiente: la distancia entre las caras interiores a lo largo del eje de simetría transversal será de 25,4 mm (1") con variación permisible de $\pm 0,13$ mm (± 0.005 ") para moldes nuevos y de $\pm 0,25$ mm (± 0.01 ") para moldes en uso. La altura medida en los puntos de mayor espesor de las paredes, a cada lado de la cintura, debe ser de 25,4 mm (1"), con variación permisible de + 0,10 mm (+ 0.004") y -0,05 mm (-0.002") para moldes nuevos; y de 0,5 mm (-0.02") para moldes en uso.

B.5. Máquina de ensayo

Deberá poder aplicar a la muestra sin interrupción, una carga de 272 ± 12 kg/minuto (600 ± 25 lbf/min) y estará dotada de dispositivos para regular la velocidad de aplicación de la carga. Deberá cumplir los siguientes requisitos de exactitud: Para cargas no menores de 45 kg (100 lbf) no excederá $\pm 1,0\%$ para máquinas nuevas, ni de $\pm 1,5\%$ para las usadas. La máquina debe ser calibrada frecuentemente.

B.6. Agarraderas

Las agarraderas donde se coloca la muestra para someterla a tensión, estarán de acuerdo con la **Figura 6.3_ 35**.

B.7. Palustre herramientas menores

El palustre tendrá una hoja de acero de 100 a 150 mm (4" a 5").

B.8.Arena

Debe ser de sílice natural, normalizada para ensayos, que pase por el tamiz de 850 μm (No.20) y quede retenida en el tamiz de 600 μm (No.30). Se considera que cumple la condición normalizada, si al tomar una muestra de 100 g se retiene menos de 15 g en el tamiz de 850 μm (No.20) y no más de 5 g pasan el tamiz de 600 μm (No.30), después de 5 minutos de tamizado continuo.

6.3.2.17.3. CONDICIONES AMBIENTALES

La temperatura de la sala de trabajo, herramientas, materiales estará entre 20° y 27,5°C (68° y 81.5°F). El agua de curado y la utilizada para sumergir las muestras, estará entre 23° \pm 1,7°C (73.4°F \pm 3°F). La humedad relativa no debe ser menor del 50%. Se debe contar con cámara húmeda con suficiente espacio y con una humedad relativa no menor del 90%.

6.3.2.17.4. MUESTRAS PARA ENSAYO

Tres o más briquetas, deben construirse para cada período de ensayo, teniendo en cuenta las dimensiones mostradas en la **Figura 6.3_ 36**.

Las proporciones en peso para formar el mortero, deben ser de una (1) parte de cemento seco por tres (3) partes de arena seca. Las cantidades que deben mezclarse por cochada, son: para 6 muestras entre 1000 y 1200 g; para 9 muestras entre 1500 y 1800 g.

El porcentaje de agua requerido para la mezcla, dependerá del porcentaje requerido para producir una pasta normal de cemento puro, del mismo que se va a usar en el mortero y de acuerdo a la **Tabla 6.3_ 38**.

Cuando se usan proporciones de cemento y arena diferentes de 1:3, la cantidad de agua de amasado se calcula con la siguiente fórmula:

$$Y = 2/3 [P/n+1] + K$$

Donde:

Y = Porcentaje de agua, requerido para elaborar el mortero de arena (referido al peso de los materiales secos).

P = Porcentaje de agua necesario para producir una pasta de cemento puro, de consistencia normal.

n = Número de partes de arena, por una de cemento, en peso.

K = Constante que depende de la arena usada, para la arena normalizada de Ottawa, tiene un valor de 6.5.

Tabla 6.3_38. PORCENTAJE DE AGUA PARA MORTEROS ESTÁNDAR

Porcentaje de agua para producir una pasta de consistencia normal	Porcentaje de agua para elaborar un mortero de 1 parte de cemento por 3 partes de arena normalizada
15	9,0
16	9,2
17	9,3
18	9,5
19	9,7
20	9,8
21	10,0
22	10,2
23	10,3
24	10,5
25	10,7
26	10,8
27	11,0
28	11,2
29	11,3
30	11,5

6.3.2.17.5. PROCEDIMIENTO

a. Preparación del Mortero

Se pesan los materiales secos, se colocan sobre una placa lisa y no absorbente; cuidadosamente se mezclan arena y cemento y se forma un cono, luego se le abre un cráter en el centro, dentro de éste se vierte la cantidad de agua determinada y con ayuda del palustre se va pasando el material seco dentro del cráter, empleando en esta operación 30 segundos.

Durante los próximos 30 segundos y mientras se permite la absorción de agua, se van cubriendo con mortero seco las manchas de humedad que van apareciendo por evaporación y facilitar la absorción completa. Luego se termina la operación, mezclando durante 90 segundos en forma continua y vigorosa. Durante esta operación, el operador debe usar guantes de caucho bien ajustados.

b. Llenado de los moldes

Antes de proceder a llenar los moldes, se recubren con una capa delgada de aceite mineral y se colocan sobre una placa de vidrio o metal sin aceitar. Terminada la operación de mezclado, se llena el molde con el mortero, teniendo cuidado de no compactarlo y en tal forma que sobresalga por encima de los bordes del molde. Luego el mortero debe presionarse 12 veces con los pulgares en cada briqueta en puntos distribuidos sobre la totalidad de la superficie de la muestra.

La fuerza aplicada por los pulgares debe estar comprendida entre 7 y 9 kg (15 a 20 lbf) y no debe durar más tiempo que el necesario para obtenerla.

Luego se vierte más mortero sobre la superficie de la muestra, se enrasa y alisa con el palustre.

Al alisar la superficie, no se debe ejercer una fuerza mayor de 2 kg (4 lbf) ni deslizarlo más veces de las necesarias. Luego se coloca en la cara inferior del molde, una placa de vidrio o metal previamente aceitada. Luego, con ayuda de las manos, se hacen girar el molde y las placas, alrededor de su eje longitudinal y se deja descansar sobre la placa que ha sido aceitada. Se retira la placa superior y sobre la superficie de la muestra se hacen las mismas operaciones de sobrellenado, presión con los pulgares y alisado, hechas a la otra superficie. No se debe compactar la muestra con pisones.

c. Almacenamiento de muestras

Terminada la operación de llenado, el conjunto formado por las muestras, el molde y la placa, se lleva a la cámara húmeda durante 20 o 24 horas, con las caras superiores de las muestras

expuestas al aire húmedo y protegidas contra la eventual caída de gotas. Si las muestras se retiran antes de las 24 horas, permanecerán en la cámara hasta que se complete este tiempo. Si las muestras no van a ser ensayadas a las 24 horas, deberán sumergirse en agua limpia, dentro de los tanques construidos para tal fin. El agua del tanque deberá renovarse frecuentemente, para que siempre esté limpia.

6.3.2.17.6. ENSAYO

Las muestras que se van a ensayar a las 24 horas, se sacarán de la cámara e inmediatamente se pasan a la máquina de prueba. Si se sacan varias muestras, deben cubrirse con una toalla húmeda hasta el momento de pasar a la máquina de prueba. En el caso de que las muestras se encuentren en el tanque, se sacarán una a una y se llevarán a la máquina de prueba. Si es necesario demorar la prueba, después de haber sacado la muestra del tanque, deberá sumergirse en agua a temperatura de $23 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ ($73.4 \pm 3^{\circ}\text{F}$) hasta el momento del ensayo.

Las superficies de las muestras deben secarse y retirar los granos de arena desprendidos. Las superficies de las agarraderas que van a estar en contacto con la muestra, deben conservarse limpias. Los rodillos de apoyo, deben aceitarse y mantenerse en tal forma que puedan girar libremente. Los soportes de las agarraderas deben estar libres de residuos y los pivotes deben tener un ajuste correcto para que las agarraderas puedan girar libremente.

Las muestras se centrarán cuidadosamente en las agarraderas y se les aplicará una carga en forma continua, a una tasa de $272 \pm 12 \text{ kg/min.}$ ($600 \pm 25 \text{ lbf/min.}$).

Todas las muestras deben ser probadas dentro de las tolerancias de tiempo establecidas en la **Tabla 6.3_39**

Tabla 6.3_39. TOLERANCIAS

Edad de las muestras	Tolerancia permisible
24 horas	$\pm \frac{1}{2}$ hora
3 días	± 1 hora
7 días	± 3 horas
28 días	± 12 horas

6.3.2.17.7. CÁLCULOS

Se anotará la carga máxima indicada por la máquina de ensayo en el momento de la rotura y se calcula la resistencia a la tensión en kg/cm^2 o lbf/pie^2 . La resistencia del mortero será el promedio de los resultados obtenidos con las muestras de la misma tongada y el mismo período de ensayo.

Las muestras defectuosas o resistencias que difieran en más del 15% del promedio, no se tendrán en cuenta. Si una vez hecho este descarte, se dispone de un solo valor, deberá repetirse el ensayo.

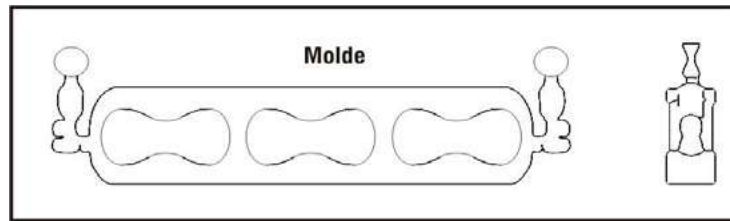


Figura 6.3_34. MOLDE

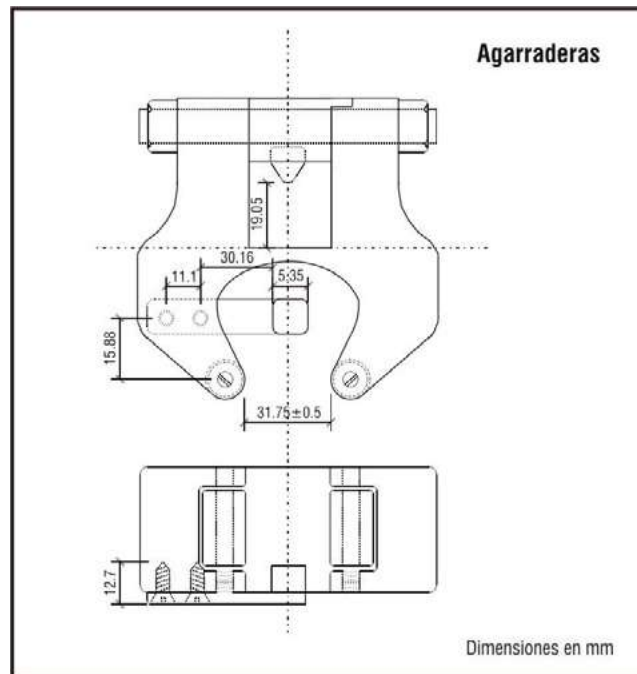


Figura 6.3_35. AGARRADERAS

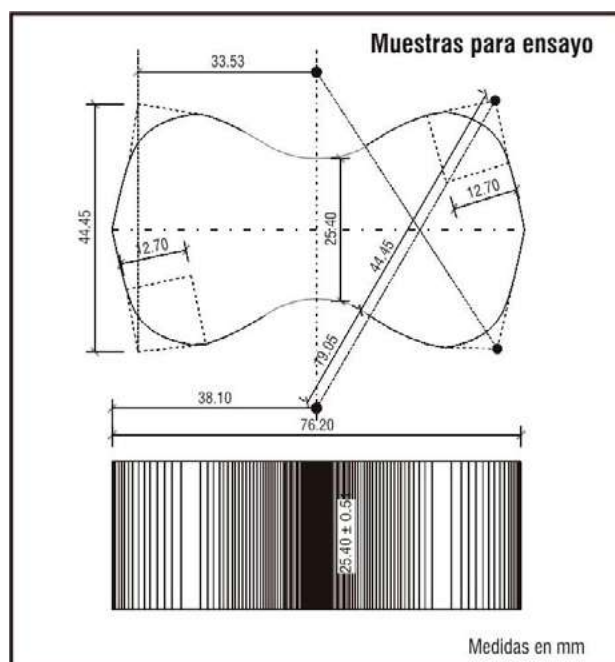


Figura 6.3_36. MUESTRAS PARA ENSAYOS

SECCION 6.3.2.18.

CONTENIDO DE AIRE EN MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C 185 AASHTO T137)

6.3.2.18.1. OBJETO

Este método describe el procedimiento que debe emplearse para la determinación del contenido de aire en un mortero de cemento hidráulico.

6.3.2.18.2. CONDICIONES GENERALES

B.1. Temperatura y Humedad

La temperatura ambiente y la de los materiales secos debe mantenerse entre 20 y 27,5°C (68° y 81,5°F). La temperatura del agua de amasado debe ser de $23 \pm 1,7^\circ\text{C}$ ($73,4 \pm 3^\circ\text{F}$).

La humedad relativa del laboratorio no debe ser inferior al 50%

6.3.2.18.3. EQUIPOS Y MATERIALES

- Mesa de flujo, molde de flujo y calibrador, de conformidad con los requerimientos de la **Sección 6.3.2.15**.
- Medidor

Debe ser un cilindro de medida con un diámetro interior de $76,2 \pm 1,6$ mm y una profundidad aproximada de 90mm, patronado para contener 400 ± 1 ml de agua a 23°C (73,4°F) (Ver Nota 1).

Para los fines de este ensayo, la capacidad del medidor en ml, es el peso de agua en gramos contenida en éste, dividido por 0,998, sin hacer corrección por el efecto de flotación en el aire. Debe tener paredes de espesor uniforme, lo mismo que el fondo, y no inferiores a 2,92 mm. El peso del medidor vacío, no debe ser mayor de 900 g; se construye de un material inatacable por el mortero de cemento.

Nota 1: La medida de 400 ml en el medidor puede ser calibrada rápidamente, llenándolo con agua destilada a 23°C (73,4°F), hasta un punto donde el menisco sobrepase en forma apreciable el borde, colocando una placa de vidrio limpio encima del medidor y permitiendo que el exceso de agua se escape. La ausencia de burbujas de aire debe ser comprobada a través del vidrio, para asegurar que el medidor está completamente lleno.

Se tendrá cuidado de secar el exceso de agua de las paredes del medidor, antes de pesarlo.

- Mezcladora, recipiente y espátula. Deben cumplir con lo especificado en la **Sección 6.3.2.11**.
- Regla. Debe ser recta, de acero, con una longitud no menor de 102 mm y un espesor de $2,4 \pm 0,8$ mm.
- Espátula

Debe ser metálica, con una hoja de 150 mm de longitud y 13 mm de ancho, con bordes rectos y mango de madera.

- **Balanzas**

Deben tener la capacidad suficiente para pesar el mortero y el recipiente (aprox. 2 kg), la precisión en 2 kg será ± 1 g.

- **Tamices**

Deben usarse los Tamices de 850 μm (No.20) y 600 μm (No.30).

- **Probeta**

Deben ser de vidrio, con una capacidad de 250 ml graduadas cada 2 ml, para medir el agua de mezcla y que viertan el volumen indicado a 20°C (68°F). La precisión es ± 2 ml. Las líneas de las graduaciones principales deben ser circulares y numeradas. Las intermedias deben distinguirse por una longitud no menor de 1/5 de las principales y las menores deben tener una longitud no inferior a 1/7 de las principales. Las subdivisiones pueden ser omitidas para los primeros 10 ml.

- **Apisonador**

Debe ser hecho de un material no absorbente, ni abrasivo, ni frágil, como por ejemplo un compuesto de caucho, con dureza Shore A de 80 ± 10 durómetros, o roble seco no absorbente por inmersión durante 15 min. en parafina a una temperatura aproximada de 200°C(392°F); debe tener una sección transversal de 13 x 26 mm y una longitud conveniente (130 a150 mm). La cara apisonadora debe ser plana y normal a su eje longitudinal.

- **Barra para golpear**

Debe ser de madera dura, con un diámetro de 16 mm y una longitud de 150 mm.

- **Cuchara**

Debe ser metálica, ordinaria, tipo cocina, con una longitud total aproximada de 230 mm, la cavidad debe ser aproximadamente de 100 mm de largo, 63 mm de ancho y de 13 a19 mm de profundidad.

- **Arena**

La arena usada para hacer el mortero normal debe ser de sílice natural, normalizada para ensayos, que pase por el tamiz de 850 μm (No.20) y que quede retenida en el tamiz de 600 μm (No.30). Se considera que cumple con la condición anterior, si al tomar una muestra de 100 g, una cantidad menor de 15 g es retenida en el tamiz de 850 μm (No.20) y no más de 5 g pasan por el tamiz de 600 μm (No.30), después de 5 minutos de tamizado continuo.

6.3.2.18.4. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- **Mortero**

La proporción del mortero patrón debe ser de 350 g de cemento y 1400 g de arena (estándar 20-30) con agua suficiente para obtener un flujo de $87,5 \pm 7,5\%$ en la mesa de flujo, cuando se determina de acuerdo con el numeral 2.

6.3.2.18.5. PROCEDIMIENTO

1. Mezcla de mortero

Debe hacerse de acuerdo con la **Sección 6.3.2.11**.

2. Determinación del flujo

Debe secarse cuidadosamente la parte superior de la mesa de flujo y colocarse el molde de flujo en el centro de ésta. Usando la cuchara debe colocarse en el molde una capa de mortero de 25 mm de espesor aproximadamente, y golpearse 20 veces con el apisonador, ejerciendo una presión apenas suficiente para asegurar un llenado uniforme del molde.

Luego debe llenarse el molde con mortero y apisonarse del mismo modo como se especificó para la primera capa. A continuación, debe cortarse el mortero para obtener una superficie plana y nivelarse la pasta en la parte superior del molde usando la regla con un movimiento de corte.

Debe secarse y limpiarse la mesa, teniendo especial cuidado de limpiar el agua existente alrededor de los bordes del molde. Al cabo de 1 minuto de haber terminado la operación de mezcla, debe retirarse el molde del mortero e inmediatamente después golpearse la mesa, dejándola caer desde una altura de 12 mm, 10 veces en 6 segundos. El flujo es el consecuente incremento del diámetro promedio de la masa de mortero debido a los golpes y se determina usando el calibrador, midiendo en la mesa de mortero al menos cuatro diámetros, equiespaciados entre sí y expresando tales diámetros como porcentaje del diámetro original.

Se debe hacer el mismo procedimiento para distintos morteros de prueba, variando los porcentajes de agua hasta que el flujo especificado sea obtenido, usando mortero fresco en cada ocasión.

3. Peso para 400 ml de mortero: Una vez encontrada la cantidad de agua que produce un flujo entre 80% y 95%, inmediatamente debe determinarse el peso para 400 ml de mortero, usando la masa sobrante de la mezcla para la cual se obtuvo el flujo mencionado y no aquella que se utilizó en la determinación de éste. Usando la cuchara, se deposita suavemente el mortero dentro del medidor de 400 ml, en tres capas iguales, distribuyendo cada capa mediante el clavado de la espátula 20 veces alrededor de la superficie en el interior del medidor en una revolución completa. Debe considerarse un clavado de la espátula con un movimiento completo de ésta hacia arriba y hacia abajo, sostenida en posición vertical y penetrando en la capa de mortero. Al distribuir la primera capa, la espátula no debe tocar el fondo del medidor. Al distribuir la segunda y la última capa, la espátula debe empujarse tan sólo con la fuerza suficiente para penetrar la superficie de la capa inmediatamente anterior.

Después de haber llenado el medidor y distribuido su última capa en la forma descrita, deben golpearse sus lados suavemente con el extremo de la barra, para golpear una vez en 5 diferentes puntos igualmente distanciados alrededor del medidor, con el fin de liberar aire posiblemente atrapado en el mortero. Debe evitarse dejar espacios entre el mortero y las paredes como resultado de la operación de distribución. Luego se enrasa el mortero para obtener una superficie plana en la parte superior del medidor, mediante movimientos de sierra, realizando dos pasadas sobre toda la superficie, la segunda pasada en dirección tal que forme ángulo recto con la primera. Si al enrasar granos sueltos de arena, causan surcos en la superficie, tales granos deben ser removidos y debe volverse a enrasar. La operación completa de llenado y enrasado del medidor debe hacerse en un tiempo de 1½ minutos.

A continuación, se limpia el mortero y el agua adherida a las paredes del medidor, y se pesa con su contenido, anotando el peso del mortero en gramos, luego de restar el peso del medidor.

6.3.2.18.6. CÁLCULOS

A.FÓRMULA USUAL

Calcúlese el contenido de aire del mortero a partir de la siguiente fórmula, la cual ha sido deducida según las características del medidor, las proporciones de la mezcla y tomando como peso específico del cemento Portland 3,15 y de la arena 2,65.

Contenido de aire:

$$\% \text{ por volumen} = 100 - W \frac{(182,7 + p)}{(2000 + 4p)} \quad (1)$$

Siendo:

W = Peso de 400 ml de mortero en gramos.

p = Porcentaje de agua en la mezcla basado en el peso del cemento usado.

Cuando el cemento hidráulico es diferente al Portland, el valor de su peso específico debe sustituirse por el 3.15 mostrado en la deducción de la fórmula que sigue a continuación.

B.DEDUCCIÓN DE LA FÓRMULA

Sean:

W_a = Peso actual o real del mortero por unidad de volumen, determinado según el ensayo.

W_e = Peso teórico del mortero, por unidad de volumen, suponiendo no existencia de aire.

Entonces:

Contenido de aire:

$$\% \text{ por volumen} = 100 \left(1 - \frac{W_a}{W_e} \right) \quad (2)$$

Ahora:

$$W_e = \frac{W}{400g} \text{ ml}$$

Donde:

W = Peso en g del mortero de los 400 ml (numeral 17).

$$W_e = \frac{350 + 1400 + 350 \times p \cdot 0,01}{\frac{350}{3,15} + \frac{1400}{2,65} + \frac{350}{1}} = \frac{5 + 0,01p}{1,827 + 0,01p}$$

Donde:

p = Porcentaje de agua de mezcla basado en el peso del cemento.

Sustituyendo W_a y W_e en la ecuación (2) se obtiene la ecuación (1).

6.3.2.18.7. INFORME

Se reportará el contenido de aire del mortero de cemento hidráulico en porcentaje por volumen, aproximando el dato al 1%.

6.3.2.18.8. PRECISIÓN Y TOLERANCIAS

Solamente deberá hacerse una determinación del contenido de aire en una mezcla. El contenido final de aire será el promedio de dos determinaciones.

Las dos determinaciones se harán sobre materiales (mortero, arena) similares.

En caso de realizarlos un mismo operario, ambas determinaciones del contenido de aire no variarán entre sí en más de 2%. Si las determinaciones son hechas en distintos laboratorios, no variarán entre sí en más de 3%

SECCION 6.3.2.19.

EXPANSIÓN POTENCIAL DE MORTEROS DE CEMENTO PORTLAND EXPUESTOS A LA ACCIÓN DE SULFATOS (ASTM C452)

6.3.2.19.1. OBJETO

Este método tiene por objeto establecer el método para determinar la expansión de barras de mortero hechas con Cemento Pórtland y yeso, en proporciones tales, que la mezcla tenga un contenido de anhídrido sulfúrico (SO_3) de 7,0 por ciento en peso. Es solamente aplicable al Cemento Pórtland.

6.3.2.19.2. EQUIPO

A. BALANZAS

La precisión de las balanzas en uso debe ser de ± 1 g bajo una carga de 1.000 g y de ± 2 g bajo una carga de 2.000 g.

- Pesas, probetas graduadas, moldes, topes de medida. Deben cumplir con los requisitos establecidos en la **Sección 6.3.2.4**, "Expansión del cemento en el autoclave".

B. MESA DE FLUJO

Deben cumplir con los requisitos establecidos en la **Sección 6.3.2.15** "Fluidez de morteros de cemento hidráulico (Mesa de flujo)".

- Mezcladora mecánica, paleta mezcladora y recipiente de mezcla. Deben cumplirse con los requisitos establecidos en la **Sección 6.3.2.11** "Mezcla mecánica de pastas y morteros de consistencia plástica".

C. PALUSTRE Y VARILLA COMPACTADORA

Deben cumplir con los requisitos establecidos en la **Sección 6.3.2.13** "Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico".

D. CÁMARA HÚMEDA

Debe tener las dimensiones adecuadas para que las muestras puedan almacenarse con facilidad. Además, debe mantenerse a una temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3^\circ\text{F}$) y a una humedad relativa no menor de 90%.

6.3.2.19.3. MATERIALES

- La arena gradada para elaborar las muestras de ensayo debe cumplir con los requisitos establecidos en la **Sección 6.3.2.13** "Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico".
- En el ensayo se emplea yeso natural de alta pureza que cumpla con la granulometría especificada en la **Tabla 6.3_40**.

Tabla 6.3_40. GRANULOMETRÍA PARA EL YESO A SER USADO

Tamiz	% que pasa
150 μm (No.100)	100
75 μm (No.200)	94+
45 μm (No.325)	90+

Los porcentajes de cemento y yeso, requeridos para proporcionar una mezcla que contenga 7,0% de anhídrido sulfúrico (SO₃) en peso, se calculan con las siguientes expresiones:

$$\text{Cemento \%} = \frac{g - 7,0}{g - c} \times 100$$

$$\text{Yeso, \%} = \frac{7,0 - c}{g - c} \times 100$$

Siendo:

g: Contenido de anhídrido sulfúrico (SO₃) en el yeso, en porcentaje.

c: Contenido de anhídrido sulfúrico (SO₃) en el cemento portland, en porcentaje.

6.3.2.19.4. TEMPERATURA Y HUMEDAD

La temperatura del sitio de ensayo, la de los materiales secos y la del agua de mezcla deberá mantenerse entre 20 y 27,5°C (68 y 81.5°F) y la humedad relativa del sitio de ensayo no deberá ser menor del 50%.

6.3.2.19.5. NÚMERO Y DIMENSIONES DE LOS ESPECÍMENES DE ENSAYO

1. Normalmente, deben prepararse seis especímenes para cada cemento, de 25 x 25 x 285 mm (1 x 1 x 11¼"), haciendo dos mezclas separadas y tomando tres muestras de cada una.
2. En ensayos rutinarios, deben usarse especímenes de 25 x 25 x 160 mm (1 x 1 x 6¼"), pero en caso de que se encuentren discrepancias, deben regir los resultados obtenidos con las muestras descritas en el numeral 1.

6.3.2.19.6. PREPARACIÓN DE LOS MOLDES

Los moldes deben limpiarse perfectamente; si es necesario, sus juntas externas y las líneas de contacto de los moldes y de las placas de base deben sellarse con cera. Se arman y se recubren interiormente con una cinta plástica o una capa de aceite mineral, para que la muestra pueda retirarse fácilmente. Luego se limpian los topes y se colocan en su sitio, cuidando que estén libres de aceite.

6.3.2.19.7. PROPORCIONES, CONSISTENCIA Y MEZCLA DEL MORTERO

3. Las cantidades de materiales secos requeridos para cada dosificación son: 400 g (cemento más yeso) y 1.100 g de arena.
4. La cantidad de agua de mezclado medida en mililitros, debe ser tal, que produzca un flujo comprendido entre 100 y 115 ml determinado por el procedimiento descrito en la **Sección 6.3.2.15** "Fluidez de morteros de cemento hidráulico (Tabla de flujo)".

Nota 1: La ASTM recomienda: La cantidad de agua de mezclado deberá ser de 194 ml para un Cemento Portland sin incorporación de aire y de 184 ml para un Cemento Portland con incorporación de aire.

5. El mortero se mezcla de acuerdo con el procedimiento descrito en la **Sección 6.3.2.11** "Mezcla de pasta y morteros de consistencia plástica", excepto que debe añadirse primero el yeso al agua, después, iniciarse el mezclado y mezclarse a velocidad de 140 ± 5 rpm, durante 15 segundos.

6.3.2.19.8. LLENADO DE MOLDES

Inmediatamente después de terminar el ensayo de flujo, se regresa el mortero al recipiente, se limpia el mortero de las paredes del mismo y se vuelve a mezclar a velocidad de 285 ± 10 rpm durante 15 segundos. El recipiente y la paleta se remueven y luego se quita el exceso de mortero de ésta. El molde se llena en dos capas, compactando cada una de ellas con la varilla. Se compacta el mortero en las esquinas, alrededor de los topes de medida y a lo largo de la superficie del molde con la varilla, hasta obtener un mortero homogéneo. Después de compactada la capa superior, se enrasa y se alisa la superficie con unas pocas pasadas del palustre.

6.3.2.19.9. ALMACENAMIENTO DE LOS ESPECÍMENES DE ENSAYO

A. ALMACENAMIENTO INICIAL

6. Las muestras deben curarse en la cámara húmeda dentro de los moldes a temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 22 a 23 horas. Las muestras se remueven de los moldes y se identifican adecuadamente. Luego se sumergen en agua a temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73,4 \pm 3^\circ\text{F}$) durante 30 minutos antes de medir la longitud inicial.

B. ALMACENAMIENTO SUBSIGUIENTE

7. Después de medidas las barras, se almacenan horizontalmente en agua a la misma temperatura prescrita en el numeral anterior. Las barras deben almacenarse separadas entre sí a una distancia mínima de 6 mm ($\frac{1}{4}$ ") por todos los lados y cubrirse con no menos de 13 mm ($\frac{1}{2}$ ") de agua. La relación de volumen de agua al volumen de las barras no debe exceder de 5 a 1 para prevenir la excesiva acción disolvente. El agua debe renovarse cada 7 días en los primeros 28 días y después cada 28 días.

6.3.2.19.10. MEDIDA DE LONGITUD

8. Se miden las barras con el comparador de longitudes, una por una, secándolas previamente con una tela húmeda.

9. La primera lectura debe hacerse $24 \text{ h} \pm 15$ minutos después del mezclado del cemento y el agua; la muestra debe medirse nuevamente a los 14 días.

Nota 2: Pueden obtenerse información adicional colocando nuevamente las barras en el agua de almacenamiento y haciendo medidas adicionales a otras edades.

6.3.2.19.11. CÁLCULOS

10. La diferencia en longitud de la muestra a las 24 horas y a los 14 días, calculada con aproximación del 0.001 por ciento de la longitud efectiva, debe interpretarse como la expansión de la muestra en ese período.
11. Todos los especímenes remanentes después de 14 días, deben conformar un conjunto de por lo menos tres especímenes, con un intervalo permisible de variación en los resultados dependiendo del número de especímenes remanentes, así:

Tabla 6.3_41.

No. Especímenes	Máxima Variación permisible, %
3	0,008
4	0,010
5	0,011
6	0,012

Infórmese el promedio de los especímenes que conforman el conjunto, con aproximación al 0,001.

6.3.2.19.12. PRECISIÓN

12. Los resultados de dos ensayos efectuados por un mismo operador sobre el mismo material, no diferirán en más de 0,009%.
13. Los resultados de dos ensayos, efectuados por laboratorios distintos, sobre un mismo material, no diferirán en más de 0,014%.

CAPITULO 6.3.3.

ENSAYOS DEL HORMIGÓN

SECCION 6.3.3.1.

MÉTODO PARA EXTRAER MUESTRAS DEL HORMIGÓN FRESCO (ASTM C 172 AASHTO T141)

6.3.3.1.1. OBJETO

Este método establece los procedimientos para extraer muestras representativas del hormigón fresco, destinadas a ser ensayadas. Se aplicará a hormigones de cemento hidráulico, confeccionado tanto en obra como en el laboratorio.

Este método no especifica planes de muestreo para control estadístico u otros efectos.

6.3.3.1.2. DEFINICIONES

A.HORMIGÓN FRESCO

Para los efectos de este método, hormigón fresco es la mezcla que ha terminado su proceso de preparación, que aún no ha sido colocada y que se encuentra dentro de un lapso de dos horas, si fue preparada utilizando cementos de grado corriente y una hora, si se utilizaron los de grado de alta resistencia; este tiempo se mide desde el comienzo del amasado. Transcurrido los plazos señalados, las muestras que se obtengan deben considerarse como muestras especiales y tratarse como tales.

B.MUESTRA DE FABRICACIÓN

Es la destinada a evaluar la calidad potencial del hormigón; refleja las características de los materiales, la dosificación y el mezclado. Se extrae de un lugar tan próximo como sea posible a la salida de la hormigonera.

C.MUESTRA EN SITIO

Es la destinada a evaluar la calidad del hormigón junto al sitio de colocación; se extrae de un lugar tan próximo como sea posible al de colocación.

D.MUESTRA ESPECIAL

Es la destinada a evaluar la calidad del hormigón en cualquier etapa del proceso de hormigonado. Refleja los efectos de operaciones en puntos intermedios entre la salida de la hormigonera y el lugar de colocación, o los efectos del ambiente en la que se ha conservado.

6.3.3.1.3. EQUIPOS Y MATERIALES

A.RECIPIENTES DE MUESTREO

Deben ser de material resistente, no absorbente y químicamente inerte con los componentes del hormigón, estancos al agua y de capacidad suficiente para contener la muestra o las porciones de ella. Deben encontrarse limpios y húmedos al momento de su uso.

El recipiente para muestreo de hormigón debe tener una abertura de dimensiones tales que permita el remezclado de la muestra completa por medio de la pala.

Nota 1: Comúnmente se emplean carretillas o bateas metálicas.

6.3.3.1.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRAS

A.MUESTREO

A.1.Tamaño de la Muestra

El tamaño de la muestra de hormigón fresco, será superior a una y media vez el volumen necesario para efectuar los ensayos requeridos, y en ningún caso inferior a 30 litros. Cada muestra de hormigón incluirá al menos dos especímenes

A.2.Tiempo

El tiempo transcurrido entre la obtención de la muestra y el moldeo de las probetas, incluidos los controles requeridos al hormigón fresco, deberá ser el mínimo posible y en ningún caso excederá de 15 min. Extracción de Muestras: Muestras de Fabricación.

A.3.Hormigoneras Estacionarias

Efectúe la extracción en uno o más intervalos regulares, cuando la hormigonera se encuentre aproximadamente en la mitad del período de descarga, sin incluir el principio ni el final de ésta (Nota 2), y sin restringir el flujo de salida del hormigón.

Extraiga la muestra o las porciones de muestra necesarias, pasando el recipiente de muestreo por toda la sección del flujo de descarga, o bien desviando completamente el flujo hacia el recipiente.

A.4.Camiones Hormigoneras

Regule el flujo de descarga del hormigón mediante la velocidad de rotación del tambor, sin estrangular el flujo con la compuerta.

Efectúe la extracción de la muestra en uno o más intervalos regulares durante la descarga de la hormigonera, sin incluir el principio ni el final de ésta (Nota 2).

Extraiga la porción de cada intervalo pasando una sola vez un recipiente de muestreo por toda la sección del flujo de descarga, o bien desviando completamente el flujo hacia el recipiente.

B.EXTRACCIÓN DE MUESTRAS: MUESTRAS EN SITIO

B.1.Hormigón en Acopio

Extraiga por lo menos cinco porciones de muestra de diferentes puntos del acopio. Cuando el hormigón se encuentra depositado sobre el terreno, evite que la muestra se contamine por arrastre de material de la superficie de apoyo.

B.2.Hormigón en Tolva

Extraiga la muestra retirando porciones en tres o más intervalos regulares durante la descarga de la tolva, sin incluir el principio ni el final de ésta. (Nota 2).

Nota 2: Se considera que el hormigón tiene la homogeneidad suficiente entre el 10% y el 90% de la descarga.

B.3.Hormigón en Medios de Transporte

Extraiga la muestra por uno de los procedimientos descritos en Muestras de Fabricación y muestras en Sitio prefiriendo el que mejor se adapte a las condiciones prevaletentes.

6.3.3.1.5. PROCEDIMIENTO

A.TRANSPORTE

Cuando sea necesario transportar el hormigón muestreado, hágalo en los recipientes de muestreo hasta el lugar donde se confeccionarán las probetas o se harán los controles de ensayos.

B.PROTECCIÓN

Cubra las muestras durante el período comprendido entre su extracción y la confección de las probetas o controles requeridos de hormigón fresco, a fin de protegerlas de los agentes climáticos.

Nota 3: Comúnmente se emplean arpilleras húmedas, lonas húmedas o láminas de polietileno.

C.REMEZCLADO

Antes de llenar los moldes o realizar los ensayos, remezcle la muestra con pala en el mismo recipiente de muestreo.

SECCION 6.3.3.2.

ELABORACIÓN Y CURADO EN EL LABORATORIO DE MUESTRAS DE HORMIGÓN PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN Y FLEXIÓN (ASTM 192 AASHTO T126)

6.3.3.2.1. OBJETO

Este método establece los procedimientos para preparar mezclas de prueba de hormigón en laboratorio.

Es aplicable a mezclas que se emplean en ensayos del hormigón fresco y en la confección de probetas para ensayos del hormigón endurecido con los propósitos de: verificar la calidad de los materiales componentes y su correcta dosificación, investigar procedimientos de elaboración y ensayos e investigar propiedades y características del hormigón.

6.3.3.2.2. DEFINICIONES

Los términos empleados en este método, se encuentran definidos en la **Sección 6.3.1.2.**

6.3.3.2.3. EQUIPOS Y MATERIALES

C.1. Recipientes

Los recipientes que se usen para contener materiales o para saturar áridos, deberán ser limpios, impermeables y químicamente inertes respecto de los componentes del hormigón; y estarán provistos de tapas herméticas cuando sea necesario.

C.2. Balanzas

Tendrán una capacidad mayor que la masa del recipiente, más la masa del material por pesar y una precisión igual o superior al 0,1% de la pesada.

Nota 1: En general se recomienda tener por lo menos una balanza de 60 a 100 kg de capacidad para pesar áridos y cemento y otra de 1 a 2 kg de capacidad para pesar aditivos y adiciones.

C.3. Mezclador

Se usará un mezclador mecánico o elementos para mezclar manualmente.

C.4. Dimensiones de las probetas

- a) Moldes en general. Los moldes para las muestras y los sujetadores de dichos moldes deben ser de acero, hierro forjado o de otro material no absorbente y que no reaccione con el concreto utilizado en los ensayos. Deben estar conforme a las dimensiones y tolerancias especificadas en el método para el cual deben ser ensayadas. Deben ser herméticos de tal forma que no se escape el agua de la mezcla contenida. Un sellante apropiado como arcilla, parafina o grasa, puede ser utilizado para impedir filtraciones por las uniones. Para fijar el molde a la base del mismo, éste debe tener medios adecuados para ello.
- b) Moldes cilíndricos reutilizables. Deben estar hechos de un metal de alta resistencia o de

otro material rígido no absorbente. El plano transversal del cilindro debe ser perpendicular al eje del cilindro. La tolerancia en la medida del diámetro exigido debe ser de ± 2.0 mm y en la altura la tolerancia será de ± 6.0 mm. Los moldes de 150 mm de diámetro por 300 mm de altura, deben estar de acuerdo con la especificación ASTM C-470, "Molds For Forming Concrete Test Cylinders Vertical".

- c) Vigas y moldes prismáticos. La superficie interior del molde debe ser lisa, y las caras interiores deben ser perpendiculares entre sí y libres de torceduras u ondulaciones. La tolerancia en las dimensiones nominales de la sección transversal será de ± 3.2 mm (1/16") para dimensiones mayores o iguales a 152 mm (6") y de ± 1.6 mm (1/16") para dimensiones menores de 152 mm (6"). Excepto para muestras destinadas a ensayos de módulos de rotura, la longitud nominal de los moldes debe tener una tolerancia de 1.6 mm. Estas muestras no deberán tener una longitud inferior en 1.6 mm (1/6") con respecto a la longitud especificada, pero puede excederse dicha longitud en más del valor mencionado.

6.3.3.2.4. CONDICIONES GENERALES

C.1. Antecedentes

Registre los antecedentes disponibles sobre las características de los materiales por emplear, comprobadas en ensayos previos, cuando sea necesario.

C.2. Temperatura

Use los materiales solamente cuando su temperatura alcance $20 \pm 3^\circ$ C ($68 \pm 5^\circ$ F).

C.3. Agua

Mida la cantidad (masa o volumen) de agua requerida con una precisión de $\pm 0,2\%$; evite pérdidas y contaminaciones y considere las correcciones necesarias según la humedad que presenten los áridos.

C.4. Cemento

Tamice por el tamiz 1,18 mm (Nº 16) para eliminar posibles grumos; luego homogenice revolviendo cuidadosamente, pese la cantidad requerida procurando hacerlo en una sola operación en un recipiente limpio y seco, evitando pérdidas y contaminaciones. Por último, almacene todo el cemento requerido para una mezcla o una serie completa de mezclas de prueba, en recipientes herméticos, preferentemente metálicos y guardados en un lugar seco.

Nota 2: Cuando un cemento se encuentre alterado (hidratación, contaminación, etc.), se recomienda verificar y registrar su estado antes de preparar la mezcla de prueba.

C.5. Áridos

- a) Separe los áridos según tamaños en las fracciones que sean necesarias para disminuir el peligro de segregación y constituya, con la mayor exactitud posible, la granulometría en estudio.

Nota 3: Cuando el árido grueso es una mezcla de materiales rodados y chancados, se debe registrar la proporción entre ambos tipos de partículas según el Método A0508.

- b) Almacene las fracciones separadas en recipientes adecuados, para evitar segregaciones, pérdidas y contaminaciones.
- c) Trate los áridos de acuerdo al punto 7 antes de pesarlos para asegurar una condición

de humedad definida y uniforme, considerando que el agua de absorción es parte integrante del árido y que demora en ser absorbida.

- d) Pese cada fracción de árido con una precisión de $\pm 0,3\%$ en la condición de humedad resultante después de tratada con algunos de los procedimientos que se han indicado en el punto 9.

C.6. Tratamiento de los Áridos

Elija el tratamiento por seguir de acuerdo al objetivo de la mezcla de prueba y al estado de humedad de los áridos, de entre uno de los métodos que se indican más adelante.

Nota 4: Cuando se desee investigar la influencia del grado de saturación de un árido, se debe determinar la curva tiempo/absorción del árido y luego preparar mezclas de prueba comparativas con el árido totalmente saturado y con distintos grados de saturación. Se entenderá por grado de saturación el cociente entre la cantidad de agua absorbida por el árido en un determinado momento y la máxima cantidad de agua de absorción de ese árido, calculada de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{grado de saturación} = \frac{\alpha'}{\alpha}$$

Donde:

- α' : % de absorción del árido en un momento determinado.
 α : % de absorción máxima.

C.7. Tratamiento de Áridos con Excedente de Agua

Aplique el siguiente procedimiento a las arenas:

- Determine el porcentaje de absorción de agua en 24 h, de acuerdo con la **Sección 6.3.1.10**.
- Sumerja el árido durante un período de a lo menos 24 h.
- Escorra el exceso de agua, hasta dejar el árido fino en estado húmedo con una pequeña cantidad de agua excedente, suficiente para evitar pérdidas por secado. Manténgalo protegido hasta el momento de emplearlo.
- Determine el porcentaje de humedad total resultante del tratamiento efectuado en c), referido a la masa del árido en estado seco.
- Calcule la cantidad de agua total, multiplicando la masa de árido seco requerida para la amasada por el porcentaje de humedad total.
- Pese del árido húmedo resultante en c), una cantidad igual a la masa de árido seco requerido para la amasada más el valor calculado en e).
- Calcule el porcentaje de agua libre como la diferencia entre el porcentaje de humedad total y el porcentaje de absorción de agua.
- Calcule la cantidad de agua libre, aplicando el porcentaje de agua libre a la masa de árido seco requerido para la amasada.
- Corrija el agua de amasado, restándole la cantidad de agua libre.

C.8.Tratamiento de Áridos Parcialmente Secos

Aplique el siguiente procedimiento a las gravas siempre que su absorción sea inferior a 1%:

- a) Determine el porcentaje de absorción de agua en 24 h, de acuerdo con la **Sección 6.3.1.9**.
- b) Determine el porcentaje de humedad total presente en el árido referido a la masa del árido en estado seco.
- c) Calcule la cantidad de agua total presente en el árido, multiplicando la masa de árido seco requerida para la amasada por el porcentaje de humedad total.
- d) Pese del árido parcialmente seco una cantidad igual a la suma de la masa de árido seco requerida para la amasada más el valor calculado en c).
- e) Estime el porcentaje de agua que absorberá el árido durante el proceso de mezclado como el 80% de la diferencia de los valores determinados en a) y b).
- f) Calcule la cantidad de agua que absorberá el árido, multiplicando la masa de árido seco requerida para la amasada por el porcentaje estimado en e).
- g) Corrija el agua de amasado, sumándole la cantidad de agua calculada en f).

C.9.Tratamiento de Áridos Secos

Considere como árido seco al que se ha secado en horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 10^\circ \text{F}$) hasta masa constante. Aplique el siguiente procedimiento a cualquier árido o fracciones de árido seco:

- a) Determine el porcentaje de absorción de agua en 24 h, de acuerdo con las **Secciones 6.3.1.9 o 6.3.1.10**, según corresponda.
- b) Seque los áridos en horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 10^\circ \text{F}$) hasta masa constante.
- c) Pese, en un recipiente impermeable, cada árido o fracción de árido en la condición seca, la cantidad requerida para la amasada.
- d) Cubra los áridos con agua durante a lo menos 24 h hasta saturarlos antes de su empleo.
- e) Después de la saturación extraiga cuidadosamente el agua sobrante de modo que la cantidad de agua libre que arrastre el árido sea menor que la de amasado.
- f) Pese, en el mismo recipiente, los áridos saturados más el agua libre.
- g) Calcule la cantidad de agua total en los áridos como la diferencia de las pesadas obtenidas en f) y c),
- h) Calcule la cantidad de agua de absorción, multiplicando la masa de árido seco requerida para la amasada por el porcentaje de absorción de agua.
- i) Calcule la cantidad de agua libre como la diferencia de los valores obtenidos en g) y h).
- j) Corrija el agua de amasado, restándole la cantidad de agua libre.

C.10.Aditivos Solubles

Prepare una solución de los aditivos solubles en una parte del agua de amasado. Si es líquido

considere su volumen como parte del agua de amasado.

C.11. Aditivos Insolubles

Para los aditivos insolubles, mezcle con una parte o con la totalidad del cemento o con el árido fino.

C.12. Adiciones

Las adiciones que se empleen en cantidad superior al 10% de la masa del cemento, se deben incorporar a la amasada en la misma forma que el cemento; en dosis menores al 10%, se deben incorporar como se indica en 14.

6.3.3.2.5. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA PROBETAS

- a) Probetas cilíndricas. Puede ser de varios tamaños, siendo el mínimo de 50.0 mm (2") de diámetro por 100 mm (4") de longitud. Las probetas cilíndricas para los ensayos, exceptuando el de fluencia bajo carga (creep), deben ser moldeadas con el eje del cilindro vertical y dejándolo en esta posición durante el fraguado.
- b) Probetas prismáticas. Las vigas para ensayos de flexión, cubos para compresión, adherencia, cambios de longitud o de volumen, deben ser elaboradas con el eje longitudinal en posición horizontal.
- c) Otras probetas. Otros tipos de probetas deben ser elaborados de acuerdo con las condiciones generales especificadas en esta norma.
- d) Tamaño de la probeta de acuerdo con el tamaño del agregado. El diámetro de una probeta cilíndrica o la mínima dimensión de una sección transversal rectangular deben ser por lo menos 3 veces mayores que el tamaño máximo del agregado grueso utilizado en la elaboración de la mezcla. Partículas superiores al tamaño máximo deben ser retiradas de la mezcla, durante el moldeo.
- e) Número de probetas. Para cada edad deben elaborarse tres o más probetas. Los especímenes de ensayo que tienen en cuenta el análisis de una variable, deben ser elaborados a partir de tres tongadas separadas, mezcladas en días diferentes. En todas las tongadas debe elaborarse un número igual de especímenes. Cuando sea imposible moldear al menos dos especímenes para cada variable en un día determinado, la mezcla para completar la serie entera de especímenes debe efectuarse tan pronto como sea posible (cuestión de pocos días), y una de las mezclas debe ser repetida cada día, como un estándar de comparación.

Generalmente, los ensayos se hacen a edades de 7 y 28 días para compresión a edades de 14 y 28 días para flexión. Los especímenes que contienen otro tipo de cemento son ensayados frecuentemente a 1, 3, 7 y 28 días. Tanto para el ensayo de compresión como el de flexión, pueden hacerse ensayos de 3 meses, 6 meses y un año. Para otros tipos de probetas pueden necesitarse otras edades.

6.3.3.2.6. PROCEDIMIENTO

a. Condiciones Generales

El hormigón se debe mezclar de preferencia por medios mecánicos o, en su defecto, por medios manuales.

El volumen de la amasada por preparar, será superior en un 20% o más, al volumen necesario para efectuar los ensayos del hormigón fresco y/o confeccionar probetas.

b. Mezclado Mecánico

El procedimiento será aplicable a todo tipo de hormigones, debiéndose prestar especial atención para evitar, en lo posible, la pérdida de mortero por adherencia a las superficies interiores del tambor del mezclador y a las paletas. La cantidad de mezcla quedará determinada por la capacidad del mezclador utilizado.

Se recomienda utilizar un mezclador de eje vertical, que permita recuperar todo el mortero adherido a las paletas. Para mezcladoras que no cumplan este requisito, se recomienda mezclar previamente una amasada de igual dosificación a la especificada para el ensayo y desecharla, para que quede una capa de mortero adherida a las superficies interiores del mezclador. Tenga especial cuidado en limpiar el mezclador y los accesorios cuando la composición de una amasada (aditivos, adiciones, dosificación, etc.) pueda alterar la siguiente.

El mezclado mecánico debe seguir las mismas etapas especificadas para el mezclado manual; una vez incorporados todos los materiales debe revolver durante 3 minutos, reposar la mezcla otros 3 minutos, y revolver nuevamente por 2 minutos más.

- c. Ensayo del Hormigón Fresco: Efectúe los ensayos requeridos del hormigón fresco de acuerdo con los métodos correspondientes.
- d. Vaciado del concreto Lugar del molde. Se deben moldear las muestras lo más cerca posible del lugar donde se van a guardar para su fraguado en las siguientes 24 horas. Los moldes se llevarán al depósito inmediatamente después de su elaboración. Colóquense los moldes sobre una superficie rígida y libre de vibraciones, evitando inclinaciones y movimientos bruscos. Transpórtense evitando sacudidas, golpes, inclinaciones o raspaduras de la superficie.

El concreto se debe colocar en los moldes utilizando un badilejo o herramienta similar.

Se debe seleccionar el concreto de tal manera que la muestra sea representativa de la mezcla; además, se debe mezclar continuamente la mezcla del concreto durante el llenado del molde con el objeto de prevenir la segregación.

En la colocación de la capa final se debe intentar colocar una capa de concreto que complete exactamente el relleno del molde.

El número de capas debe ser el especificado en la **Tabla 6.3_ 42**.

- e. Compactación. La selección del método de compactación debe hacerse con base en el asentamiento, a menos que el método sea establecido en las especificaciones bajo las cuales se trabaja (**Tabla 6.3_ 42**). Los dos métodos de compactación son: apisonado (por varillado) y vibración (externa o interna). Si el concreto tiene un asentamiento mayor de 75 mm (3") debe usarse el método de apisonado. Si el asentamiento es de 25 a 75 mm (1 a 3") debe usarse el método de apisonado o el de vibración, prefiriéndose el método usado en la ejecución de la obra.

Si el asentamiento es inferior a 25 mm (1") debe usarse el método de vibración. No se debe usar vibración interna para cilindros con diámetro inferior a 100 mm y para prismas de 100 mm de profundidad o menos. Los concretos con contenido de agua tal que no pueden ser compactados por los ensayos aquí descritos no estarán contemplados por la presente norma.

Tabla 6.3_42. NÚMERO DE CAPAS REQUERIDAS EN LA ELABORACIÓN DE LAS MUESTRAS

Tipo de tamaño de la muestra en mm (pulg.)	Método de compactación	Numero de capas	Altura aproximada de la capa en mm (pulg.)
CILINDROS			
Hasta 200 (12)	Apisonado (varillado)	2 iguales	50 (2)
Mayor que 300 (12)	Apisonado (varillado)	Las requeridas	100 (4)
Hasta 460 (18)	Vibración	2 iguales	
Mayor que 460 (18)	Vibración	3 o más	200 (4)
PRISMAS			
Hasta 200 (8)	Apisonado (varillado)	2 iguales	
Mayor que 200 (8)	Apisonado (varillado)	3 o más	100 (4)
Hasta 200 (8)	Vibración	1	
Mayor que 200 (8)	Vibración	2 o más	200 (8) C 172

- a) **Apisonado por varillado.** Se coloca el concreto en el molde con el número de capas requeridas (**Tabla 6.3_42**) aproximadamente del mismo volumen.

Se apisona cada capa con la parte redonda de la varilla normalizada, utilizando el número de golpes y el tamaño de la varilla especificado en la **Tabla 6.3_43**. La capa inicial se apisona introduciendo la varilla hasta el fondo del molde. La distribución de golpes para cada capa debe ser uniforme sobre toda la sección transversal del molde.

Para cada capa superior a la inicial se debe atravesar aproximadamente en 12 mm (½") la capa anterior cuando la profundidad de la capa sea menor de 100 mm (4"); aproximadamente en 25 mm (1") cuando la profundidad de la capa sea mayor de 100 mm (4"). En caso de dejar algunos huecos por la varilla se deben golpear ligeramente los lados del molde para cerrar dichos huecos. En los elementos prismáticos, introdúzcase el badilejo (o similar) por los costados y extremos después de apisonar cada capa.

La varilla normalizada para compactación debe ser rectilínea, de acero, 60 cm de longitud t diámetros en función al molde empleado conforme lo indicado en la **Tabla 6.3_43**. En sus 25 mm finales será troncocónica y estará rematada en su extremo por un casquete esférico de 6 mm de radio.

- b) **Vibración.** Manténgase un mismo tiempo de vibración para un conjunto particular de concreto, vibrador y molde que se esté utilizando. La vibración se debe transmitir al cilindro durante el tiempo suficiente para lograr la adecuada compactación del concreto, pues un exceso de vibrado puede causar segregación. El molde se debe llenar y vibrar en capas iguales aproximadamente.

Todo el concreto para cada capa se debe colocar en el molde antes de iniciar el vibrado. La duración del vibrado depende de la manejabilidad del concreto y la efectividad del vibrador. Se considera suficiente el vibrado, cuando el concreto presente una superficie relativamente lisa.

Vibración interna. El diámetro del eje o dimensión lateral de un vibrador interno no debe ser mayor de 1/3 del ancho del molde en el caso de vigas o prismas. Para cilindros, la relación del diámetro del cilindro al diámetro del vibrador debe ser igual o mayor de 4.0. Al compactar la muestra el vibrador no debe tocar el fondo, las paredes del molde u objetos embebidos en el concreto. El vibrador se debe extraer cuidadosamente de tal manera que no queden bolsas de aire dentro de las muestras. Se deben golpear ligeramente los lados del molde para asegurarse que no queden aprisionadas burbujas de aire en su superficie.

Vibración interna para cilindros. En cada capa se debe introducir el vibrador en tres sitios diferentes. En cada capa el vibrador debe penetrar en la capa anterior aproximadamente 25 mm.

Vibración interna para vigas y prismas. Se debe introducir el vibrador en puntos separados por una distancia no mayor de 150 mm (6") a lo largo de la línea central de la mayor dimensión de la muestra. Para moldes de ancho mayor de 150 mm (6") se debe introducir el vibrador en dos líneas alternando las inserciones. Se debe permitir penetrar el eje del vibrador en la capa del fondo aproximadamente 25 mm (1").

Vibración externa. Cuando se use un vibrador externo debe tenerse el cuidado de que el molde este rígidamente unido a la superficie o elemento vibrante.

Tabla 6.3_43. DIÁMETRO DE VARILLA Y NÚMERO DE GOLPES POR CAPA

CILINDROS		
Diámetro del cilindro en mm (pulg.)	Diámetro de varilla en mm (pulg.)	Numero de golpes por capa
50 (2) a 150 (6)	10 (3/8)	25
150 (6)	10 (3/8)	25
200 (8)	16 (5/8)	50
250 (10)	16 (5/8)	75
VIGAS Y PRISMAS		
Área de la superficie superior de la muestra en cm ² (pulg ²)	Diámetro de varilla en mm (pulg.)	Numero de golpes por capa
160 (25)	10 (3/8)	25
165 (25)	10 (3/8)	1 por cada 7 cm ² (1 pulg ²) de área
320 (50) o más	16 (5/8)	1 por cada 14 cm ² (1 pulg ²) de área

Acabado.

Después de la compactación, se debe efectuar el acabado con las manipulaciones mínimas, de tal manera que la superficie quede plana y pareja a nivel del borde del cilindro o lado del molde, y no debe tener depresiones o protuberancias mayores de 3.2 mm (1/8").

Acabados de cilindros. Después de la compactación, se debe efectuar el acabado de la superficie por medio de golpes con la varilla apisonadora cuando la consistencia del concreto lo permita o con un badilejo o llana de madera. Si se desea, puede colocarse una capa de pasta de cemento sobre el espécimen a manera de refrentado (capping) (*véase norma MTC E703 "Capping"*).

6.3.3.2.7. CURADO

Cubrimiento después del acabado. Para evitar la evaporación de agua del concreto sin endurecer, los testigos deben ser cubiertos inmediatamente después del acabado, preferiblemente con una platina no reactiva con el concreto, o con una lámina de plástico dura e impermeable. Se permite el uso de lona húmeda para el cubrimiento de la muestra, pero se evitará el contacto directo de la muestra con la lona, la cual debe permanecer húmeda durante las 24 horas contadas a partir del acabado de la muestra.

Extracción de la muestra. Las muestras deben ser removidas de sus moldes en un tiempo no menor de 20 horas ni mayor de 48 horas después de su elaboración cuando no se empleen aditivos; en caso contrario, se podrán emplear tiempos diferentes.

Ambiente de curado. Se deben mantener las muestras en condiciones de humedad con temperatura de 23.0 ± 2.0 °C (73.4 ± 3 °F) desde el momento del moldeo hasta el momento de ensayo.

El almacenamiento durante las primeras 48 horas de curado, debe hacerse en un medio libre de vibraciones.

La condición de humedad debe lograrse por inmersión de la muestra sin el molde en agua. Se permite lograr la condición de humedad por el almacenamiento en un cuarto húmedo.

No deben exponerse los especímenes a condiciones de goteo o de corrientes de agua. Debe evitarse que se sequen las paredes de la muestra luego del periodo de curado.

6.3.3.2.8. INFORME

De cada mezcla de prueba, lleve un registro que indique lo siguiente:

C.1. Identificación de la Mezcla

- a. Nombre del Contrato y del Contratista.
- b. Objetivo.
- c. Fecha de confección de la mezcla.

C.2. Antecedentes del Hormigón

- a. Antecedentes de los materiales (antecedentes de producción, ensayos de comprobación, posibles alteraciones, etc.).
- b. Dosificación.
 - a. Condiciones de mezclado (tipo de mezclador, temperatura y humedad ambiente, volumen de amasada, etc.).
 - b. Cualquier excepción o complemento a los procedimientos establecidos en el presente método.

C.3.29. Otros Antecedentes

- a. Resumen de resultados de los ensayos efectuados con la mezcla de prueba.
- b. Cualquier otra información específica relativa al hormigón y a las condiciones de uso.

SECCION 6.3.3.3.

MÉTODO PARA REFRENTAR PROBETAS (ASTM 617 AASHTO T231)

6.3.3.3.1. OBJETO

Este método establece los procedimientos para refrentar probetas de hormigón destinadas a ensayos de compresión y tracción. Se deberá aplicar a probetas cuyas superficies de contacto con las prensas de ensayo no cumplan con los requisitos de planeidad y/o paralelismo entre caras, especificados en las **Secciones 6.3.3.9, 6.3.3.10 y 6.3.3.13**, según corresponda.

Es aplicable a probetas cúbicas, cilíndricas o prismáticas, moldeadas en hormigón fresco, como también a testigos extraídos del hormigón endurecido

6.3.3.3.2. DEFINICIONES

A.SUPERFICIE DE CARGA

Superficie de las caras de una probeta de hormigón que estarán en contacto con las piezas de apoyo y carga de la prensa durante el ensayo.

B.REFRENTADO

Procedimiento de aplicación y moldeo de una capa de material (capa de refrentado) sobre la superficie de carga en la probeta de hormigón, destinado a corregir defectos de planeidad y/o paralelismo entre caras, con el fin de obtener el mejor ajuste posible con las piezas de apoyo y carga de la prensa de ensayo y una distribución uniforme de tensiones durante la aplicación de la carga.

C.CAPA DE REFRENTADO

Capa de material aplicado y moldeado que recubre una superficie de carga en una probeta de hormigón.

6.3.3.3.3. EQUIPOS Y MATERIALES

A.PLACAS

Deberán ser de metal, vidrio o cualquier otro material rígido, no absorbente, químicamente inerte con los componentes del material de refrentado y cumplir con los siguientes requisitos:

- a) La superficie de contacto debe ser plana con una tolerancia de planeidad de 0,05 mm, medida por lo menos en tres direcciones con un ángulo de 45° entre sí.
- b) El largo y ancho deben ser a lo menos 30 mm mayores que las respectivas dimensiones de la superficie por refrentar.
- c) El espesor de las placas de metal debe ser igual o mayor que 8 mm, y el de las de vidrio igual o mayor que 6 mm.
- d) Si se requiere un rebaje en las placas metálicas, el espesor de la placa en la zona rebajada debe ser igual o mayor que 8 mm y el rebaje menor o igual que 8 mm.

B.DISPOSITIVOS PARA REFRENTAR CILINDROS PARA ENSAYO DE COMPRESIÓN

Aparato vertical (ver *Figura 6.3_ 37*), compuesto por una base provista de una placa horizontal con un rebaje circular rectificado y un perfil metálico u otro dispositivo de alineación vertical que permita asegurar la perpendicularidad del eje de la probeta.

Anillos metálicos, ajustables a los extremos del cilindro y que se emplean en conjunto con una placa.

Aparato horizontal (ver *Figura 6.3_ 37*), compuesto por una base de apoyo para colocar la probeta horizontalmente y un par de placas paralelas dispuestas verticalmente en ambos extremos. Las placas deben estar provistas de mordazas a fin de ajustarse a ambos extremos de la probeta y conformar un molde que se pueda rellenar por vaciado.

C.DISPOSITIVO PARA REFRENTAR CUBOS PARA ENSAYO DE COMPRESIÓN

Estará compuesto por un juego de cuatro perfiles de acero de sección cuadrada de 25 x 25 mm y 250 mm de longitud por emplear en conjunto con una placa.

D.DISPOSITIVO PARA REFRENTAR TESTIGOS PARA ENSAYO DE TRACCIÓN POR HENDIMIENTO

(Ver *Figura 6.3_ 37*). Será un molde acanalado, compuesto por una plancha metálica curva, de espesor 5 mm, con la forma de un tercio de la pared de un cilindro y una base de apoyo, que permita mantenerla firmemente en posición horizontal.

E.OTROS DISPOSITIVOS

Se podrán emplear otros dispositivos similares que permitan obtener capas de refrentado, que cumplan con los requisitos que se indica en 4.

F.APARATOS PARA FUSIÓN DE MEZCLA DE AZUFRE

Recipiente de metal o recubierto con un material inerte a la acción del azufre fundido. Debe estar provisto de control automático de temperatura.

Cucharón o similar, de metal o recubierto con un material inerte a la acción del azufre fundido, cuya capacidad concuerde con el volumen de material por emplear en una capa de refrentado.

Sistema de ventilación, campana con extractor de aire para eliminar los gases de la fusión.

6.3.3.3.4. CONDICIONES GENERALES

A.REQUISITOS DE LA CAPA DE REFRENTADO

Forma. La superficie de carga deberá quedar perfectamente plana, con una tolerancia de 0,05 mm, medida por lo menos en tres direcciones con un ángulo de 45° entre sí y perpendicular al eje vertical de la probeta en posición de ensayo. La tolerancia será una desviación máxima equivalente a una pendiente de 1 mm en 100 mm.

B.SUPERFICIE

- a) En las probetas para ensayo de compresión debe ser igual o ligeramente mayor que la superficie de carga sin sobrepasar los bordes de la probeta en más de 3 mm.
- b) En las probetas para ensayo de tracción por flexión o por hendimiento, en que las superficies de carga corresponden a una línea, deben tener una longitud igual

o ligeramente mayor a dicha línea sin sobrepasar los bordes de la probeta en más de 3 mm y un ancho de 20 ± 5 mm.

- c) El material de refrentado debe desarrollar una resistencia a la compresión mayor que la prevista para la probeta en el momento del ensayo, y en todo caso igual o mayor que 35 MPa.
- d) Moldee la capa de refrentado tan delgada como sea posible; en general es aconsejable un espesor de aproximadamente 3 mm, pero en ningún caso mayor que 8 mm.

6.3.3.3.5. PROCEDIMIENTO

a. Refrentado de probetas recién moldeadas

Es aplicable a probetas cilíndricas para ensayos a compresión y debe efectuarse de acuerdo con uno de los dos procedimientos siguientes:

b. Procedimiento con Pasta de Cemento

- a) Prepare una pasta dura de cemento de alta resistencia y con una consistencia plástica, de preferencia normal.
- b) Colocación:
 - Unte las placas de refrentado con una capa delgada de aceite mineral o cualquier otro material que evite la adherencia y sea químicamente inerte con el material de refrentado.
 - Retire los cilindros de su curado inicial, sin desmoldarlos, a una edad de 2 a 4 h desde su moldeo.
 - Elimine la lechada superficial mediante raspado.
 - Moldee cada capa de refrentado colocando una porción del material en el centro de la superficie de carga y prensando con una placa, girándola suavemente hasta topar el borde del molde, eliminando el exceso de pasta.
 - Evite la formación de burbujas de aire.
 - Devuelva cada cilindro a su curado inicial, manteniendo la placa en contacto con la capa de refrentado.

c. Procedimiento con mortero de cemento

- a) Prepare una mezcla seca – plástica, compuesta por una parte en masa de cemento de fraguado inicial rápido y con un grado de resistencia final alta, una parte en masa de arena fina seca, que pase por el tamiz de 1,18 mm (Nº 16), y 0,45 partes de agua. Deje reposar por un período de 1 a 2 h y remezcle antes de colocar, a fin de reducir al mínimo el efecto de las retracciones.
- b) Coloque de acuerdo con 13 b).

d. Refrentado de probetas desmoldadas y testigos

Es aplicable a cubos, cilindros y vigas desmoldadas o testigos de hormigón endurecido para ensayos de compresión, tracción por flexión y tracción por hendimiento. Debe efectuarse de acuerdo con uno de los procedimientos que se indican a continuación.

e. Procedimiento con pasta de azufre

Prepare el material como sigue:

- a) Elabore una mezcla seca compuesta de 55 a 70 partes en masa de azufre en polvo y 30 a 45 partes en masa de material granular que pase por el tamiz de 0,3 mm (Nº 50). Emplee arcilla refractaria molida o arena silícica (pumacita) como material granular.
- b) Caliente la mezcla hasta su fusión a una temperatura controlada entre 130 y 145° C (266° Y 293° F) sin exponer a fuego directo que pueda inflamar la mezcla, y expulse al exterior los gases que resultan de la fusión.

Nota 1: La mezcla puede inflamarse por sobrecalentamiento; si esto ocurre extinga la llama tapando el recipiente.

- c) En ningún caso recaliente el mismo material más de cinco veces; la mezcla pierda resistencia y fluidez por contaminaciones y volatilización.
- d) Una vez aplicada a la probeta, deje endurecer hasta que alcance una resistencia a la compresión mayor que la prevista para la probeta en el momento del ensayo, y en todo caso igual o mayor que 35 MPa.

Coloque como se indica a continuación:

- e) Unte las placas y superficies de los dispositivos que entran en contacto con el material de refrentado con una delgada capa de aceite mineral o de cualquier otro material que prevenga la adherencia y sea químicamente inerte con el material de refrentado.
- f) Retire las probetas o testigos de su curado con la antelación suficiente para que el material de refrentado desarrolle la resistencia requerida hasta el momento del ensayo.
- g) Elimine la lechada superficial y partículas sueltas de las superficies de carga mediante una escobilla de alambre o similar.
- h) Seque las superficies de carga (p. ej. mediante una corriente de aire caliente), cuidando de no extender el secado más de lo estrictamente necesario para asegurar la adherencia del material a la probeta.
- i) Moldee la capa de refrentado, según el tipo de probeta y el aparato por emplear, como se indica:
- j) Placas: coloque una porción de material en el centro de la superficie de carga y prénsela con la placa, girándola suavemente y eliminando los excesos de material. En el caso de vigas, disponga muestras a ambos costados de la superficie de carga, a fin de nivelar la placa.
- k) Dispositivo vertical: nivele el aparato, distribuya uniformemente el material en el rebaje de la placa, apoye una generatriz del cilindro en la guía vertical y hágalo descender hasta presionar el material.

- l) Anillos: nivele y ajuste cada anillo en un extremo del cilindro de modo que su borde superior sobresalga aproximadamente 3 mm sobre la superficie de carga. Distribuya uniformemente el material en el molde hasta topar el borde del anillo y prénselo uniformemente con una placa, girándola suavemente hasta topar el borde del anillo y elimine excesos de material.
- m) Dispositivo horizontal: nivele el aparato, coloque el cilindro ajustando sus extremos con las mordazas, tapone las juntas para evitar pérdidas y rellene ambos extremos por vaciado.
- n) Perfiles: nivele la placa y conforme un molde con los cuatro perfiles, con la forma de un cuadrado que deje un espacio libre menor que 3 mm entre los perfiles y las aristas del cubo. Distribuya uniformemente el material sobre la placa y presiónelo sobre el cubo.
- o) Molde acanalado: nivele el aparato, distribuya uniformemente el material a lo largo del fondo del molde, coloque el testigo horizontalmente y presiónelo sobre el material.
- p) Devuelva las probetas a su curado o bien manténgalas húmedas protegiéndolas con arpilleras mojadas hasta el momento en que deban colocarse en la máquina de ensayo.

f. Procedimiento con pasta de yeso.

El material se aplica como sigue:

- a) Prepare una pasta densa con yeso de alta resistencia y una cantidad de agua mayor que el 26% y menor que el 30% del yeso, en masa.
- b) Una vez aplicada a la probeta, deje endurecer hasta que alcance una resistencia a la compresión mayor que la prevista para la probeta en el momento de ensayo, y en todo caso igual o mayor que 35 MPa, verificada.

Para colocar siga el procedimiento indicado en 16 excepto que las superficies de carga deben mantenerse en estado saturado superficialmente seco y proteja al yeso del contacto directo con el agua.

g. Inspección de las capas de refrentado

h. Adherencia

Golpee ligeramente las capas de refrentado con el mango de un cuchillo, o similar, antes de colocar en la prensa de ensayo; si emite un sonido hueco, remueva la capa y reemplácela antes de ensayar.

i. Planeidad y perpendicularidad

- a) Cuando emplee pastas de yeso o cemento, inspeccione todas las capas de refrentado.
- b) Cuando emplee mezcla de azufre, para cada aparato de refrentado en uso, inspeccione al azar a lo menos una capa de refrentado por cada diez.

Nota 2: Emplee una escuadra de precisión con un pequeño calado para no topar el borde de la capa de refrentado.

- c) Cuando una capa de refrentado no cumpla con los requisitos de forma especificados en 10, remueva la capa y reemplácela antes de ensayar, e inspeccione el aparato por usar (planeidad de placas, ángulos de dispositivos de alineación).

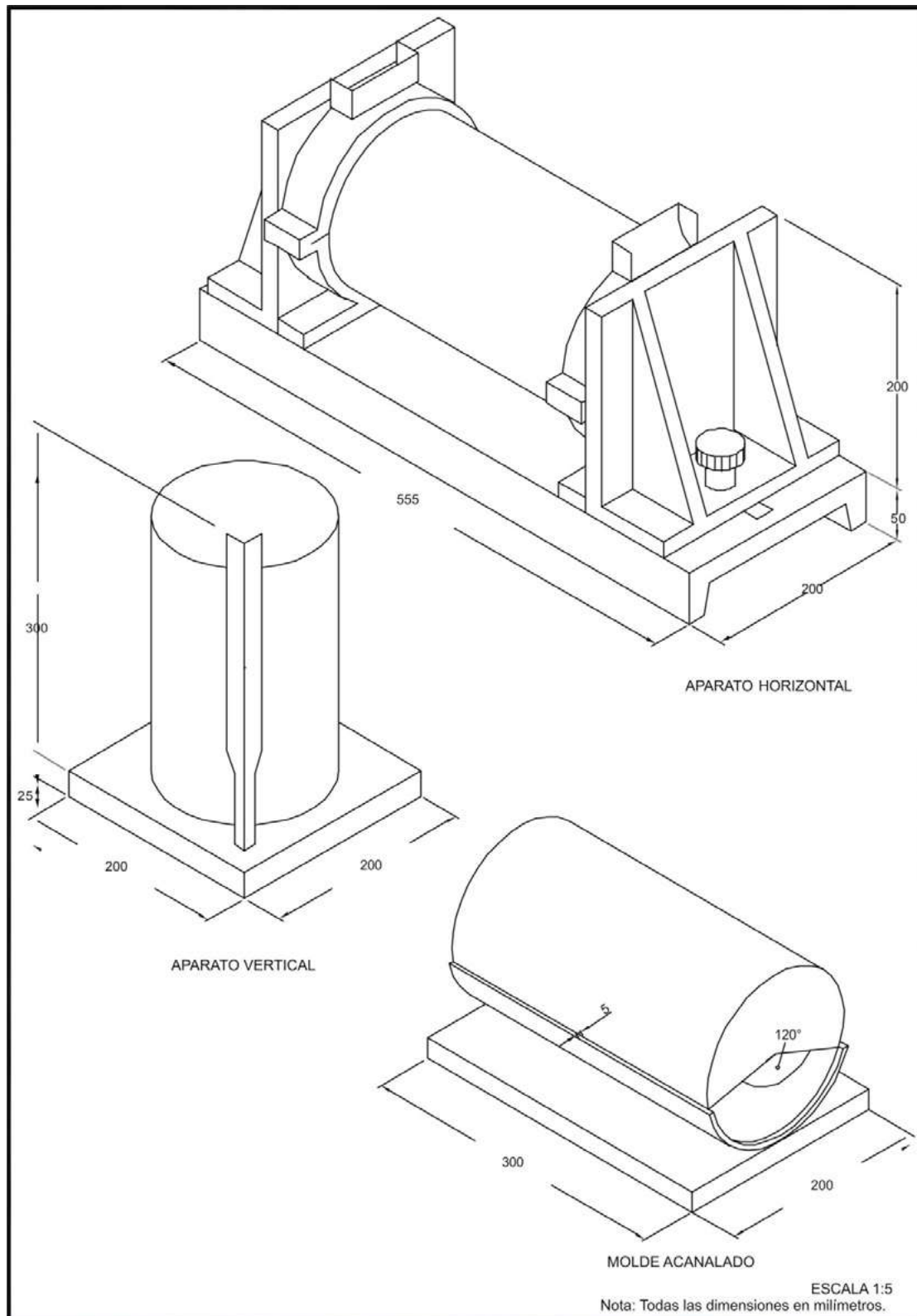


Figura 6.3_37. APARATO PARA REFRENTAR PROBETAS

A. OTROS MÉTODOS DE AJUSTE

A.1. Pulido

Se realiza con máquinas rectificadoras con cabezales giratorios abrasivos diamantados que pulen las bases de la probeta con una precisión de 0,05 mm

Las probetas deben retirarse de la cámara o piletta de curado para el pulido durante no más de 1 hora y deben volver a introducirse a curado durante al menos 1 hora antes de ensayarlas.

Este método no tiene limitaciones en cuanto a la resistencia del hormigón a ensayar.

A.2. Almohadillas de neoprene

Para ello se emplean almohadillas de neoprene y bases de retención.

A.3. Almohadillas de neoprene:

De un espesor de 13 ± 2 mm y un diámetro no menor en más de 2 mm al diámetro interior del anillo de retención. Se debe mantener un registro indicando la fecha en que la almohadilla es puesta en servicio, la dureza y el número de usos permitidos. Las almohadillas podrán ser usadas de ambas caras.

A.4. Bases de retención:

Deben ser fabricados de acero, y estarán provisto de una concavidad de dos veces el espesor de la almohadilla. El diámetro de los anillos de retención no debe ser menor al 102% o mayor al 107% del diámetro del cilindro

No se recomienda utilizar este método para ensayos de hormigones de resistencia a compresión prevista inferior a 10 MPa y superior a 80MPa.

B. PROCEDIMIENTO:

Insertar los discos de neoprene en las bases de retención

Centrar la probeta a ensayar en el neopreno y plato retenedor y ubíquelo en la base de la máquina de ensayo, alineando sus ejes cuidadosamente con el bloque base de la máquina.

Verificar la verticalidad de la probeta en la máquina de ensayo con una tolerancia de 3.2mm en 300mm. La verificación puede hacerse con una escuadra metálica.

Si la probeta no reúne estas condiciones no será ensayada, a menos que las irregularidades sean corregidas por corte o pulido.

SECCION 6.3.3.4.

MÉTODO PARA DETERMINAR LA DOCILIDAD MEDIANTE EL CONO DE ABRAMS (ASTM C 143 AASHTO T119)

6.3.3.4.1. OBJETO

Este método define el procedimiento para determinar la docilidad del hormigón fresco, tanto en el laboratorio como en obra, mediante el asentamiento que experimenta en el Cono de Abrams.

El procedimiento es aplicable a hormigones preparados con áridos de tamaño máximo absoluto 50mm. Es válido para establecer la docilidad de hormigones frescos con asentamientos comprendidos entre 2 y 18 cm.

6.3.3.4.2. DEFINICIONES

B.1.Docilidad (trabajabilidad)

Expresa la facilidad del hormigón fresco para ser transportado, colocado y compactado, sin que se produzca segregación.

B.2.Asentamiento

Es la medida del descenso que experimenta el hormigón fresco, determinado de acuerdo a este método y que sirve como indicador de la docilidad. De acuerdo al asentamiento medido se clasifica al hormigón de acuerdo a su consistencia

Asentamiento (cm)	Consistencia
0-2	Seca
3-5	Plástica
6-9	Blanda
10-15	Fluida
>16	Líquida

6.3.3.4.3. EQUIPOS Y MATERIALES

B.1.Molde

(Ver Figura 6.3_ 38 y 6.3_ 39 para los detalles):

- Tendrá forma de un tronco de cono recto, abierto por ambos extremos.
- Será metálico, de espesor igual o superior a 1,6 mm; la superficie interna será lisa y libre de rebordes y abolladuras.
- Dimensiones:

Base superior: $100 \pm 1,5$ mm de diámetro.

Base inferior: $200 \pm 1,5$ mm de diámetro.

Altura: $300 \pm 1,5$ mm.

- d) Tendrá dos pisaderas en su parte inferior para que el operador pueda afirmar el cono contra la plancha de apoyo durante el llenado.
- e) Tendrá dos asas en el tercio superior de la altura, cuyo objetivo es levantar el molde después de llenado con el hormigón.

B.2.Varilla pisón

Será una barra cilíndrica lisa de acero, de 16mm de diámetro y 600mm de longitud, con sus extremos semiesféricos, de 16mm de diámetro.

B.3.Plancha de apoyo

Será rígida, no absorbente y por lo menos de 400 x 600mm.

B.4.Pala de llenado

Será metálica, de preferencia de fondo redondo y punta de huevo, de dimensiones adecuadas para vaciar el hormigón en el molde.

6.3.3.4.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

B.1.Muestras de hormigón

El tamaño y extracción de la muestra de hormigón necesaria para efectuar el ensayo se ajustará a lo señalado en la **Sección 6.3.3.1.**

B.2.Acondicionamiento del equipo

Antes de iniciar el ensayo verifique que tanto el molde como sus accesorios se encuentren limpios y húmedos (sólo con agua).

Coloque el molde sobre la plancha de apoyo horizontal.

B.3.Tiempo de operación

Las operaciones de llenado del molde, seguida de su retiro, levantándolo como se describe en 10 desde a) a f), deben efectuarse en un tiempo no superior a 3 min.

B.4.Llenado del molde

El operador debe pararse sobre las pisaderas, afirmando el molde firmemente contra la plancha de apoyo, de manera de evitar cualquier movimiento durante el llenado.

Llene con el hormigón por ensayar mediante tres capas de aproximadamente igual volumen; la primera deberá alcanzar una altura aproximada de 7cm y la segunda una altura aproximada de 16cm, ambas medidas desde la base.

- Apisone cada capa con 25 golpes de la varilla pisón, distribuidos uniformemente en toda la sección.
- Apisone la capa inferior en toda su profundidad, cuidando de no golpear la plancha de apoyo. Dé aproximadamente, la mitad de los golpes alrededor del perímetro con la varilla pisón ligeramente inclinado; luego siga dando golpes con la varilla vertical, acercándose al centro en forma de espiral.
- Apisone las capas media y superior en todo su espesor, de modo tal que la varilla pi-

són penetre apenas en la capa subyacente. Durante el apisonado de la última capa, mantenga permanentemente un exceso de hormigón por sobre el borde superior del molde, sin sobrepasar el número de golpes estipulados.

Terminada la compactación de la capa superior, enrase la superficie con un movimiento de ase-rrado y rotación de la varilla pisón, apoyándola en el borde superior del molde.

Retire del área adyacente al molde todo el hormigón que se hubiere derramado.

B.5. Levantamiento del molde:

- Inmediatamente después de terminado el llenado del molde, levántelo evitando cualquier perturbación o golpe, tanto al cono como a la base, a fin de no alterar la medida.
- Para levantar, cargue las asas con las manos, dejando libres las pisaderas.
- Levante verticalmente el molde en forma suave, sin originar desplazamientos laterales ni movimientos de torsión; esta operación no debe tardar más de 5 a 10 seg.

B.6. Medición del asentamiento (Ver Figura 6.3_39 Fig. 2).

- Una vez levantado el molde, colóquelo en posición invertida a un costado del hormigón moldeado.
- Inmediatamente mida la disminución de altura que ha experimentado la cara superior del hormigón respecto del borde superior del molde colocado a su costado, con aproximación de 0,5 cm. Con una huincha o regla graduada en mm, mida aproximadamente, en el eje original de moldeo de la mezcla, con la visión del operador en dirección perpendicular a la huincha o regla de medición.

Si el hormigón moldeado se inclina decididamente hacia un lado o sufre desprendimientos parciales de su masa, repita el ensayo utilizando otra porción de hormigón de la misma muestra. En caso que por segunda vez se presenten algunos de los fenómenos descritos, informe que el hormigón no es apto para el ensayo del asentamiento, por carecer de la plasticidad y cohesión necesarias.

Nota 1: Toda porción de una muestra de hormigón utilizada en este ensayo, deberá desecharse una vez concluida la operación.

6.3.3.4.5. CÁLCULOS

Informe el asentamiento del Cono de Abrams como la disminución de altura determinada como se indica en **10 f)**, informando el resultado en cm., con aproximación a 0,5 cm. El asentamiento medido debe encontrarse en correspondencia con el indicado en proyecto.

6.3.3.4.6. INFORME

El Informe deberá incluir al menos los siguientes antecedentes:

- a) Nombre del Contrato y del Contratista que preparó el hormigón.
- b) Identificación de la muestra (tipo o grado del hormigón, procedencia de la muestra).
- c) Lugar y fecha de muestreo.
- d) Entidad responsable del muestreo y ensayo.

- e) Valor del asentamiento registrado.
- f) Cualquier observación relativa al aspecto visual del hormigón.
- g) Constancia si se presentó o no la situación descrita en 10g).
- h) Dejar constancia que se ensayó en conformidad con este método (especificación).

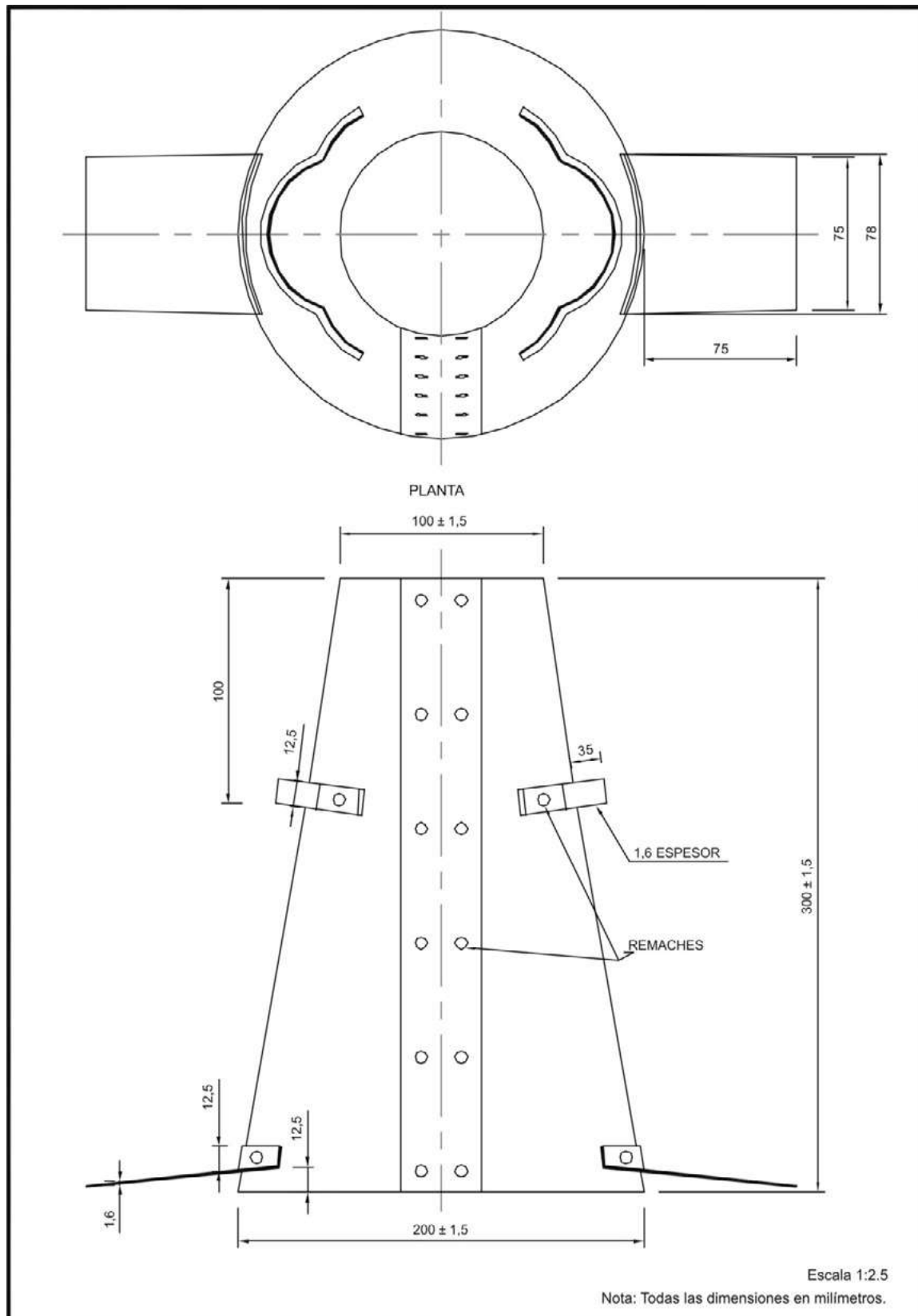


Figura 6.3_38. MOLDE PARA DETERMINAR EL ASENTAMIENTO

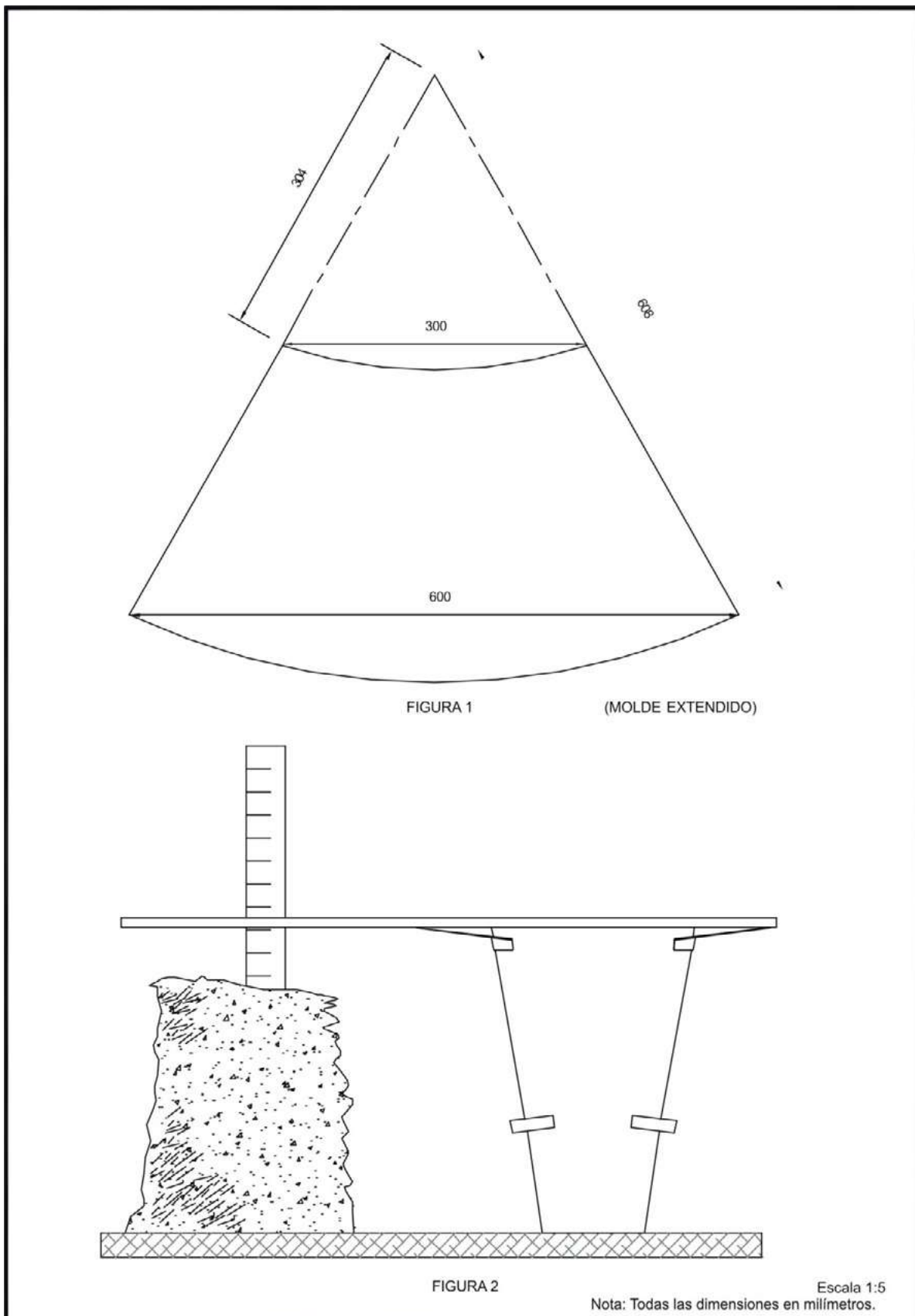


Figura 6.3_39. DESARROLLO DEL MOLDE – MEDIDA DE ASENTAMIENTO

A. MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA FLUIDEZ DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE

Para la determinación de la fluidez en el caso de hormigones autocompactantes podrán emplearse el Método del anillo japonés (UNE 83362), el

Método de la caja en L (UNE 83363) y el Método del Embudo en V (UNE 83364).

La ejecución de un solo ensayo no resulta concluyente, por lo que se realizaran como mínimo dos ensayos.

SECCION 6.3.3.5.

MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD APARENTE, EL RENDIMIENTO Y LOS CONTENIDOS DE CEMENTO Y AIRE EN EL HORMIGÓN FRESCO (ASTM C 138 AASHTO T121)

6.3.3.5.1. OBJETO

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad aparente, el rendimiento, el contenido de cemento y el contenido de aire del hormigón fresco.

6.3.3.5.2. DEFINICIONES

A.1.Densidad

Es el cociente entre la masa de una sustancia y su volumen a una temperatura especificada.

A.2.Densidad aparente del hormigón

Es la densidad que se calcula considerando como volumen el volumen aparente de la mezcla (volumen real de la mezcla más el volumen de aire arrastrado o incorporado a ella). Este volumen corresponde al de la medida que lo contiene.

A.3.Rendimiento de la amasada (Va)

Volumen aparente de hormigón fresco elaborado en una amasada.

A.4.Rendimiento relativo (Rr)

Cociente entre el volumen aparente de hormigón fresco elaborado y el volumen aparente teórico de hormigón fresco de la dosificación especificada (volumen de diseño).

A.5.Rendimiento por saco de cemento (Rs)

Volumen aparente de hormigón fresco elaborado utilizando un saco de cemento; se expresa en m³/saco, indicando la capacidad del saco, 42,5 Kg. o 50 Kg., según corresponda.

A.6.Contenido de aire

Volumen de aire arrastrado o incorporado al hormigón, expresado como porcentaje del volumen aparente de ese hormigón.

6.3.3.5.3. EQUIPOS Y MATERIALES

A.1.Balanza

Utilice una balanza de capacidad igual o mayor que 50Kg. para la medida de 15 l e igual o mayor que 100Kg. para la medida de 30l; la precisión debe ser mínimo de 50g.

A.2.Varilla pisón

Barra cilíndrica lisa de acero de 16mm de diámetro y 600 mm de longitud, con sus extremos terminados en semiesferas de 16mm de diámetro.

A.3. Vibradores

Vibradores internos. Los vibradores internos deben operar a una frecuencia de vibración igual o mayor que 100 s⁻¹ (6.000 pulsaciones/min.); el diámetro externo del elemento vibrador debe estar comprendido entre 20 y 40mm.

Vibradores externos. Los vibradores externos serán de mesa o de placa, con una frecuencia de vibración igual o superior a 50 s⁻¹ (3.000 pulsaciones/min.).

A.4. Medidas volumétricas

Para medir el volumen utilice recipientes metálicos, impermeables, estancos, químicamente inertes con los componentes del hormigón y provistos de dos asas. El interior debe tener la forma de un cilindro recto abierto por una de sus caras planas; debe rectificarse, si corresponde, para asegurar las dimensiones interiores.

- a) La capacidad nominal y dimensiones de los recipientes deben ser las que se indican en **Tabla 6.3_44**, las que están en función del tamaño máximo nominal del árido empleado.

Tabla 6.3_44. DIMENSIONES DE LAS MEDIDAS VOLUMÉTRICAS

Tamaño nominal del árido (mm)	Capacidad nominal (m ³)	Dimensiones interiores		Espesor mínimo	
		Diámetro (mm)	Altura mínima (mm)	Base (mm)	Pared (mm)
50 o menor	0,015	255±5	280	3	2
63 o mayor	0,030	355±5	300	3	2

- b) Se deben reforzar los bordes de la medida con una pletina de 3 a5 mm de espesor y 40 mm de ancho.

A.5. Placa de enrase

Es una placa de metal, vidrio o acrílico cuyo ancho y largo deben superar en 50 mm o más al diámetro de la medida; su espesor debe ser igual o mayor que 6 mm en placas de metal, e igual o mayor que 12 mm en placas de vidrio o acrílico.

A.6. Calibración de la medida

a) Verificación Previa.

Antes de cada ensayo verifique la tara de la medida, aproximando a 50 g.

b) Verificaciones periódicas.

Periódicamente revise la capacidad volumétrica de la medida, con una precisión de 0,1%, determinando la masa de agua que llena la medida y dividiendo esta masa por la densidad del agua a la temperatura en que se encuentra.

A.7. Muestreo

El muestreo debe ajustarse a lo dispuesto en la **Sección 6.3.3.1**.

6.3.3.5.4. PROCEDIMIENTO

a. Compactación

Compacte mediante apisonado o vibrado según el procedimiento que se indica en la **Tabla 6.3_45**, en función del asentamiento del hormigón, excepto que las especificaciones técnicas especiales, establezcan un procedimiento determinado para una obra en particular.

Tabla 6.3_45. PROCEDIMIENTO PARA COMPACTAR EN FUNCIÓN DEL ASENTAMIENTO.

Asentamiento "a" (cm)	Procedimiento de compactación
$a < 5$	Vibrado
$5 \leq a \leq 10$	Vibrado o apisonado
$a > 10$	Apisonado

Nota 1: La compactación debe ser lo más parecida posible a la usada en la obra. Si se usa otro procedimiento o no se cumple con lo especificado en **Tabla 6.3_45**, se debe dejar constancia especial en el informe.

a) Apisonado:

- Coloque el hormigón fresco en la medida mediante tres capas de espesores aproximadamente iguales y de manera que la última capa exceda sobre el borde de la medida.
- Compacte cada capa con la varilla pisón distribuyendo los golpes en toda la sección, a razón de 25 golpes por capa cuando se emplee la medida de 15 l y de 50 golpes por capa cuando se emplee la medida de 30 l.
- Apisone la capa inferior en toda su altura, sin golpear el fondo de la medida.
- Apisone las capas superiores de modo que la varilla pisón penetre en la capa subyacente, aproximadamente, 2 cm.
- Después de apisonar cada capa, golpee 10 o más veces los costados de la medida hasta que no continúen apareciendo burbujas grandes de aire en la superficie de la capa compactada y se cierren los vacíos dejados por la varilla pisón.

b) Vibrado interno:

- Coloque el hormigón fresco en la medida, en dos capas aproximadamente iguales y de manera que en la última capa quede hormigón en exceso por sobre el borde de la medida.
- Compacte cada capa mediante tres inserciones del vibrador.
- Introduzca el vibrador verticalmente en la capa inferior hasta aproximadamente 2 cm del fondo de la medida; en la capa superior introduzca de modo que el vibrador penetre aproximadamente 2cm. en la capa subyacente; realice esta operación sin tocar las paredes ni el fondo del molde con el vibrador.
- Retire el vibrador tan lentamente como sea posible.
- Vibre solamente hasta que una delgada capa de lechada cubra la superficie del hormigón.
- Durante el vibrado de la capa superior, mantenga permanentemente hormigón en exceso por sobre el borde de la medida, rellenando con hormigón fresco cuando sea necesario.

c) **Vibrado externo:**

- Fije firmemente la medida al elemento vibrador, manualmente o con algún dispositivo mecánico, de modo que ambos vibren solidariamente.
- Coloque el hormigón en una sola capa, manteniendo en todo momento hormigón en exceso sobre el borde de la medida.
- Vibre el tiempo necesario para asegurar la compactación, presionando simultáneamente la superficie del hormigón; detenga el vibrado cuando una delgada capa de lechada cubra la superficie.

b. **Enrase y alisado**

Al terminar la compactación deje un exceso de hormigón de aproximadamente 3 mm de espesor por sobre el borde de la medida.

Enrase y alise mediante la placa, cuidando dejar el recipiente lleno justo hasta el borde de la medida.

c. **Pesada**

Inmediatamente después de terminar el alisado, limpie el exterior de la medida y pése-la. Reste la masa de la medida a fin de determinar y registrar la masa del hormigón que llena la medida (m), aproximando a 50 g para la medida de 15 l y a 100g para la medida de 30 l.

6.3.3.5.5. CÁLCULOS

A.1. Densidad aparente

Calcule la densidad aparente del hormigón fresco, con la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m:

$$\rho_a = \frac{m}{V}$$

Donde:

- ρ_a : Densidad aparente del hormigón fresco (kg/m³).
- m: Masa del hormigón fresco que llena la medida (kg).
- V: Capacidad volumétrica de la medida (m³).

A.2. Rendimiento de la amasada

Calcule el rendimiento de la amasada del hormigón fresco, como el volumen aparente de hormigón elaborado en cada amasada, de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a 0,001 m³/amasada:

$$V_a = \frac{m_c + m_a + m_g + m_w}{\rho_a}$$

Donde:

- V_a : Volumen de cemento de hormigón elaborado en cada amasada (m³).

- m_c : Masa de cemento incorporado a la amasada (kg).
- m_a : Masa de arena en la condición de humedad en que fue incorporada a la amasada (kg).
- m_g : Masa de grava en la condición de humedad en que fue incorporada a la amasada (kg).
- m_w : Masa del agua incorporada a la amasada (kg).
- ρ_a : Densidad aparente del hormigón fresco (kg/m³).

4. Rendimiento relativo

Calcule el rendimiento relativo del hormigón fresco con la fórmula siguiente, aproximando al 1%:

$$R_r = \frac{V_a}{V_t} \times 100$$

Donde:

V_a : Volumen aparente de hormigón fresco en cada amasada (m³).

V_t : Volumen aparente teórico de hormigón fresco de la dosificación especificada (m³) (Corresponde a V_r + volumen de aire estimado para cada amasada).

V_r : Volumen real del hormigón fresco elaborado en cada amasada (m³), calculado según 22.

Nota 2: El rendimiento relativo puede obtenerse también a partir de las densidades ($\rho_t : \rho_a$) o de los contenidos de cemento ($c_{\text{efectivo}} : c_{\text{especificado}}$).

A.3. Rendimiento por saco de cemento

Calcule el rendimiento por saco de cemento del hormigón fresco con la fórmula siguiente, aproximando a 0,001 m³/saco (l/saco):

$$R_s = \frac{V_a}{N}$$

Donde:

R_s : Rendimiento por saco de cemento del hormigón fresco (m³/saco) (l/saco).

V_a : Volumen aparente del hormigón fresco elaborado en cada amasada (m³) (l).

N : Numero de sacos de cemento empleados en cada amasada.

Nota 3: Se debe indicar la capacidad del saco: 42,5 kg o 50 kg. Según corresponda.

A.4. Contenido efectivo de cemento

Calcule el contenido efectivo de cemento del hormigón fresco con la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg cem/m³ de hormigón elaborado:

$$c = \frac{m_c}{V_a}$$

Donde:

- c: Contenido efectivo de cemento (Kg cem/m³).
- m_c: Masa de cemento incorporada a la amasada (kg).
- V_a: Volumen aparente de hormigón fresco, elaborado en cada amasada (m³).

A.5. Contenido estimado de aire

Calcule el contenido de aire del hormigón fresco con una de las fórmulas siguientes, aproximando al 1%:

$$A = \frac{V_a + V_r}{V_a} \times 100$$

Donde:

- A: Contenido estimado de aire del hormigón fresco (%).
- V_a: Volumen aparente de hormigón fresco elaborado en cada amasada (m³).
- V_r: Volumen real del hormigón fresco elaborado en cada amasada (m³), calculado según la fórmula:

$$V_r = V_{rc} + V_{ra} + V_{rg} + V_w$$

Donde:

- V_{rc}; V_{ra}; V_{ra}; V_w: Volúmenes reales de todos los materiales incorporados a la amasada;

O bien:

$$A = \frac{\rho_r - \rho_a}{\rho_r} \times 100$$

Donde:

- ρ_a: Densidad aparente del hormigón fresco (kg/m³).
- ρ_r: Densidad real del hormigón fresco (kg/m³), calculada la fórmula:

$$\rho_r = \frac{m_c + m_a + m_g + m_w}{V_r}$$

Nota 4: El volumen real de cada material corresponde a su masa dividida por su densidad real. Para los áridos se debe determinar la masa y la densidad real en condición de saturados superficialmente secos, de acuerdo con las **Secciones 6.3.1.9 y 6.3.1.10**.

Nota 5: La densidad real del hormigón fresco se determina en el laboratorio y se estima constante para todas las amasadas elaboradas con los mismos materiales y la misma dosificación.

6.3.3.5.6. INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Nombre del contrato y del contratista.
- b) Dosificación y procedencia de los materiales.
- c) Fecha, hora, lugar y nombre del laboratorista que extrajo la muestra.
- d) Resultados.
- e) Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al hormigón.
- f) Referencia a este Método.

SECCION 6.3.3.6.

TIEMPO DE FLUJO DEL HORMIGÓN A TRAVÉS DEL CONO DE ASENTAMIENTO INVERTIDO (ASTM C 1611)

6.3.3.6.1. ALCANCE

Este método de ensayo cubre la determinación del flujo de cono en el hormigón autocompactante.

6.3.3.6.2. PROCESOS DEL ENSAYO

- a. **Halo:** anillo de agua, pasta de cemento o mortero que se observa claramente separado del árido grueso, alrededor de la circunferencia de hormigón después que la mezcla fresca ha escurrido desde el cono de Abrams.
- b. **Ecurrimiento:** distancia del flujo de hormigón durante el ensayo de flujo de cono.
- c. **Estabilidad:** habilidad de un hormigón para resistir la segregación de sus componentes.
- d. **Viscosidad:** resistencia de un material para escurrir bajo un esfuerzo de cizalle.

6.3.3.6.3. SIGNIFICADO Y USO

Este método de ensayo provee un procedimiento para determinar el flujo de cono de hormigón autocompactante en el laboratorio o en terreno.

Este método de ensayo es usado para monitorear la consistencia y el potencial de flujo del hormigón autocompactante en estado fresco.

Es dificultoso producir hormigón autocompactante que sea fluido y sin segregación a la vez usando árido grueso de tamaño máximo mayor a 25,0 mm (1"). Por lo tanto, este método de ensayo se considera aplicable para hormigón autocompactante con árido grueso de tamaño máximo hasta 25,0 mm (1"). El anexo 1 provee un criterio visual que puede ser usado para clasificar la habilidad de la mezcla de hormigón autocompactante para resistir la segregación (estabilidad)

La velocidad a la cual el hormigón escurre está relacionada con su viscosidad. El **Anexo I** provee un procedimiento que puede ser usado para proporcionar una indicación de la viscosidad relativa de mezclas de hormigón autocompactante.

6.3.3.6.4. EQUIPOS Y MATERIALES

- **Molde:** El molde usado en este ensayo debe cumplir con lo especificado en la **Sección 6.3.3.4.**
- **Placa base:** La placa base sobre la cual el molde se apoya debe ser no absorbente, lisa, rígida y tener un diámetro mínimo de 90 cm.

Nota 1: La experiencia de terreno y los resultados de ensayos han mostrado que placas base de placas de madera selladas/revestidas, plástico acrílico, o acero son apropiadas para la realización de este ensayo.

- **Pisón:** Como el descrito en la **Sección 6.3.2.18**.

6.3.3.6.5. MUESTRA

La muestra de hormigón, con la cual se realizará el ensayo, debe ser representativa del total de la amasada: Debe ser obtenida de acuerdo a la **Sección 6.3.2.1**.

6.3.3.6.6. PROCEDIMIENTO

- a. El ensayo de flujo de cono debe ser realizado sobre una superficie plana, nivelada, no absorbente tal como un piso de hormigón prehumedecido o una placa base. La placa base debe ser utilizada en condiciones donde no hay disponibilidad de una superficie plana, nivelada, como ocurre en el sitio de construcción. Cuando la placa base se utilice, posicione y acuñe la placa base de forma que quede completamente soportada, plana y nivelada. Cuando se esté realizando el ensayo de flujo de cono para un proyecto o estudio dado, no cambie el tipo de superficie de la placa base durante la duración del estudio o proyecto.
- b. **Llenado del molde:** El usuario tiene la opción de llenar el molde del cono de Abrams, siguiendo el procedimiento A o el Procedimiento B.
 - **Procedimiento A (Cono normal):** Humedecer y colocar el molde, con su abertura más grande en la parte inferior, en el centro de una placa base o superficie de hormigón, humedecida y pareja. Sujetar firmemente el molde en su lugar durante el llenado, estando el operador parado en ambos pies. Llene el molde completamente en una capa inmediatamente con la muestra de hormigón obtenida según el punto "Muestra". Permitir un ligero sobrelleñado sobre la parte superior del molde.
 - **Procedimiento B (Cono invertido):** Humedecer y colocar el molde, con su abertura más pequeña en la parte inferior, en el centro de una placa base o superficie de hormigón, humedecida y pareja. Sujetar firmemente el molde en su lugar durante el llenado, estando el operador parado en ambos pies. Llene el molde completamente en una capa inmediatamente con la muestra de hormigón obtenida según el punto "Muestra". Permitir un ligero sobrelleñado sobre la parte superior del molde.

Nota 2: Durante el desarrollo de este método de ensayo, se ha encontrado que algunos de los usuarios prefieren realizar el ensayo con la abertura mayor del cono de Abrams en la parte inferior, como se establece en el punto "Muestra". La provisión de un collar en la parte superior del molde es útil para reducir la probabilidad de caída de hormigón sobre el molde y la placa base. Otros usuarios prefieren colocar el molde con la abertura menor abajo, lo cual facilita la operación de llenado. Ambos procedimientos de llenado han sido encontrados aptos para la realización de este ensayo. La información de precisión indicada en sección 20 considera el uso de ambos procedimientos.

- c. Con movimientos de sierra de pisón, empareje la superficie de hormigón en la parte superior del molde. Remueva el hormigón del área circundante de la base del molde para evitar interferencias con el movimiento del flujo del hormigón. Remueva el molde del hormigón levantándolo verticalmente. Levante el molde a una altura de 21,5 a 23 cm en 3 segundos, por medio de un movimiento ascendente y continuo, sin movimientos laterales o de torsión. Complete el ensayo en un tiempo de 2,5 minutos, transcurridos desde el inicio del ensayo hasta la remoción del molde.
- d. Esperar que el hormigón detenga su flujo y luego medir el mayor diámetro del depósito circular aproximando a 0,5 cm. Cuando se observe un halo en el contorno circular del hormigón, éste debe incluirse como parte del diámetro del hormigón. Medir un segundo diámetro del depósito circular en un ángulo aproximadamente perpendicular al primer diámetro medido.
- e. Si la medida de los dos diámetros difiere por más de 5 cm, el ensayo no es válido y debe ser repetido.

6.3.3.6.7. CÁLCULO

Calcular el flujo de cono usando la ecuación 1:

$$\text{Flujo de cono} = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

Donde:

- d_1 : El mayor diámetro del depósito circular del hormigón.
- d_2 : El diámetro del hormigón en un ángulo aproximadamente perpendicular a d_1 .

Registrar el promedio de los dos diámetros, aproximando a 1 cm.

6.3.3.6.8. PRECISIÓN

La precisión de este método fue determinada basada en resultados obtenidos de un programa de ensayos (robin round test) conducido por miembros del subcomité ASTM C09.47. El programa de ensayos consideró operadores individuales y múltiples, realizando 3 réplicas del ensayo usando el molde en ambas posiciones, normal e invertido. El ensayo fue realizado usando hormigón autocompactante, con alto y bajo nivel de fluidez y con mezclas estables e inestables.

Detalles completos del programa de ensayos están disponibles en ASTM en un informe titulado "Report on Development of a Precision Statement for the Slump Flow Test Method for Self Consolidating Concrete"

Precisión de Operador individual. La precisión de un operador individual refleja el uso de ambos procedimientos A y B. La desviación estándar de un operador individual para el flujo de cono ha sido determinada en 2,7 cm para mezclas con valores de flujo de cono aproximadamente entre 48 y 68 cm. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos apropiadamente realizados por el mismo operador con la misma amasada de hormigón no deben diferir por más de 7,5 cm.

Precisión Multi-Operador. La precisión multi-operador refleja el uso de ambos procedimientos A y B.

La desviación estándar del multi-operador para el flujo de cono ha sido determinada en 2,7 cm para mezclas con valores de flujo de cono aproximadamente entre 53 y 74 cm. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos apropiadamente realizados por dos operadores con la misma amasada de hormigón no deben diferir por más de 7,5 cm.

6.3.3.6.9. INFORMES

Informar el uso del procedimiento A o B.

Informar el flujo de cono con aproximación a 1 cm.

A1. Medida relativa del flujo de cono, viscosidad y estabilidad

A1.1 La velocidad de flujo de un hormigón autocompactante es influenciada por su viscosidad. Por lo cual una medida relativa de viscosidad es útil para el propósito de diseñar una mezcla de hormigón autocompactante en laboratorio. En la ejecución del ensayo de flujo de cono, se mide el tiempo del escurrimiento del hormigón transcurrido entre el inicio del levantamiento del molde y cuando el borde exterior del flujo alcanza 50 cm de diámetro, entregando una medida relativa de la velocidad del flujo de la mezcla de hormigón no confinada. Para materiales similares, este periodo de tiempo, denominado T50, otorga una indicación de viscosidad relativa de la mezcla de hormigón autocompactante.

Nota A1.- El valor T50 indica propiedades del flujo del hormigón autocompactante, en el cual los valores más altos normalmente corresponden a viscosidad incrementada. Aditivos reductores de agua de alto rango especiales son típicamente usados para modificar las propiedades de flujo de mezclas de hormigón autocompactante. Además, aditivos modificadores de viscosidad y otros cambios en las proporciones de la mezcla y materiales también influyen en las propiedades del flujo y resistencia a la segregación.

A1.2 La estabilidad del hormigón autocompactante, puede ser observada visualmente examinando la masa y por lo tanto puede ser usada para control de calidad de las mezclas de hormigón autocompactante. La **Tabla 6.3_46** contiene valores del Índice de Estabilidad Visual (IEV) con criterios correspondientes para evaluar cuantitativamente la estabilidad del hormigón autocompactante. Sin embargo, esos valores no cuantifican las propiedades de un hormigón.

A1.3 Aparatos:

A.1.3.1 Placa base marcada. Una placa base como la descrita en 10, la cual tiene una marca circular centralmente localizada para colocar el molde, y un círculo concéntrico a 50 cm.

Tabla 6.3_46. VALORES DE ÍNDICE DE ESTABILIDAD VISUAL

Valor IEV	Criterio
0 = Altamente estable	No hay evidencia de segregación o exudación.
1 = Estable	No hay evidencia de segregación y se observa pequeña exudación como brillo sobre la masa de hormigón.
2 = Inestable	Un pequeño halo de mortero (< 10 mm) y/o una pila de árido en el exterior de la masa de hormigón.

3 = Altamente inestable	Clara segregación por evidencia de un gran halo de mortero (> 10 mm) y/o una gran pila en el centro de la masa de hormigón.
-------------------------	---

Nota A1.2: La marca circular centrada localmente ubicada a 50 cm sobre la placa base, ayudará al usuario en la determinación del valor T50.

A1.3.2 Cronómetro – Con precisión de 0.01 seg.

A1.4 Procedimiento

A1.4.1 Para determinar T50 use un cronómetro para medir el tiempo en segundos entre el inicio del levantamiento del molde y cuando cualquier parte del borde externo del flujo de hormigón alcanza la marca inscrita en la placa base.

A1.4.2 Después que el escurrimiento del hormigón ha cesado, inspeccionar visualmente la mezcla de hormigón observando la distribución del árido grueso dentro de la masa de hormigón, la distribución de la fracción de mortero particularmente a lo largo del perímetro, y las características de exudación. Asigne un valor de Índice de Estabilidad Visual (IEV) al flujo de hormigón usando el criterio mostrado en la **Tabla 6.3_46** e ilustrado en las **Figuras 6.3_40 a 6.3_43**.

A1.5 Registro:

A1.5.1 Registrar T50 aproximando a 0.2 segundos.

A1.5.2 Registrar el valor IEV.

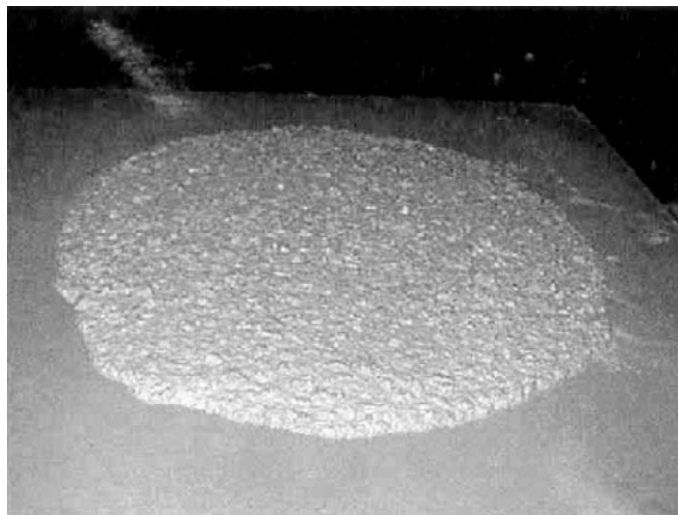


Figura 6.3_40. LA MASA DE HORMIGÓN ES HOMOGÉNEA Y NO HAY EVIDENCIA DE SEGREGACIÓN

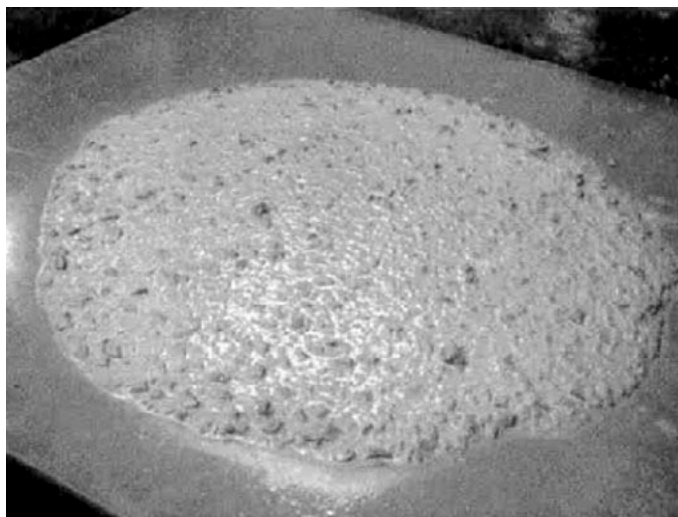


Figura 6.3_41. EL HORMIGÓN MUESTRA ALGO DE EXUDACIÓN COMO BRILLO EN LA SUPERFICIE



Figura 6.3_42. EVIDENCIA DE UN HALO DE MORTERO Y BRILLO DE AGUA

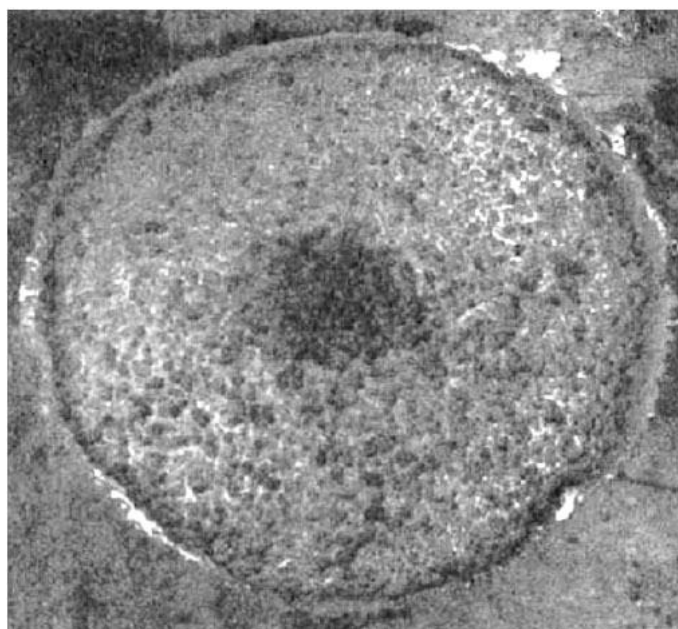


Figura 6.3_43. CONCENTRACIÓN DE ÁRIDO GRUESO AL CENTRO DE LA MASA DE HORMIGÓN Y PRESENCIA DE UN HALO DE MORTERO

SECCION 6.3.3.7.

MÉTODO DE ENSAYO A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CÚBICAS Y CILÍNDRICAS (ASTM C 39 AASHTO T22)

6.3.3.7.1. OBJETO

Este método establece el procedimiento para efectuar el ensayo a la rotura por compresión de probetas cúbicas y cilíndricas de hormigón.

Se aplica al ensayo de probetas preparadas según las **Secciones 6.3.3.1 o 6.3.3.2**, según corresponda.

6.3.3.7.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A.1. Prensa de Ensayo

- a) Tendrá la rigidez suficiente para resistir los esfuerzos del ensayo sin alterar las condiciones de distribución y ubicación de la carga y lectura de resultados.
- b) Tendrá un sistema de rótula que permita hacer coincidir la resultante de la carga aplicada con el eje de la probeta.
- c) Las superficies de aplicación de la carga serán lisas y planas, y no se aceptarán desviaciones con respecto al plano superiores a 0,015 mm en 100 mm medidos en cualquier dirección.
- d) La dimensión de la arista o del diámetro de las placas de carga será igual o superior a la arista o diámetro de la probeta.

Nota1: En caso de usar placas suplementarias para aumentar la dimensión de las placas de carga de la prensa, éstas tendrán superficies rectificadas conformes a 3 c), espesor igual o superior a 50 mm y dureza igual o superior a la de las placas de la prensa.

- e) La sensibilidad de la prensa será tal que la menor división de la escala de lectura sea inferior o igual al 1% de la carga máxima.
- f) La exactitud de la prensa tendrá una tolerancia de $\pm 1\%$ de la carga dentro del rango utilizable de la(s) escala(s) de lectura.
- g) En general el rango utilizable se considera comprendido entre el 10% y el 90% de la lectura máxima en la respectiva escala de lectura.
- h) Se deben contrastar las prensas de ensayo, las de uso habitual por lo menos una vez al año y las de faena al inicio de la obra.
- i) La prensa contará con dispositivos de regulación de la carga según lo especificado en 9 e).

A.2. Regla Graduada

Estará graduada en mm, y tendrá una longitud igual o superior a 400 mm.

A.3. Balanza

Tendrá una capacidad igual o superior a 25 kg y una precisión mínima de 1 g.

6.3.3.7.3. PROCEDIMIENTO

A.1. Acondicionamiento de las Probetas

Acondicione las probetas para el ensayo según la **Sección 6.3.3.3**, si corresponde.

A.2. Medición de Probetas Cúbicas

- a) Coloque el cubo con la cara de llenado en un plano vertical frente al operador.
- b) Mida los anchos de las cuatro caras laterales del cubo (a_1 , a_2 , b_1 , b_2), aproximadamente en el eje horizontal de cada cara (**ver Figura 6.3_44 Fig. 1a**).
- c) Mida las alturas de las cuatro caras laterales (h_1 , h_2 , h_3 y h_4) aproximadamente en el eje vertical de cada cara (**ver Figura 6.3_44 Fig. 1c**).
- d) Expresar estas medidas en mm con aproximación a 1 mm.
- e) Determine la masa de la probeta con una aproximación igual o inferior a 50 g.
- f) En el caso de probetas por refrentar, mida y pese antes del refrentado.

A.3. Medición de Probetas Cilíndricas

- a) Mida dos diámetros perpendiculares entre sí (d_1 y d_2), aproximadamente en la mitad de la altura de la probeta (**ver Figura 6.3_44 Fig. 1b**).
- b) Mida la altura de la probeta en dos generatrices opuestas (h_1 y h_2) antes de refrentar (**ver Figura 6.3_44 Fig. 1d**).
- c) Expresar estas medidas en mm. con aproximación a 1 mm.
- d) Determine la masa de la probeta antes de refrentar, con una aproximación igual o inferior a 50 g.

A.4. Ensayo

- a) Limpie la superficie de las placas y de las caras de ensayo de la probeta.
- b) Coloque la probeta sobre la placa inferior alineando su eje central con el centro de esta placa.
- c) Posición de las probetas.
- d) Coloque las probetas cúbicas con la cara de llenado en un plano perpendicular a la placa inferior de la prensa.
- e) Coloque las probetas cilíndricas asentadas en una de sus caras planas refrentadas.
- f) Asiente la placa superior sobre la probeta, guiándola suavemente con la mano para obtener un apoyo de la placa lo más uniforme posible.
- g) Aplique la carga en forma continua y sin choques, a una velocidad uniforme, que permita cumplir las siguientes condiciones:

- Alcanzar una franca rotura de la probeta en un tiempo igual o superior a 100 seg.

Nota 2: Puede considerarse que hay franca rotura cuando el indicador de carga retrocede bajo el 90% de la carga máxima y hay claras manifestaciones de agrietamiento de la probeta.

- No superar la velocidad de 0,35 N/mm²/seg.

- h) Cuando se conoce aproximadamente la carga de rotura, será permisible aplicar la primera mitad de la carga a una velocidad mayor que la especificada en 9 e).
- i) Una vez fijada la velocidad, especialmente en la segunda mitad de la carga, no haga modificaciones de ella hasta el término del ensayo.
- j) Registre la carga máxima P, expresada en N.

6.3.3.7.4. CÁLCULOS

A.1. Resistencia a Compresión

a) Calcule la sección de ensayo según las fórmulas siguientes:

- Probetas cúbicas (*ver Figura 6.3_ 44, Figura 1a*)

$$S = \frac{(a_1 + a_2)}{2} \times \frac{(b_1 + b_2)}{2}$$

- Probetas cilíndricas (*ver Figura 6.3_ 44, Figura 1b*)

$$S = 0,196 \times (d_1 + d_2)^2$$

Nota 3: La fórmula es una simplificación de:

$$S = \frac{\pi}{4} \times \left(\frac{d_1 + d_2}{2}\right)^2$$

b) Calcule la resistencia a la compresión, como la tensión de rotura, según la fórmula siguiente:

$$f = \frac{P}{S}$$

Donde:

f: Tensión de rotura (MPa).

P: Carga máxima aplicada por la máquina de ensayo (N).

S: Sección de ensayo, medida a partir de la dimensión básica real (mm)².

c) Exprese los resultados en MPa con una aproximación igual a 0,1 MPa.

Nota 4: Si la prensa de ensayo entrega resultados en kgf, se debe considerar la siguiente equivalencia: 1 MPa=10,1972 kgf/ cm².

A.2. Densidad Aparente

- a) Calcule el volumen V de la probeta según la fórmula siguiente:

$$V = S \times h$$

Donde:

S: Sección de ensayo (mm^2).

h: Altura promedio (mm).

- b) Calcule la densidad aparente de la probeta como el cociente entre masa y volumen.
c) Exprese el resultado en Kg/m^3 , con una aproximación igual o inferior a $10 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Nota 5: Para obtener valores más exactos y comparables, se recomienda:

- d) Determinar la masa de la probeta por pesada al aire en el momento de desmoldar, o de recepción en laboratorio. Registrar A.
e) Pesar la probeta sumergida después de 2 min de inmersión. Registrar B.
f) Pesar la probeta al aire inmediatamente de retirarla de la inmersión. Registrar C.
g) Calcular la densidad aparente según la fórmula siguiente:

$$\rho_a = \frac{A}{C - B} \times 1.000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Donde:

A: Masa de la probeta en el momento de desmoldar (g).

B: Masa de la probeta sumergida (g).

C: Masa de la probeta después de la inmersión (g).

6.3.3.7.5. INFORME

El informe incluirá lo siguiente:

A.1. Antecedentes generales

El registro de los antecedentes de las probetas de acuerdo con las **Secciones 6.3.3.1 o 6.3.3.2**, según corresponda.

A.2. Antecedentes de Cada Probeta

- Nombre del Contrato y Contratista.
- Fecha y edad en el momento del ensayo.
- Densidad aparente (kg/m^3).
- Tipo de probeta y dimensión básica.
- Defectos exteriores en la probeta o su refrentado.
- Tipo de curado.

- g) Carga de rotura de la probeta (N).
- h) Resistencia a compresión, (MPa).
- i) Observaciones relativas al hormigón después de la rotura (oquedades, porosidad, adherencias insuficientes, segregación, etc.).
- j) Cualquier otra información específica del ensayo, útil para su mejor interpretación.

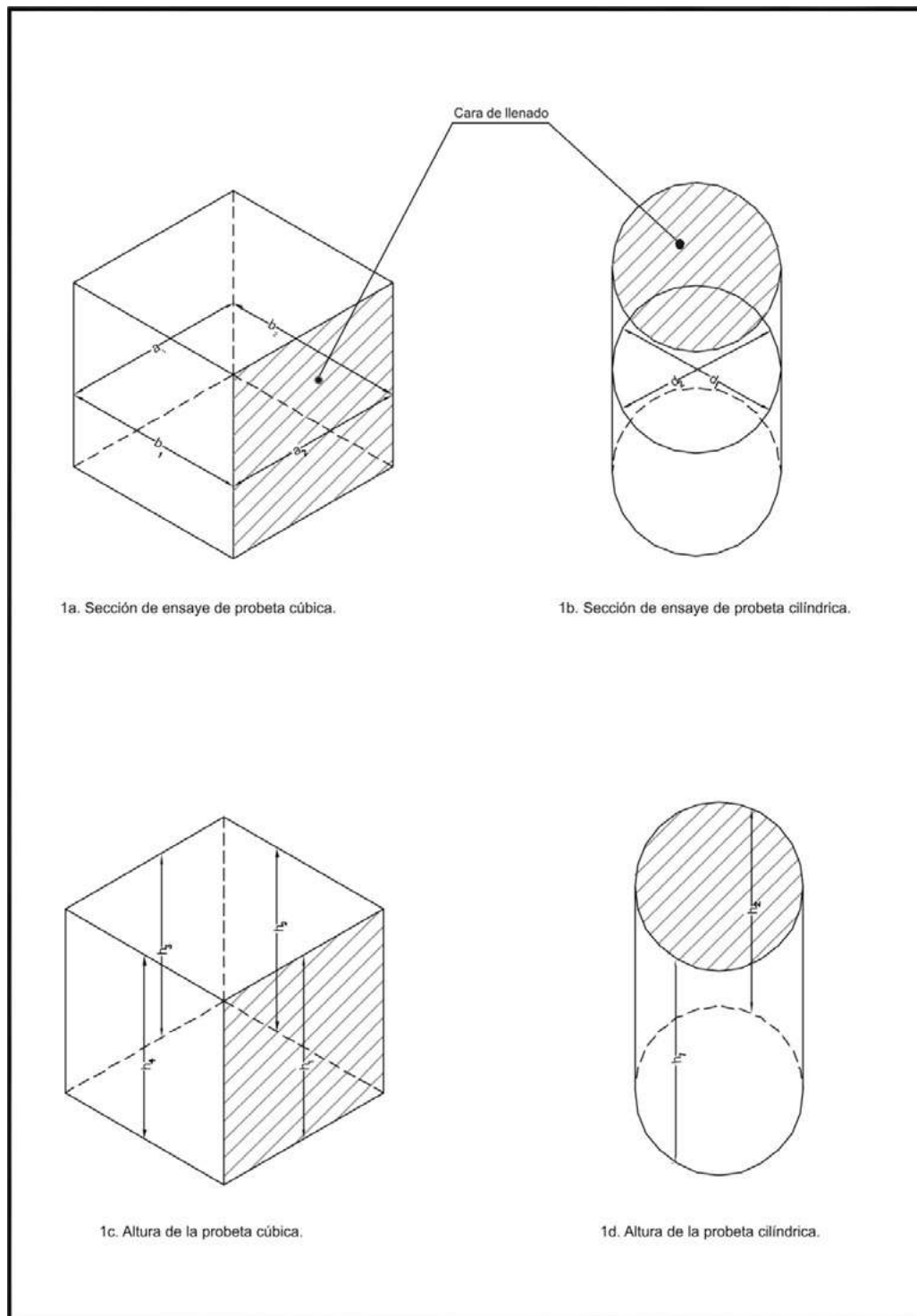


Figura 6.3_44. DETERMINACIÓN DE LAS DIMENSIONES DE PROBETAS

SECCION 6.3.3.8.

ENSAYO ACELERADO PARA LA PREDICCIÓN DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN (ASTM C 1073)

6.3.3.8.1. OBJETO

Este método establece los procedimientos para la fabricación, curado y ensayo de especímenes de hormigón almacenados en condiciones normalizadas, para establecer las relaciones entre la edad del hormigón y su resistencia a la compresión.

Este método determina el procedimiento que debe seguirse para utilizar los resultados de una determinación de la resistencia del hormigón a temprana edad como predicción de la resistencia a edades futuras.

Este método utiliza un sistema convencional de curado, con ensayos a una edad no inferior a 24 horas. Se requiere un almacenamiento durante el curado, con el uso de un termómetro que controle continuamente la temperatura del ambiente que rodea el espécimen.

Este método suministra, para una combinación dada de materiales, en el tiempo más temprano posible, una indicación de la resistencia potencial del hormigón. También suministra información sobre la variabilidad de los procesos de producción sirviendo así como un elemento de control de calidad.

La correlación entre la resistencia temprana de los especímenes y la resistencia a cualquier edad futura lograda por los métodos convencionales de curado depende de los materiales que se utilicen en la mezcla y del procedimiento específico empleado. Cualquier valor de resistencia obtenido por comparación de especímenes, sin importar como se obtuvo, tiene una dudosa relación con la resistencia real del hormigón colocada en la estructura, y tiene valor solamente como indicador de una probabilidad de que la capacidad aportante haya sido o pueda ser obtenida en la estructura mediante el empleo de una formulación particular. Por lo tanto, no existe razón fundamental para que la resistencia a temprana edad obtenida por este método no pueda usarse en el diseño y evaluación de las resistencias de hormigón en la misma forma que la resistencia del hormigón a los 28 días se ha usado en el pasado, con los cambios apropiados en los valores esperados utilizados para describir los valores de resistencia. Sin embargo, debido a que está ampliamente establecido el método de resistencia a los 28 días, muchas personas desearían obtener los resultados de resistencias a edades futuras. Estas proyecciones deben limitarse sólo a hormigones que usen los mismos materiales que fueron utilizados para establecer la correlación.

6.3.3.8.2. DEFINICIONES

A.1. Madurez

Se utiliza para describir las combinaciones de condiciones en y alrededor de un cilindro de hormigón que afectan las resistencias del hormigón. La madurez se expresa en grados - horas.

A.2. Grados - Horas

Es la edad de un cilindro de hormigón en horas, multiplicado por la temperatura promedio

ambiente del espécimen. Los grados - horas se obtienen dividiendo la edad en intervalos de tiempo apropiados y determinando la temperatura promedio ambiente durante este intervalo.

A.3.Línea de Proyección

Es la línea que representa la relación entre el logaritmo de la madurez de los especímenes de resistencia a la compresión y la resistencia de estos especímenes.

A.4.Ecuación de Proyección

La ecuación representa la línea de predicción que se usa para determinar la resistencia potencial de un hormigón de Cemento Portland, a partir de un ensayo de compresión sobre un espécimen a temprana edad.

A.5. La fórmula general de proyección es:

$$SM = S_m + b(\log M - \log m)$$

Dónde:

SM: Resistencia potencial predicha para una madurez M,

S_m: Resistencia a la compresión medida a una madurez m,

b: Pendiente de la línea de proyección,

M: Grados - horas de madurez bajo condiciones normalizadas,

m: Grados - horas de madurez del espécimen en el momento del ensayo temprano.

A.6.Desarrollo de la ecuación

El desarrollo de la ecuación de proyección depende del desarrollo de la línea de proyección.

6.3.3.8.3. EQUIPO Y MATERIALES

Equipo y herramientas, para fabricar especímenes y medir las características plásticas del hormigón.

- Moldes, tendrán las dimensiones y características que se señalan en la **Sección 6.3.2.13**.
- Termómetro para registrar la temperatura del ambiente que rodea el espécimen durante el curado, con una precisión de $\pm 1^\circ\text{C}$ (1.8°F).
- Calentadores de inmersión. Puede utilizarse una resistencia eléctrica de 4.5 kilovatios.
- Tanque para tratamiento térmico. Puede utilizarse una caneca de 55 galones, cortada por la mitad perpendicularmente al eje de la caneca, o un tanque de asbesto cemento.
- Para evitar en parte las pérdidas de calor por radiación, basta forrar la caneca en lámina de lana de vidrio de 2,5 cm. de espesor. Es conveniente colocarle una tapa a la caneca.

6.3.3.8.4. PROCEDIMIENTOS

1. Método ASTM C-918

- a) Moldéense y cúrense los especímenes. Continúese el proceso de curado durante al menos 24 horas.
- b) Manténgase un registro exacto de la temperatura del ambiente que rodea el espécimen durante el curado.
- c) Refrentado y Ensayo. Remuévase el espécimen del molde tan pronto como sea posible, (la madurez m , del espécimen a temprana edad, es la edad en horas en el momento del ensayo multiplicada por la temperatura ambiente ($h \times ^\circ F = m$)).
- d) Cuando se ensaye, el material de refrentado debe desarrollar a la edad de 30 minutos una resistencia igual o mayor que la resistencia de los cilindros que van a ser ensayados.
- e) No deberá ensayarse el espécimen antes de que transcurran 30 minutos desde el refrentado del mismo.
- f) Ensáyese el cilindro para determinar la resistencia a la edad de 24 horas o más. Régistrese la edad exacta, en horas, en el momento del ensayo.

2. Método ASTM C-684

- a) En este método se toman las muestras de hormigón en cilindros normales, cuya única diferencia consiste en que deben estar provistos de una tapa metálica que puede sostenerse en su puesto por medio de tuercas o mariposas. Se dejan las muestras en reposo durante 23 horas.
- b) Al cabo de dicho lapso, las muestras se colocan, con todo y moldes, en un tanque con agua en ebullición. Naturalmente, al colocar los cilindros dentro del agua, la temperatura disminuye, pero debe mantenerse en las cercanías de la ebullición, sin que se produzca este fenómeno, para evitar que el agua de la mezcla eventualmente entre también en ebullición. Se mantiene la muestra en esta condición durante 3 horas y media, al final de las cuales se sacan, y se dejan enfriar durante media hora.
- c) Después del período de enfriamiento se quitan los moldes, se les hace el refrentado con azufre y transcurrida una hora (hora y media después de salir del tanque) se ensayan a compresión.

Con base en los resultados obtenidos a las 28 horas después de tomada la muestra se calculan las resistencias probables a 28 días.

6.3.3.8.5. CÁLCULOS

A.1. Método ASTM C-918

Obténganse datos de resistencia a la compresión para diferentes edades de ensayo y los valores de madurez correspondientes en el laboratorio, para determinar la línea de proyección para cada diseño de mezcla que se utilice. Los datos incluirán ensayos a las 24 horas, 3, 7, 14 y 28 días. Prepárese una gráfica en papel semilogarítmico, de 2 ciclos por 70 divisiones. Numérese la división de 1" en incrementos de 1000 lb/pulg² (eje "Y"). La escala logarítmica representará

la madurez, en grados - horas, en el momento del ensayo (eje "X"). Si los valores de madurez se desarrollan usando grados Celsius, úsese un papel semilogarítmico de 3 ciclos por 70 divisiones.

Graffíquese cada uno de los valores de resistencia, obtenidos de acuerdo al procedimiento indicado en el numeral 1, contra la madurez correspondiente.

Dibújese la línea recta que mejor represente todos los puntos graficados comprobando que la línea pase por el punto que representa la madurez a los 28 días contra la resistencia.

Si este proceso se utiliza para determinar la resistencia a una edad diferente a 28 días, la línea recta debe pasar por el punto que representa la madurez versus la resistencia para la edad proyectada deseada. Si los datos graficados no se acomodan a una línea recta, dibújese entonces una línea que conecte el punto que señala resistencia contra madurez a los 28 días o a una edad superior con la línea que una los puntos que representan resistencia versus madurez a las 24 horas y a los tres días, en el sitio donde se logre el mejor ajuste.

Nota 1: Si se desea comprobar la exactitud del primer estimativo hecho de la pendiente de la línea de proyección, se deben fabricar especímenes compañeros los cuales se curarán y ensayarán a los 28 días. El valor de la pendiente, b , puede reestimarse utilizando la ecuación:

$$b = \frac{\sum(S - S_m)}{\sum(\log M - \log m)}$$

Donde:

S : Resistencia a la compresión medida a la madurez M .

S_m : Resistencia a la compresión medida a la madurez m .

La pendiente b , es la distancia vertical a escala entre el intercepto sobre la línea de 10,000°F y el intercepto sobre la línea de 100,000°F•h.

Úsese la constante b así determinada para proyectar la resistencia a la compresión del hormigón de Cemento Portland.

6.3.3.8.6. PRECISIÓN

El uso de los resultados de este método, en la proyección de resistencias a edades mayores, debe hacerse con precaución, ya que los requerimientos de resistencia de las especificaciones y códigos existentes no se basan en proyecciones de resistencias de ensayos a temprana edad. Debido a que la variabilidad de este método es la misma o menor que la del método tradicional, se puede utilizar los resultados como un método rápido para determinar la variabilidad en los procesos de control y señalar los ajustes necesarios. Por otra parte, la magnitud de los valores de resistencia está influenciada por la combinación específica de materiales, de tal forma que el uso de los resultados o correlaciones debe hacerse sólo para unas condiciones específicas de materiales, y mezcla. Los factores que influyen las relaciones entre las resistencias medias y aquellas del hormigón en su sitio, no difieren de las que afectan los ensayos convencionales de resistencia. Los resultados de dos ensayos de resistencia a la tensión apropiadamente ejecutados por el mismo laboratorio, en dos cilindros individuales hechos con los mismos materiales, no deben diferir en más del 10% de su promedio.

Los resultados de dos ensayos apropiadamente realizados consistentes del promedio de dos cilindros de la misma serie hecha en el mismo laboratorio y con los mismos materiales, no deben diferir en más del 25% de su promedio.

6.3.3.8.7. INFORME

El informe del ensayo debe incluir los siguientes aspectos:

- a) Número de identificación de la muestra.
- b) Diámetro y longitud en mm ó pulg.
- c) Área de la sección transversal en cm^2 o pulg^2 .
- d) Máxima carga en N o lbf.
- e) Resistencia a la compresión calculada con una precisión de 69 kPa (10 lb/pulg²).
- f) Tipo de fractura.
- g) Edad del espécimen.
- h) Temperatura inicial de mezcla con precisión de 1°C (o 1°F).
- i) Registros de temperatura.
- j) Método de transporte utilizado para el envío del espécimen al laboratorio.
- k) Madurez del espécimen en el momento del ensayo temprano, con precisión de 1°F•h o 1°C•h.
- l) El número de días al cual se proyectará la edad.
- m) La resistencia proyectada con una precisión de 69 kPa (10 lb/pulg²).

SECCION 6.3.3.9.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN USANDO UNA PORCIÓN DE VIGA ROTA EN EL ENSAYO DE FLEXIÓN (ASTM C 116 AASHTO T40)

6.3.3.9.1. OBJETO

Este método describe el procedimiento utilizado en la determinación de la resistencia a la compresión del hormigón, usando porciones de vigas rotas en el ensayo de flexión.

6.3.3.9.2. DEFINICIONES

Este método se usará en el laboratorio como una herramienta de investigación para determinar los valores de resistencia a la compresión de diferentes mezclas de hormigón.

6.3.3.9.3. EQUIPOS Y MATERIALES

1. La máquina de ensayo puede ser de cualquier tipo, siempre y cuando tenga la suficiente capacidad para suministrar la tasa de carga que se señala en el numeral 7. La máquina de ensayo debe estar equipada con dos bloques de carga de acero con superficies endurecidas, uno de los cuales se apoyará sobre una rótula que estará en contacto con el plato superior de carga descrito en el numeral 2; y el otro, un bloque rígido y plano que soportará el plato de carga inferior. El diámetro del bloque con apoyo esférico tendrá al menos el 75% del ancho de la muestra, "B". La superficie de apoyo no se debe desviar del plano en más de 0.025 mm (0.001") por cada 152 mm (6") para un bloque de 152 mm (6") de diámetro, o mayores, ni más de 0.025 mm en el diámetro de cualquier bloque más pequeño.

Se recomienda que la cara de carga de los bloques utilizados para el ensayo de compresión del hormigón tenga una dureza Rockwell no menor a C 60.

2. Sobre las superficies de carga de la muestra se montarán platos de carga maquinados o pulidos con un espesor mayor o igual a 19 mm (3/4"), que cumplan con los requerimientos de aplanamiento de las superficies de carga de las muestras que se señalan en el numeral 3.a), y los requerimientos de dureza para los bloques de carga especificados en el numeral 1. Los platos de carga deben ser de tales dimensiones que las caras de contacto sean primordialmente cuadradas, y tengan las mismas dimensiones que el ancho nominal de la viga ensayada. El plato de carga superior debe colocarse directamente sobre el plato inferior.

6.3.3.9.4. CONDICIONES GENERALES

3. La longitud de la porción rota de las vigas seleccionadas para el ensayo a la compresión deben ser al menos 50 mm (2") más larga que el ancho. Las muestras seleccionadas para el ensayo deben estar libres de grietas, superficies imperfectas, u otros defectos obvios.

A.1.Preparación de las muestras

- a) La superficie de carga de las muestras, no tendrá desviaciones del plano en más de 0.05 mm (0.002"); las que no estén planas deben pulirse o recubrirse para

satisfacer la tolerancia anterior. Los procedimientos de recubrimiento deben cumplir con los requisitos señalados en la **Sección 6.3.3.3**. El recubrimiento debe cubrir el ancho completo de la viga y debe tener tal longitud, que permita que el plato de carga superior pueda colocarse directamente sobre el plato de carga inferior.

- b) Durante el período que transcurre entre el ensayo de las muestras a la flexión, o después del recubrimiento, y el rompimiento de las porciones a compresión, la muestra debe mantenerse en las mismas condiciones indicadas en la **Sección 6.3.3.2**.

6.3.3.9.5. PROCEDIMIENTO

4. La orientación de las muestras debe ser tal que el ancho “B”, debe ser igual o menor que la altura “D”. Si la viga tiene una sección transversal cuadrada, las superficies de carga pueden ser los lados de la viga, como originalmente se fundió.
5. Céntrense los platos de carga en la máquina de ensayo de tal forma, que el punto de apoyo del bloque con rótula esté alineado con el centro de los platos de carga. Aplíquese la carga a los platos por medio de una cabeza ajustable.

6. Velocidad de carga

Aplíquese la carga en forma continua, sin impactos o interrupciones. La cabeza móvil de la máquina de ensayo tipo tornillo, deberá desplazarse a una velocidad aproximada de 1.3 mm/min (0.05”/min), cuando la máquina de ensayo esté moviéndose sin transmitir esfuerzo. En las máquinas hidráulicas, ajústese la carga, a una relación constante entre los límites 241 + 104 kPa/s (35 + 15 psi/s).

7. Ensáyense los especímenes hasta que se produzca la falla. Regístrese la carga total señalada por la máquina en el momento de la falla de la muestra ensayada.

6.3.3.9.6. CALCULOS

8. Calcúlese la resistencia a la compresión unitaria, con una precisión de 69 kPa (10 psi). Determínese el área de la sección transversal de la muestra, como el promedio de al menos dos medidas de la dimensión “B”, tanto del plato de carga superior como de la inferior, determinadas con una precisión de 0.25 mm (0.01”).

$$\text{Resistencia a la compresión} = \frac{\text{Carga máxima}}{\text{Área de la sección transversal de la muestra}}$$

6.3.3.9.7. INFORME

El informe de los resultados debe incluir lo siguiente:

- a) El método utilizado en la determinación de la resistencia a la compresión, y su valor.
- b) El número de identificación de la muestra.
- c) Las dimensiones “B” y “D” en mm (ó pulg).
- d) Área de la sección transversal en cm² (ó pulg²).

- e) Carga Máxima, N (lbf).
- f) Edad de las muestras y detalles del curado.
- g) Tipo de falla y aspecto del hormigón.
- h) Orientación de la muestra con respecto a la parte superior de la viga fundida.
- i) Condiciones de curado de las muestras y condiciones de humedad durante el ensayo.

SECCION 6.3.3.10.

MÉTODO DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCION DE PROBETAS PRISMÁTICAS (ASTM C 78 Y C293 AASHTO T97 Y T77)

6.3.3.10.1. OBJETO

1. Este método establece los procedimientos para efectuar el ensayo de tracción por flexión a la rotura de probetas prismáticas de hormigón simplemente apoyadas.
2. Este método, se aplicará al ensayo de tracción por flexión de probetas y se ajustará al procedimiento correspondiente, según la dimensión básica de la probeta. Tenga presente que los dos procedimientos que se describen a continuación no son alternativos y sus resultados no son comparables. Para probetas de dimensión básica 6 pulgadas (150 mm), aplique cargas $P/2$ en los límites del tercio central de la luz de ensayo.

Para probetas de dimensión básica 4 pulgadas (100 mm), aplique la carga P en el centro de la luz de ensayo.

6.3.3.10.2. EQUIPOS Y MATERIALES

3. Prensa de ensayo

Tendrá la rigidez suficiente para resistir los esfuerzos del ensayo sin alterar las condiciones de distribución y ubicación de la carga y lectura de resultados.

La sensibilidad de la prensa será tal que la menor división de la escala de lectura sea menor o igual al 1% de la carga máxima.

La exactitud de la prensa tendrá una tolerancia de $\pm 1\%$ de la carga dentro del intervalo utilizable de la(s) escala(s) de lectura.

En general, el intervalo utilizable se considera comprendido entre el 10% y el 90% de la respectiva escala de lectura.

Se deben contrastar las prensas de ensayo de uso habitual por lo menos una vez al año, y las de faena al inicio de la obra.

4. Dispositivo de tracción por flexión

Deberá tener piezas para apoyo de la probeta y piezas para aplicar la carga, con sus correspondientes accesorios, los que deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- a) Los elementos de contacto con la probeta tendrán la superficie cilíndrica (de este modo se logra un contacto rectilíneo).
- b) Se aplicarán la carga y sus reacciones en forma vertical y estarán dispuestas de modo que las líneas de contacto sean paralelas entre sí y perpendiculares a la luz de ensayo.
- c) Contarán con accesorios que permitan fijar y mantener la luz de ensayo.

- d) Tendrán rótulas regulables, a fin de evitar excentricidades.
- e) Tendrán una longitud igual o mayor que el ancho “b” de las probetas.

5. **Regla rectificadora.**

Tendrá una longitud igual o mayor que 21 pulgadas (533,4 mm).

6. **Regla graduada o huincha.**

Deberá ser graduada en milímetros y de una longitud igual o mayor que 1m.

6.3.3.10.3. PROCEDIMIENTO

7. **Retiro de las probetas curadas**

Las probetas que estaban sumergidas en agua por 24 h. para su curado final según se indica en las **Secciones 6.3.3.1 o 6.3.3.2**, retírelas de ésta inmediatamente antes de ensayar, protéjalas con arpilleras húmedas hasta el momento de colocarlas en la máquina de ensayo, para evitar el secamiento en la cara apoyada que es la que recibe la máxima tracción.

8. **Aplicación de la carga**

La luz de ensayo debe cumplir con las siguientes condiciones, según la forma de aplicación de la carga:

- a) Cargas $\frac{P}{2}$ aplicadas en los límites del tercio central:

$$L \geq 3h$$

(Ver Figura 6.3_45, **Fig.1**)

Donde:

L: Luz de ensayo.

h: Altura de la probeta.

- b) Carga P centrada:

$$L \geq 2h$$

(Ver Figura 6.3_45, **Fig.2**)

- c) La distancia “x” entre cada línea de apoyo y el extremo más cercano de la probeta será igual o mayor que 2,5 cm.

9. Trace rectas finas sobre las cuatro caras mayores que marquen las secciones de apoyo y de carga en forma indeleble y que no alteren el tamaño, forma o características estructurales de las probetas.

Nota 1: Al realizar el trazado, verifique la rectitud de los contactos con la regla rectificadora; no debe pasar luz entre la cara de la probeta y la regla.

10. Verifique y registre la luz de ensayo, expresándola en milímetros con aproximación a 1 mm, medida en la cara inferior de la probeta en la posición para ensayar.

11. Limpie la superficie de las piezas de apoyo y de carga y las zonas de contacto de la probeta.
12. Coloque la probeta en la prensa de ensayo, dejando la cara de llenado en un plano vertical, y haciendo coincidir las líneas de trazado con las piezas de apoyo y de carga correspondientes.
13. El contacto entre la probeta y cada pieza de apoyo o de carga debe ser total, con las tolerancias y condiciones siguientes:
 - a) Acepte una separación igual o menor que 0,05 mm.
 - b) Si la separación es mayor que 0,05 mm y menor que 0,5 mm, use láminas de cuero natural o sintético interpuestas en el contacto. Esas láminas tendrán un espesor uniforme igual o mayor que 5 mm, un ancho igual o mayor que 25 mm y un largo igual o mayor que el ancho de la probeta. Deseche las láminas que presenten deformaciones apreciables a simple vista.
 - c) Si la separación es igual o mayor que 0,5 mm y menor que 2 mm, proceda a refrentar.
 - d) Si la separación es mayor que 2 mm, deseche la probeta.
14. Antes de aplicar la carga verifique que:
 - a) Todos los contactos cumplen con lo indicado en 13.
 - b) Las distancias entre las piezas de apoyo y de carga se mantienen constantes, con una tolerancia de ± 1 mm.
15. Aplique la carga en forma continua y uniforme, sin choques. La velocidad de tensión, calculada, deberá estar comprendida entre 0,015 y 0,02 N/mm²/seg).
16. Una vez fijada la velocidad, no haga modificaciones de ella hasta el término del ensayo.
17. Registre la carga máxima P expresada en N.
18. Mida el ancho (b) y la altura (h) medios de la probeta en la sección de rotura con aproximación a 1mm. Registre b y h.

6.3.3.10.4. CÁLCULOS

19. Ensaye con cargas P/2 en los límites del tercio central de la luz de ensayo.
 - a) Si la fractura de la probeta se produce en el tercio central de la luz de ensayo, calcule la resistencia a la tracción por flexión, como la tensión de rotura según la fórmula siguiente:

$$f_t = \frac{P \times L}{b \times h^2}$$

Donde:

- f_t : Tensión de rotura (MPa).
P: Carga máxima aplicada (N).

L: Luz de ensayo de la probeta (mm).
b: Ancho promedio de la probeta en la sección de rotura (mm).
h: Altura promedio de la probeta de la probeta en la sección rotura (mm).

- b) Si la fractura se produce fuera del tercio central de la luz de ensayo, en la zona comprendida entre la línea de aplicación de carga y una distancia de 0,05 L de esa línea, calcule la resistencia a la tracción por flexión, como la tensión de rotura según la fórmula siguiente:

$$f_t = \frac{3 \times P \times a}{b \times h^2}$$

Donde:

- a: Distancia entre la sección de rotura y el apoyo más próximo, medida a lo largo de la línea central de la superficie inferior de la probeta (mm).
- c) Si la fractura se produce fuera del tercio central de la luz de ensayo y más allá de la zona indicada en b), deseche los resultados del ensayo.
- d) Expresar los resultados en MPa aproximando a 0,1 MPa.

20. Ensayo con Carga P en el Punto Medio de la Luz de Ensayo.

- a) Calcule la resistencia a la tracción por flexión como la tensión de la rotura según la fórmula siguiente:

$$f_t = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times h^2}$$

Donde:

f_t : Tensión de rotura (MPa).
P: Carga máxima aplicada (N).
L: Luz de ensayo de la probeta (mm).
b: Ancho promedio de la probeta en la sección de rotura (mm).
h: Altura promedio de la probeta de la probeta en la sección rotura (mm).

- b) Expresar los resultados en MPa aproximando a 0,1 MPa.

Nota 2: Si la prensa de ensayo entrega resultados en kgf, se debe considerar la siguiente equivalencia: **1 MPa = 10,1972 kgf/cm²**

6.3.3.10.5. INFORME

En el informe incluya lo siguiente:

21. Antecedentes generales.

El registro de los antecedentes generales de las probetas de acuerdo con lo que se indica en las **Secciones 6.3.3.1 o 6.3.3.2**, según corresponda.

22. Antecedentes de cada probeta.

- a) Nombre del contrato y del contratista.
- b) Fecha y edad de la probeta en el momento del ensayo.
- c) Dimensión básica de la probeta, (mm).
- d) Procedimiento de aplicación de la carga.
- e) Luz de ensayo (mm).
- f) Defectos exteriores de la probeta, indicando si fue refrentada o si se usaron láminas para ajuste de piezas de carga.
- g) Tipo de curado.
- h) Carga de rotura de la probeta, (N).
- i) Resistencia a la tracción por flexión (calculada de acuerdo con 19 ó 20 según corresponda), (MPa).
- j) Observaciones relativas al hormigón después de la rotura (oquedades, porosidad, adherencias insuficientes, segregación, etc.).
- k) Cualquier otra información específica del ensayo, útil para su mejor interpretación.
- l) Referencia a este método.

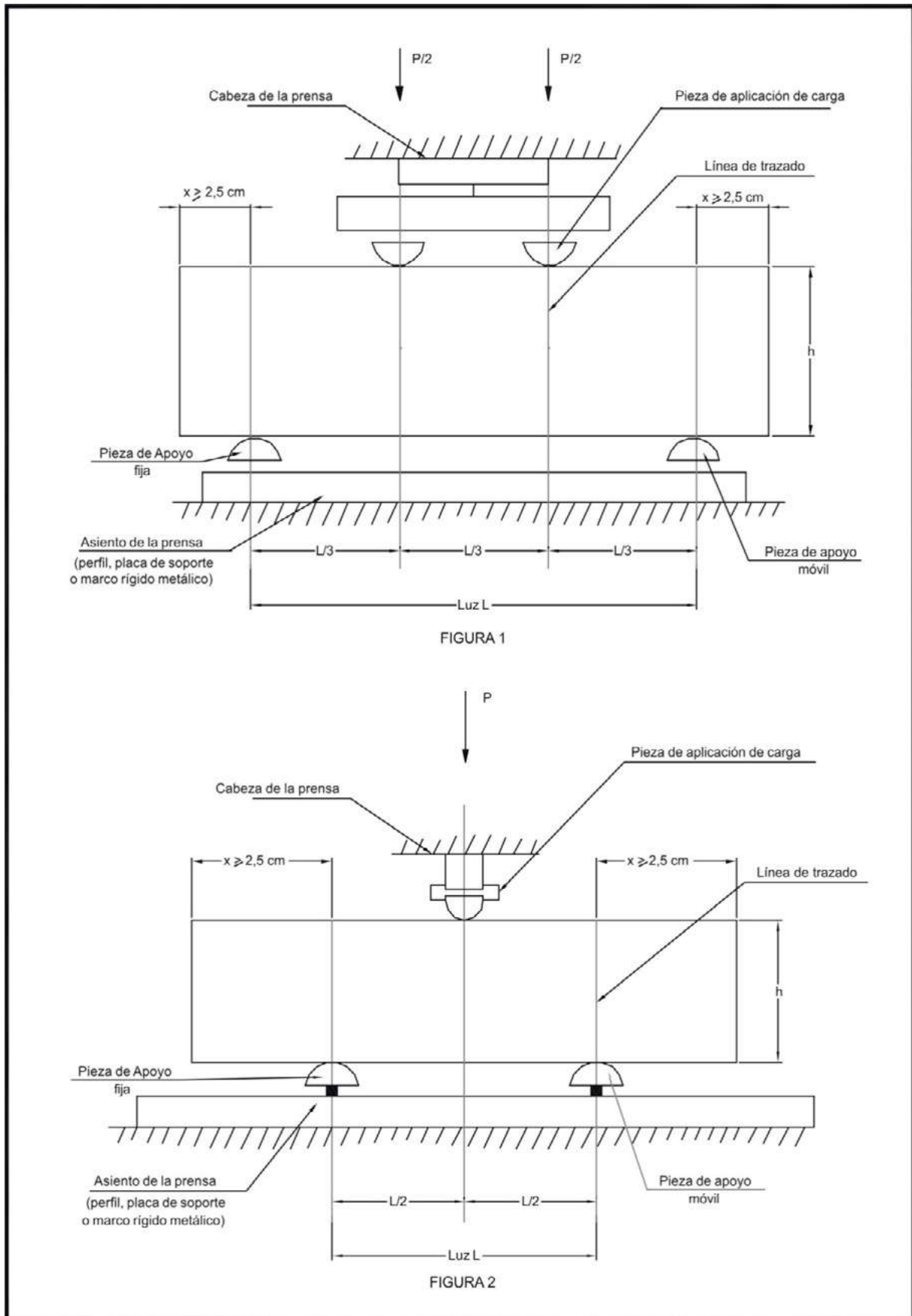


Figura 6.3_45. FIG1. y FIG2. ESQUEMA DE ENSAYOS DE TRACCIÓN POR FLEXIÓN

SECCION 6.3.3.11.

MÉTODO DE ENSAYO A LA TRACCIÓN POR HENDIMIENTO DE PROBETAS CILÍNDRICAS (ASTM C 496)

6.3.3.11.1. OBJETO

Este método establece el procedimiento para efectuar el ensayo de tracción por hendimiento a la rotura de probetas cilíndricas de hormigón. El método se aplica a probetas preparadas según las **Secciones 6.3.3.1 o 6.3.3.2**, según corresponda.

6.3.3.11.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A.1. Prensa de ensayo

La prensa deberá cumplir con lo dispuesto en la **Sección 6.3.3.7**.

A.2. Placa suplementaria

Si el diámetro o la mayor dimensión de las piezas de carga o de apoyo de la prensa de ensayo es inferior a la longitud del cilindro por ensayar, emplee una placa suplementaria de acero, de ancho igual o superior a 50mm, largo igual o superior a la longitud del cilindro y espesor igual o superior a 50mm. Rectifique las caras de modo de obtener una superficie plana con una tolerancia de $\pm 0,25\text{mm}$.

A.3. Tablillas de apoyo

Serán de madera contrachapada de 4 ± 1 mm de espesor, de 15 ± 5 mm de ancho y de longitud igual o ligeramente mayor que la de la probeta.

A.4. Regla graduada

Estará graduada en milímetros (mm) y tendrá una longitud igual o mayor que 400 mm.

A.5. Balanza

Tendrá una capacidad superior a 20kg y una precisión mínima de 1 g.

6.3.3.11.3. PROCEDIMIENTO

a. Curado

Cure las probetas de acuerdo con las **Secciones 6.3.3.1 o 6.3.3.2**, según corresponda.

b. Trazado

Trace con línea fina un diámetro en cada una de las bases del cilindro; ambos deberán estar dentro de un mismo plano. Una ambas rectas mediante el trazado de dos generatrices que definan claramente las líneas de contacto con las tablillas de apoyo. Se recomienda emplear dispositivo de trazado. **Ver Figura 6.3_46**

c. Medición de las probetas

- Determine y registre el diámetro de la probeta como el promedio aritmético de 3 diámetros medidos sobre las líneas de contacto en el centro y cerca de ambos extremos de la probeta, aproximando a 1mm.
- Determine y registre la longitud de la probeta como el promedio aritmético de las longitudes medidas sobre las dos líneas de contacto, aproximando a 1 mm.
- Determine y registre la masa de la probeta en condición húmeda, con una aproximación igual o inferior a 20g.
- Calcule y registre la densidad aparente de la probeta, expresada en kg/m³, con una aproximación igual o inferior a 10 kg/m³.

d. Ensayo

- Limpie las superficies de las placas y de las líneas de contacto de la probeta.
- Coloque una tablilla de apoyo centrada sobre el eje de la placa inferior de la prensa.
- Coloque la probeta sobre la tablilla de apoyo y alinéela de modo que las líneas de trazado diametral queden verticales y centradas sobre la tablilla.
- Coloque la segunda tablilla de apoyo centrada sobre la línea de contacto superior de la probeta.
- Se recomienda emplear un dispositivo de alineación (ver Figura 6.3_47).
- Antes de aplicar la carga verifique, que las líneas de trazado diametral se mantengan verticales y centradas respecto de las tablillas y piezas de apoyo y carga.
- Realizada la verificación, aplique la carga en forma continua y uniforme, sin choques, a una velocidad entre 0,01 y 0,02 N/mm²/seg hasta la rotura.
- Registre la carga máxima P expresada en N.

6.3.3.11.4. CÁLCULOS

Calcule la resistencia a la tracción por hendimiento como la tensión de rotura según la fórmula siguiente:

$$f_h = \frac{2 \times P}{\pi \times l \times d}$$

Donde:

- f_h : Resistencia a tracción por hendimiento (MPa).
- P: Carga máxima aplicada por la máquina de ensayo (N).
- l: Longitud de la probeta (mm).
- d: Diámetro de la probeta (mm).

Nota 1: Si la prensa de ensayo entrega resultados en kgf, se debe considerar la siguiente equivalencia: $1 \text{ MPa} = 10,1972 \text{ kgf/cm}^2$. Expresar el resultado con una aproximación igual a 0,1 MPa.

6.3.3.11.5. INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Nombre del contrato y del contratista.
- b) El registro de antecedentes de las probetas, de acuerdo con las **Secciones 6.3.3.1 o 6.3.3.2**, según corresponda.
- c) Fecha y edad de la probeta al momento del ensayo.
- d) Dimensiones de la probeta.
- e) Masa de la probeta, (kg).
- f) Densidad aparente de la probeta, (kg/m^3)
- g) Defectos exteriores en la probeta.
- h) Tipo de curado de la probeta.
- i) Carga de rotura máxima registrada, (N).
- j) Resistencia a la tracción por hendimiento, (MPa).
- k) Cualquier información específica sobre el ensayo o la probeta, útil para su mejor interpretación.

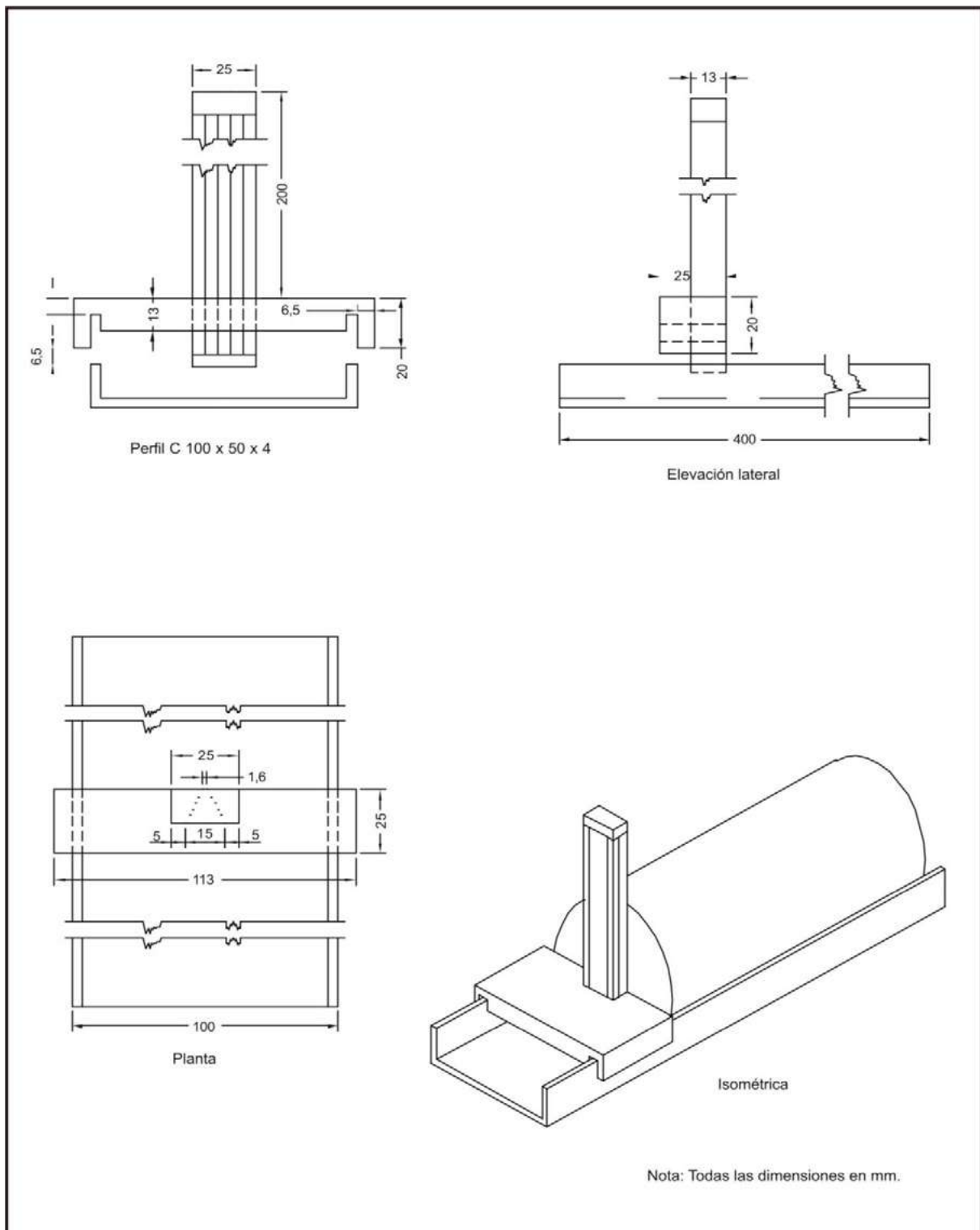


Figura 6.3_46. DISPOSITIVO DE TRAZADO

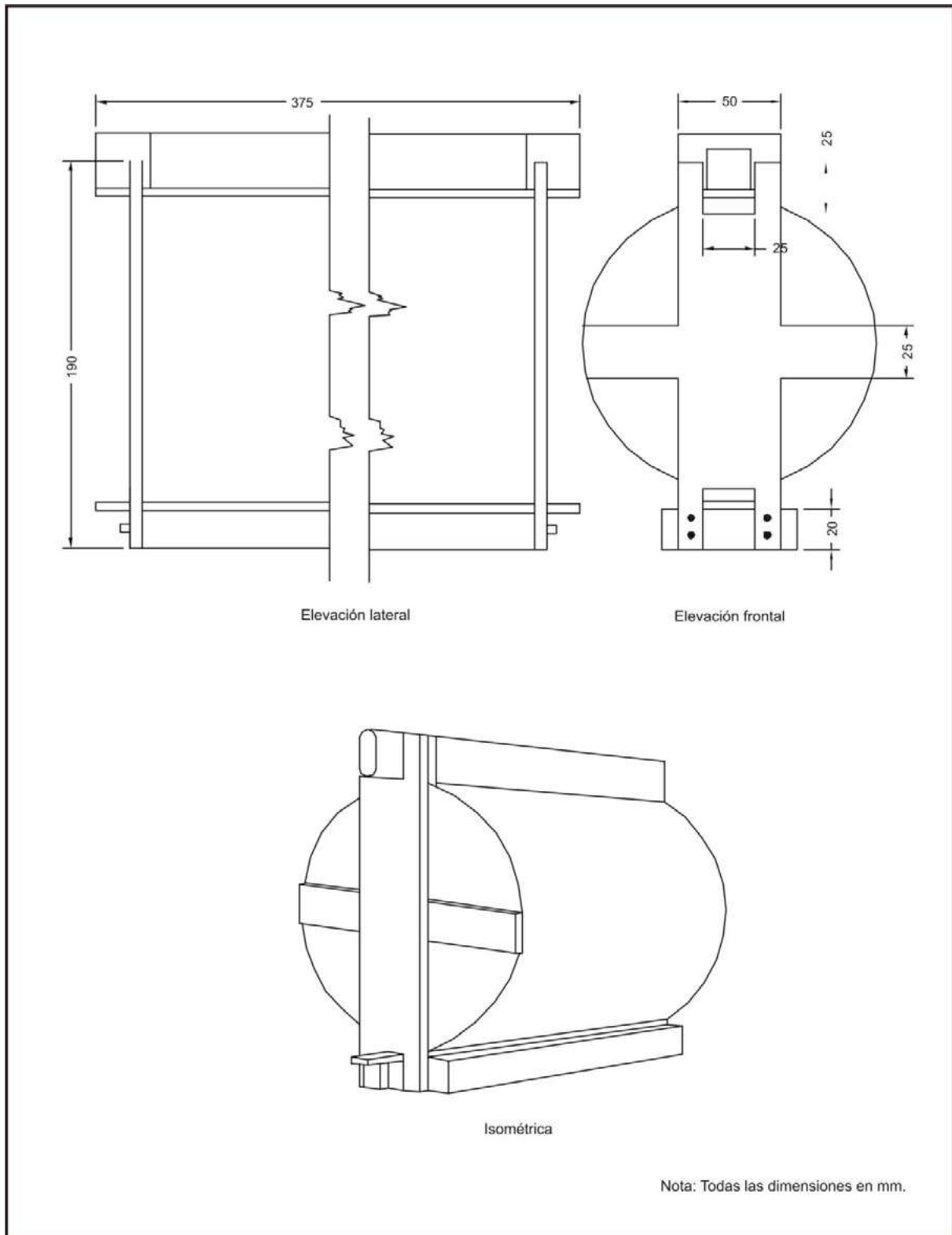


Figura 6.3_47. DISPOSITIVO DE ALINEACIÓN

SECCION 6.3.3.12.

FLUENCIA DEL HORMIGÓN A LA COMPRESIÓN (ASTM C 512)

6.3.3.12.1. OBJETO

Este método de ensayo sirve para la determinación del fluencia (creep) de cilindros moldeados de hormigón, que se someten a la acción de una carga longitudinal compresiva. El método se limita a hormigones con tamaño máximo de árido no mayor de 50 mm (2").

6.3.3.12.2. DEFINICIONES

Este método mide la deformación por compresión inducida por la carga dependiente del tiempo, para edades escogidas del hormigón, bajo una serie arbitraria de condiciones ambientales controladas.

Este método se puede usar para comparar los potenciales de fluencia de distintos hormigones. Un procedimiento posible, consiste en utilizar la ecuación desarrollada (o método gráfico) para calcular esfuerzos, a partir de datos de deformación en estructuras masivas de hormigón no reforzado. Para aplicaciones de diseño más específicas, las condiciones del ensayo fijadas más adelante en este método deberán modificarse para simular lo más cercanamente posible, las condiciones anticipadas de curado, térmicas, de exposición y duración de carga, para la estructura prototipo.

Ante la ausencia de hipótesis satisfactorias que gobiernen el fenómeno de fluencia, se han considerado algunas suposiciones, que generalmente están siendo confirmadas mediante ensayos y por la práctica.

- La fluencia es proporcional al esfuerzo de compresión para valores entre el 0 y 40% de la resistencia a la compresión del hormigón.
- Se ha demostrado concluyentemente que la fluencia es directamente proporcional al contenido de pasta, para el rango de contenidos de pasta utilizados normalmente en el hormigón.

Así es como las características de fluencia de mezclas de hormigón que tienen áridos con tamaño máximo mayor de 50mm (2"), pueden determinarse a partir de la fluencia de la porción que pasa por el tamiz de 50mm (2"), multiplicando este valor, por la relación de contenidos de pasta de cemento (en volumen) entre la mezcla completa y la porción tamizada.

El uso de una expresión logarítmica (numeral 1), no implica que la relación entre fluencia y el tiempo de deformación, sea necesariamente una función logarítmica exacta; sin embargo, para un período de un año, la expresión se aproxima al comportamiento normal con suficiente exactitud, para hacer posible el cálculo de parámetros que son útiles para el propósito de comparar hormigones.

No hay datos que podrían fundamentar la extrapolación de los resultados de este ensayo a esfuerzos de torsión y tensión.

6.3.3.12.3. EQUIPOS Y MATERIALES

A.1. Moldes

Serán cilíndricos y cumpliendo los requerimientos de la **Sección 6.3.3.2.**

A.2. Dispositivo de carga

Capaz de aplicar y mantener la carga requerida sobre el espécimen sin importar cualquier cambio en las dimensiones del mismo. En su forma más simple, el dispositivo de carga consistirá en cabezales planos de apoyo sobre los extremos del espécimen, un elemento para mantener la carga, que puede ser: un resorte, una cápsula hidráulica o ambos y varillas con roscas, para tomar las reacciones del sistema cargado. Las superficies de carga se desviarán del plano no más de 0,025mm (0.001"). En un dispositivo de carga, se pueden apilar varios especímenes para ensayarlos simultáneamente.

Cuando se utiliza un elemento hidráulico para mantener la carga, se pueden atender simultáneamente varios dispositivos de carga, por medio de una unidad central hidráulica de regulación de presión, que la integran: un acumulador, un regulador, manómetros y una fuente de alta presión tal como un cilindro de nitrógeno o una bomba de alta presión.

Pueden utilizarse resortes como los del sistema amortiguador de ferrocarriles, para mantener la carga sobre dispositivos similares a los que se describieron antes. La compresión inicial se aplicará por medio de un gato portátil o una máquina de ensayo. Cuando se usen resortes, deberá cuidarse que se disponga de una cabeza apoyada sobre una rótula y que la placa de apoyo esté suficientemente bien agarrada para asegurar una carga uniformemente aplicada a los cilindros. Se dispondrá de medios adecuados para medir la carga con una aproximación del 2% de la carga total aplicada. Puede ser un manómetro con instalación fija o un gato hidráulico con celdas de carga que se colocan en el dispositivo, a medida que la carga se aplica o ajusta.

A.3. Dispositivos medidores de deformación

Los aparatos utilizados deberán tener dispositivos para medir la deformación longitudinal en el espécimen, con aproximación a las diezmillonésimas. El dispositivo puede estar integrado al aparato, puede ser instalado o ser portátil. Si se utilizan los portátiles, los puntos de contacto deberán marcarse sobre el espécimen en forma notoria. No se permitirá el uso de deformímetros que dependen de contacto por fricción. Si se utiliza un medidor integrado, deberá estar situado en forma que su movimiento de deformación ocurra a lo largo del eje longitudinal del cilindro.

Si se utilizan aparatos externos, las deformaciones serán medidas por lo menos sobre dos líneas medidoras espaciadas uniformemente alrededor de la periferia del espécimen. Los medidores pueden ser instrumentados para que la deformación media sobre todas las líneas del medidor pueda leerse directamente. La línea de medida efectiva será al menos tres veces el tamaño máximo del árido del hormigón.

Los aparatos de medir deformaciones, deberán ser capaces de medir por lo menos durante un año, sin cambios en la calibración.

6.3.3.12.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A.1. Tamaño del espécimen

El diámetro de cada espécimen será de $150 \pm 1,6$ mm ($6 \pm 1/16$ ") y la longitud será de 292 mm ($11\frac{1}{2}$ "), por lo menos. Cuando los extremos del espécimen están en contacto con los platos de carga de acero, la longitud del espécimen será igual a la longitud del aparato medidor de deformaciones más el diámetro del espécimen. Si los extremos del espécimen están en contacto con

otros especímenes de hormigón similares al que se está ensayando, la longitud del espécimen será, por lo menos, igual a la del medidor de longitudes del dispositivo de medición de deformaciones, más 38 mm (1½").

Entre el espécimen de ensayo y el plato de carga de acero, en cada extremo de una pila, deberá instalarse un cilindro adicional no instrumentado cuyo diámetro sea igual al del cilindro que se ensaya, y cuya longitud sea al menos igual a la mitad de su diámetro.

A.2. Fabricación de especímenes

El tamaño máximo del árido que se vaya a utilizar no deberá exceder de 50 mm (2"). Los cilindros fundidos verticalmente se fabricarán conforme a lo indicado en la Sección 6.3.3.2; los extremos de cada cilindro cumplirán los requisitos de la Sección 6.3.3.3.

Los cilindros fundidos horizontalmente se consolidarán por métodos apropiados para la consistencia del hormigón. Deberá ponerse mucha atención para que la varilla o el vibrador no golpeen el medidor de deformación. Cuando se utilice vibración, el hormigón se colocará en una capa y el elemento vibrador no tendrá más de 32 mm (1¼") de diámetro. Si la compactación se hace por apisonado, el hormigón se colocará en dos capas aproximadamente iguales y cada capa recibirá 25 golpes de varilla uniformemente distribuidos a cada lado del medidor de deformación.

Después de la consolidación, el hormigón será nivelado con un palustre o llana, manipulándolo lo menos posible para conformar el hormigón en la apertura. Una plantilla curvada con el radio del espécimen puede utilizarse como un emparejador para darle forma y acabado más precisos al hormigón en la abertura.

Las exigencias de aplanamiento de los extremos de los especímenes cilíndricos pueden lograrse por refrentado, recubrimiento, o al momento de fundir, fijando los extremos con platos de apoyo normales al eje del cilindro.

A.3. Número de especímenes

Para cada condición de ensayo se harán no menos de seis (6) especímenes de una tongada de hormigón dada. Se ensayarán dos por resistencia a la compresión, dos se cargarán y se observarán para la deformación total, y dos permanecerán sin carga para usarlos como controles para indicar deformaciones debidas a causas distintas a las cargas. Cada uno de los especímenes para deformación y control estará sometido a los mismos tratamientos de almacenamiento y curado, que el espécimen cargado.

A.4. Curado normal

Antes de desmoldarlos, los especímenes serán almacenados a $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73 \pm 3^\circ\text{F}$) y cubiertos para evitar la evaporación. Los especímenes se extraerán de los moldes no antes de 20 horas ni después de 48 horas de su fabricación, y se almacenarán bajo condiciones húmedas a una temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73 \pm 3^\circ\text{F}$) hasta los 7 días. La condición húmeda, es cuando se mantiene agua libre sobre toda la superficie de los especímenes, permanentemente. No se someterán a chorros de agua corriente, ni serán almacenados dentro de depósitos llenos de agua. Después de terminado el curado húmedo, los especímenes se almacenarán a temperatura de $23 \pm 1^\circ\text{C}$ ($73 \pm 2^\circ\text{F}$) y con una humedad relativa del $50 \pm 4\%$, hasta la terminación del ensayo.

A.5. Curado básico para fluencia

Si se desea evitar la pérdida o ganancia de agua durante el almacenamiento y el período de ensayo, los especímenes en el momento de su fabricación o desmolde, serán encerrados y sellados dentro de cubiertas impermeables para evitar pérdidas de humedad por evaporación y permanecerán sellados durante el período de almacenamiento y curado.

A.6. Otras condiciones de curado

Otras condiciones sobre ambientes de curado y edad para el ensayo pueden ser utilizadas, sustituyendo las fijadas, cuando se requiera esta información para aplicaciones específicas. En este caso, se incluirán en el reporte del ensayo dichas condiciones, cuidadosamente detalladas.

6.3.3.12.5. PROCEDIMIENTO

a. Edad para el ensayo

Cuando el propósito del ensayo, es comparar el potencial de fluencia de diferentes hormigones, inicialmente se cargan los especímenes a una edad de 28 días. Cuando se quiere conocer el comportamiento completo de la fluencia de un hormigón dado, se deberán preparar especímenes para carga inicial a los 2, 7, 28 y 90 días, y un año. Si se necesita la información para otras edades de carga, señálense esas edades en el informe.

b. Detalles de carga

Inmediatamente antes de cargar los especímenes de fluencia, determínese la resistencia a la compresión de los cilindros de resistencia, de acuerdo con la **Sección 6.3.3.7**. En el momento que los especímenes de flujo no sellados son colocados en el dispositivo de carga, cúbranse los extremos de los cilindros de control para evitar la pérdida de humedad.

Cárguese el espécimen con una intensidad de carga no mayor que el 40% de la resistencia a la compresión a la edad de carga.

Tómense lecturas de deformación en forma inmediata, antes y después de la carga, 2 y 6 horas más tarde, después diariamente, durante 1 semana, semanalmente durante 1 mes y mensualmente durante 1 año. Antes de tomar cada lectura de deformación, mídase la carga. Si la carga varía más del 2% del valor correcto, deberá ajustarse. Tómense lecturas de deformación sobre los especímenes de control para el mismo calendario de los especímenes cargados.

6.3.3.12.6. CÁLCULOS

1. Calcúlese la deformación total inducida por la carga unitaria, en cualquier momento, como la diferencia entre el valor de deformación promedio del espécimen cargado y el espécimen de control, dividido por el esfuerzo promedio.

Para determinar la deformación por fluencia, por kPa (lb/pulg²) para cualquier edad, réstese de la deformación inducida por la carga unitaria para esa edad, por kPa (lb/pulg²), la deformación por kilo Pascal (lb/pulg²) inmediatamente después de cargado.

Si se desea, puede, graficarse la deformación total por kPa (lb/pulg²) sobre un sistema de coordenadas semilogarítmico, en el cual el eje logarítmico representa el tiempo, para determinar las constantes 1/E y F(k), para la siguiente ecuación:

$$\epsilon = \frac{1}{E} + F(k) \ln(t + 1)$$

Donde:

ϵ : Deformación total por kPa (lb/pulg²).

E: Módulo elástico instantáneo kPa (lb/pulg²).

F(k): Tasa de fluencia, calculada como la pendiente de la recta que representa

la curva de fluencia en un gráfico semilogarítmico.

t: Tiempo después de la carga (días).

El valor $\frac{1}{\epsilon}$ es la deformación inicial elástica por kPa (lb/pulg²) y se determina de las lecturas de deformaciones, tomadas inmediatamente antes y después de la carga del espécimen. Si la carga no se desarrolló rápidamente, puede ocurrir algo de flujo antes de que la deformación después de la carga haya sido observada, en cuyo caso, la extrapolación al tiempo cero puede hacerse por el método de los mínimos cuadrados, para determinar este valor.

6.3.3.12.7. INFORME

El informe deberá incluir lo siguiente:

- a) Contenido de cemento, relación agua cemento, tamaño máximo del árido, asentamiento.
- b) Posición del cilindro cuando fue fundido.
- c) Tipo y origen del cemento, mezcla de áridos y agua de mezclado.
- d) Condiciones de almacenamiento antes y después de la carga.
- e) Edad y duración de la carga.
- f) Resistencia a la compresión a la edad de carga.
- g) Tipo de aparato para medir esfuerzos.
- h) Magnitud de cualquier precarga.
- i) Intensidad de la carga aplicada.
- j) Esfuerzo elástico inicial.
- k) Esfuerzo de fluencia en kPa (lb/pulg²) a las edades indicadas y a un año.
- l) Tasa de fluencia, F (k), si se determina.

SECCION 6.3.3.13.

CALIDAD DEL AGUA PARA HORMIGONES (AASHTO T26)

6.3.3.13.1. OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar la acidez o alcalinidad y el contenido de sólidos totales y materia orgánica.

6.3.3.13.2. ACIDEZ Y ALCALINIDAD

- La acidez o alcalinidad se deberán determinar por alguno de los métodos A o B, que se describen a continuación. Si se requiere gran precisión, se deberá emplear el método B.
 - a) La acidez o alcalinidad se determinarán con soluciones patrón 0.1.N alcalina o ácida, respectivamente, usando no menos de 200 ml del agua bajo control. Se podrán usar como indicadores fenolftaleína o naranja metílica. Excesivas acidez o alcalinidad indican la necesidad de ensayos adicionales.
 - b) La concentración del ión hidrógeno se determinará por los métodos electrométricos o colorimétricos en conjunto con el indicador adecuado y se deberá expresar en unidades de pH:

$$pH = \log \frac{1}{H^+}$$

Cuando el pH sea inferior a 4,5 o mayor de 8,5 se requieren ensayos adicionales. (El valor pH es el logaritmo del inverso de la concentración del ión hidrógeno (H⁺) en moles por litro. Por ejemplo, una solución con pH de 4,5 tiene una concentración de ión hidrógeno de 10^{-4.5}).

- c) El procedimiento para asegurar los valores de pH deberá ser controlado totalmente por el método empleado, sea el electrométrico o el colorimétrico. El procedimiento a seguir en la determinación se basará en el tipo de aparato usado y estará de acuerdo con los métodos e instrucciones suministrados por el fabricante del aparato en uso. Los aparatos empleados, sean electrométricos o colorimétricos, deberán tener un rango de trabajo aceptable para el ensayo que se esté realizando.

A.1.Método de garantía A: Concentración del ión cloruro

Se deberá determinar conforme lo establece la norma ASTM D-512, "ión cloruro en agua industrial y agua industrial de desecho".

A.2.Método de garantía B: Concentración del ión sulfato

Se determinará de acuerdo con la norma ASTM D-516, "ión sulfato en agua industrial y agua industrial de desecho". Método de garantía (gravimétrico).

6.3.3.13.3. SÓLIDOS TOTALES Y MATERIA ORGÁNICA

- Se evaporarán, hasta la sequedad, 500 ml en un recipiente tarado. Para este propósito, es conveniente un recipiente de platino de 100 a 200 ml de capacidad. El recipiente se llenará casi en su totalidad con agua y se colocará en un baño de agua, adicionando periódicamente porciones a la muestra de agua, hasta completar los 500 ml.

El contenido del recipiente se evaporará hasta la sequedad y se colocará en un horno a 132°C (270°F) por una hora, después de la cual se retirará el recipiente del horno, se enfriará en un desecador y se pesará. El peso del residuo en gramos, dividido por 5, será el porcentaje total de sólidos en el agua.

- Los sólidos obtenidos pueden estar constituidos por materia orgánica, materia inorgánica o una combinación de ellas. El recipiente de platino se encenderá a bajo calor rojo y el oscurecimiento del residuo durante la primera etapa del calentamiento suele indicar la presencia de materia orgánica.
- El porcentaje perdido por la ignición a bajo rojo es una indicación del contenido de materia orgánica, pero debe tenerse presente que algunas sales minerales tienden a volatilizarse o descomponerse parcialmente con el calor.
- La determinación de la composición de la materia mineral en el agua requiere un análisis químico completo que no se suele efectuar, a no ser que la proporción de sólidos sea muy elevada o el agua tienda a dar resultados anormales en otros ensayos. Los resultados se indicarán de manera separada por componentes, en partes por millón.
- Se puede hacer una comparación del agua bajo ensayo con agua destilada, mediante la expansión en autoclave del Cemento Portland, el tiempo de fraguado del Cemento Hidráulico mediante la aguja de Vicat, o el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante la aguja de Gillmore y la resistencia a compresión de los morteros de cemento hidráulico, empleando el mismo cemento con cada agua.
- Los límites sugeridos de estos ensayos, son los siguientes: Cualquier indicación de falta de solidez, cambios marcados en los tiempos de fraguado, o una reducción de más de 10% en la resistencia con respecto a la mezcla elaborada con el agua destilada, pueden ser motivos suficientes para rechazar el agua bajo ensayo.

SECCION 6.3.3.14.

TOMA DE NÚCLEOS Y VIGAS EN HORMIGONES ENDURECIDOS (ASTM C 42 AASHTO T24)

6.3.3.14.1. OBJETO

Este método se refiere al procedimiento de obtención, preparación y ensayo de (a) núcleos extraídos de estructuras de hormigón para determinaciones de longitud o resistencia a la compresión o a la tracción indirecta, y (b) vigas aserradas de estructuras de hormigón para determinaciones de resistencia a la flexión.

6.3.3.14.2. EQUIPO Y MATERIALES

A.1. Pachómetro

Para evitar el corte de barras se deberá emplear un detector metálico o pachómetro para determinar la posición de las barras. Una vez ubicadas las barras de la zona se determinará la posición para extraer las probetas testigo.

A.2. Saca núcleos

Para obtener probetas cilíndricas. Si las probetas deben ser extraídas por taladrado perpendicular a una superficie horizontal, resulta satisfactorio un taladro de percusión; pero si las probetas deben ser taladradas en otra dirección o si su diámetro se debe determinar con exactitud para un cálculo más preciso de la resistencia a la compresión, se emplearán brocas de diamante.

A.3. Sierra

Para obtener probetas en forma de viga del tamaño adecuado para efectuar ensayos de resistencia a la flexión. La sierra deberá tener un borde cortante de diamante o carburo de silicio y deberá poder cortar las probetas con las dimensiones prescritas, sin calor excesivo o impacto.

6.3.3.14.3. CONDICIONES GENERALES

A.1. Generalidades

Las muestras de hormigón endurecido para uso en la preparación de probetas para ensayos de resistencia, no se deberán tomar hasta que el hormigón haya endurecido lo suficiente para permitir la remoción de la muestra sin perturbar la adhesión entre el mortero y el árido grueso. En general, el hormigón deberá tener una edad de catorce (14) días antes de la extracción de las probetas. Cuando se preparen probetas para ensayos de resistencia de muestras de hormigón endurecido, se deberán descartar aquellas que presenten defectos o que se hayan deteriorado durante el proceso de extracción.

Las probetas que contengan acero de refuerzo no se deberán usar para determinar la resistencia a la tracción indirecta. En caso de ensayos para determinar la resistencia a la flexión, no se usarán probetas que tengan refuerzo en la porción sometida a tensión.

Nota 1: Los núcleos que contengan refuerzo y estén destinados a la determinación de la resistencia a la compresión, pueden dar resultados mayores o menores que los núcleos

sin acero embebido y, en lo posible, se deben evitar o recortar para eliminar el refuerzo, proporcionando simultáneamente una relación L/D de 1.0 o mayor.

A.2.Extracción de núcleos

Siempre que sea posible, los núcleos se extraerán perpendicularmente a una superficie horizontal, de manera que su eje sea perpendicular a la capa de hormigón tal como se colocó originalmente y cuidando de no hacerlo en vecindades de juntas o bordes obvios del elemento construido. Deberá señalizarse en el testigo la orientación (superior/inferior) del elemento del cual fueron extraídos, a fin de considerarse su efecto en los resultados de los ensayos. Las probetas tomadas en dirección perpendicular a una superficie vertical o a una superficie irregular, se deberán extraer lo más cerca que sea posible del centro de la pieza y nunca cerca de juntas o bordes de ella.

A.3.Remoción de losas

Se deberá remover una losa de tamaño suficiente para asegurar las probetas de ensayo deseadas, excluyendo todo hormigón agrietado, astillado, mal cortado o con cualquier otra irregularidad.

6.3.3.14.4. NÚCLEOS

A.1.Probetas para determinación de longitud

Deberán tener un diámetro de cuando menos cien (100) milímetros. La medida de la longitud de los núcleos se hará conforme se describe en la **Sección 6.3.3.15**.

a) Resistencia a compresión

Probetas de Ensayo

Los diámetros de los núcleos para la determinación de la resistencia a compresión deberán ser, como mínimo, iguales a tres (3) veces el tamaño máximo nominal del árido grueso del hormigón. Su longitud, luego del refrentado, deberá ser lo más aproximada posible al doble del diámetro. No se deberán ensayar núcleos cuya altura sea inferior al noventa y cinco por ciento (95%) de su diámetro antes del refrentado o menor de su diámetro después dicha operación.

Preparación de las bases:

Las bases de los núcleos que van a ser ensayados a la compresión, deberán ser sensiblemente lisas, perpendiculares a su eje longitudinal y del mismo diámetro del cuerpo del núcleo. De ser necesario, las bases se deberán aserrar o maquinar hasta cumplir los siguientes requisitos:

- i. Las salientes, si las hay, no se deberán extender más allá de 0.2 pulgadas (5mm) de la superficie de la base.
- ii. Las superficies de las bases no se podrán apartar de la perpendicularidad al eje longitudinal en más de 5º, y ,
- iii. El diámetro de las bases no deberá diferir en más de 0.1 pulgadas (2,5mm) del diámetro medio del núcleo.

b) Acondicionamiento en humedad

Las probetas de ensayo se deberán sumergir en agua saturada de cal a $23 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ ($73.4 \pm 3.0^{\circ}\text{F}$) por un período no inferior a 40 horas, antes de someterlas al ensayo de resistencia a la compresión. Durante el lapso transcurrido entre el retiro de las probetas del agua y el ensayo, se deberán cubrir con una sábana, una arpillera húmeda u otra tela absorbente que resulte adecuada.

Nota 2: Cuando lo exija la entidad para la cual se realizan las pruebas, los núcleos se podrán ensayar en una condición de humedad diferente a la alcanzada por la inmersión durante un mínimo de 40 horas. Los factores de corrección por la relación longitud/diámetro que se muestran en el numeral 1, son aplicables tanto al hormigón seco, como al sometido a inmersión en agua. Instrucciones para la consideración del ensayo en condiciones diferentes a las alcanzadas por inmersión por 40 horas o más, se pueden hallar en el capítulo 17 del documento ACI-301 y en el capítulo 4 del ACI-318.

c) Refrentado

Las bases de los núcleos se deberán refrentar antes del ensayo de acuerdo con el procedimiento prescrito en la sección pertinente de la norma de la **Sección 6.3.3.3**. Las superficies refrentadas deberán cumplir los requisitos de uniformidad exigidos en la misma norma.

d) Medida

Antes del ensayo, se deberá medir la longitud del núcleo refrentado con aproximación a la décima de pulgada (2.5mm), longitud que se empleará para el cálculo de la relación longitud/diámetro. El diámetro se determinará promediando dos (2) medidas tomadas en ángulos rectos entre sí, aproximadamente en la mitad de la probeta. Siempre que sea posible, la medida del diámetro se realizará con aproximación a la centésima de pulgada (0.25mm), pero como mínimo a la décima de pulgada (2.5mm).

Nota 3: La mayoría de los núcleos no tienen la lisura suficiente para justificar medidas del diámetro con aproximación mayor a la décima de pulgada (2,5mm).

e) Ensayo

El ensayo a compresión de los núcleos se efectuará tal como se describe en la **Sección 6.3.3.7**, "Ensayo a la compresión de probetas cúbicas y cilíndricas".

f) Cálculos

El cálculo de la resistencia a la compresión de cada probeta se realizará utilizando su sección transversal basada en el diámetro medio determinado según se indicó en 11. Si la relación longitud/diámetro es apreciablemente inferior a dos (2), la resistencia a compresión calculada se deberá multiplicar por un factor de corrección, como se indica a continuación:

Relación L/D	Factor de corrección de resistencia
1,75	0,98
1,50	0,96
1,25	0,93
1,00	0,87

Estos factores de corrección se aplicarán a hormigón liviano (1.600 a 1.920 kg/m³) y a hormigón normal, y son aplicables tanto a hormigón seco como húmedo en el momento del ensayo. Los valores que no estén indicados en la tabla, se obtendrán por interpolación.

Los factores de corrección son aplicables para resistencias nominales a la compresión entre 13,8 a 41,4 MPa (2000 y 6000 libras por pulgada cuadrada). (Los factores de corrección dependen de diferentes condiciones, tales como la resistencia y el módulo elástico. Los valores que se dan en la tabla son promedio).

g) Informe

Los resultados se informarán como lo exige la **Sección 6.3.3.7**, adicionando los siguientes datos: Longitud de la probeta antes y después del refrentado.

Resistencia a la compresión aproximada a 68,9 kPa (10 libras/pulgada cuadrada) cuando el diámetro se haya medido con aproximación a 0,25mm (centésima de pulgada), y a 344,5 kPa cuando el diámetro se haya medido con aproximación a 2,5mm (la décima de pulgada), luego de la corrección longitud/diámetro, si ella se requiere.

- Dirección de aplicación de la carga en la probeta con respecto al plano horizontal del hormigón.
- Condición de humedad en el momento del ensayo, y
- Tamaño máximo nominal del árido del hormigón.

6.3.3.14.5. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA

1. Probetas para ensayo

Estarán de acuerdo con los requisitos sobre dimensiones, indicados en el punto 8. Las bases no se deberán refrentar.

2. Condiciones de humedad

Antes de ensayarlos, los núcleos deberán ser acondicionados como se describe en el punto 9.

3. Superficies de soporte

La línea de contacto entre la probeta y cada pieza de apoyo deberá ser recta y libre de salientes o depresiones mayores de 0.01 pulgadas (0,25mm). En caso contrario, la probeta deberá ser rectificadas o refrentada de manera de producir líneas de apoyo que cumplan estos requisitos. No se usarán probetas con salientes o depresiones superiores a 0.1 pulgadas (2,5mm). Cuando se emplee refrentado, la capa deberá ser tan delgada como sea posible y deberá estar formada de pasta de yeso de alta resistencia.

4. Ensayo

Las probetas se ensayarán de acuerdo con lo indicado en la **Sección 6.3.3.7**.

5. Cálculos e informe

El cálculo de la resistencia y el informe se harán conforme lo indica la **Sección 6.3.3.7**. Cuando se haya requerido rectificación o refrentado de las probetas, el diámetro se deberá medir entre las superficies terminadas. Se deberá indicar que la probeta es un núcleo y su condición de humedad en el momento del ensayo

6.3.3.14.6. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

A.1. Probetas para ensayo

Una viga para el ensayo de resistencia a la flexión deberá tener, en general, una sección de 150mm X 150mm (6X6 pulgadas) (Nota 4). El espécimen deberá tener, cuando menos, 533mm (21 pulgadas) de longitud, pero cuando se vayan a realizar dos ensayos de resistencia a la flexión sobre un espécimen, éste deberá tener no menos de 838mm (33 pulgada) de longitud. La operación de aserrado se deberá efectuar de manera que el hormigón no se vea debilitado por golpes o por calor. Las superficies aserradas deberán ser lisas, planas, paralelas y libres de hue-llas, salientes y ranuras. Se deberá tener cuidado durante el manejo de las vigas aserradas, con el fin de evitar astillamientos o agrietamientos.

Nota 4: En muchos casos, particularmente con prismas cortados de losas de pavimentos, el ancho estará gobernado por el tamaño del árido y la profundidad por el espesor de la losa.

A.2. Acondicionamiento en humedad

Las probetas de ensayo se deberán sumergir en agua saturada de cal a 23 1.7°C (73.4 3.0°F) por un período no inferior a 40 horas antes de efectuar el ensayo a flexión. El ensayo se deberá efectuar con la mayor prontitud luego de sacar las probetas del agua. Durante el lapso transcurrido entre la remoción del agua y el ensayo, se deberán cubrir con una sábana, una arpillera húmeda u otra tela absorbente que resulte adecuada.

Nota 5: Cuando lo exija la entidad para la cual se realizan las pruebas, las vigas se podrán ensayar en una condición diferente a la alcanzada por inmersión durante un mínimo de 40 horas.

Cantidades relativamente pequeñas de secado de la superficie de vigas para ensayo de resistencia a la flexión, inducen esfuerzos de tensión en las fibras extremas, los cuales reducen notoria-mente la resistencia a la flexión.

A.3. Ensayo

Las probetas se ensayarán de acuerdo con las disposiciones de la **Sección 6.3.3.10**.

Nota 6: Las resistencias a compresión de porciones de vigas rotas a la flexión, se pueden determinar ensayando dichas porciones como cubos modificados, de acuerdo con la Sección 6.3.3.11.

Nota 7: El aserrado puede producir reducciones sustanciales de la resistencia a la flexión; por lo tanto, las vigas se deberán ensayar con una superficie moldeada en tensión siempre que sea posible. Deberá indicarse la ubicación de la cara de tensión respecto a la posición del hormigón como fue colocado, así como la posición de las superficies aserradas.

6.3.3.14.7. INFORME

Los resultados se deberán informar de acuerdo con lo que resulte aplicable de la **Sección 6.3.3.10** y los requerimientos de este método, incluyendo la condición de humedad de las vigas en el momento de ensayo.

SECCION 6.3.3.15.

MEDIDA DE LA LONGITUD DE NÚCLEOS DE HORMIGÓN (ASTM C 174 AASHTO T148)

6.3.3.15.1. OBJETO

Este método cubre el procedimiento para determinar la longitud de un núcleo extraído de una estructura de hormigón, en particular de un pavimento rígido.

6.3.3.15.2. EQUIPOS Y MATERIALES

1. El aparato será un calibrador que servirá para medir la longitud de los elementos axiales del núcleo. Los detalles de su diseño mecánico no se encuentran prescritos, pero deberá cumplir los requerimientos indicados en los numerales 3 a 7.
2. El aparato deberá tener un diseño tal, que el núcleo pueda ser sostenido con su eje axial en posición vertical por tres (3) soportes simétricamente colocados descansando contra el extremo inferior.
3. El calibrador deberá permitir el acomodo de núcleos de diferente longitud, en un rango de 100 a 250 milímetros, cuando menos.
4. El calibrador deberá estar diseñado de manera que sea posible hacer una medida de longitud en el centro del extremo superior de la probeta y en ocho (8) puntos adicionales espaciados a iguales intervalos a lo largo de la circunferencia de un círculo cuyo centro coincida con el del área de la base de la probeta y cuyo radio no sea menor de un medio (1/2) ni mayor de tres cuartos (3/4) del radio de la probeta.
5. La vara de medida u otro dispositivo que haga contacto con la superficie de la base del núcleo deberá doblarse con un radio de 3,2mm (1/8pg). La escala en la cual se medirán las longitudes deberá marcarse con graduaciones claras, definidas y espaciadas a intervalos exactos.
6. El aparato deberá ser estable y suficientemente rígido para mantener su forma y alineamiento sin distorsión o deflexión mayor a 0,25mm durante las operaciones normales de medida.
7. Los núcleos usados como probetas para la medida de la longitud, deberán ser representativos del hormigón en la estructura de la cual se han extraído. El núcleo deberá ser taladrado con el eje en posición normal a la superficie de la estructura, y las bases deberán encontrarse libres de condiciones que no sean características de las superficies de la estructura. No se deberán emplear núcleos que presenten defectos importantes o que se hayan dañado considerablemente durante el barrenado.

6.3.3.15.3. PROCEDIMIENTO

8. Antes de medir la longitud del núcleo, se deberá calibrar el aparato, de manera que se conozcan los errores debidos a sus imperfecciones mecánicas. Cuando los errores excedan de

0,25mm, se deberán aplicar correcciones adecuadas a las medidas de longitud.

9. La probeta se colocará en el aparato de medida con el extremo liso del núcleo, es decir, el extremo que representa la superficie superior de una losa de pavimento o la superficie conformada en el caso de otras estructuras, colocado hacia abajo para que quede apoyado contra los tres soportes de acero endurecido. La probeta deberá quedar colocada sobre los soportes de manera que la posición central de medida del aparato quede directamente sobre el punto medio de la base superior de la probeta.
10. Se deberán efectuar nueve (9) medidas de longitud en cada probeta, una en la posición central y una en cada una de las ocho (8) posiciones adicionales espaciadas a iguales intervalos a lo largo de la circunferencia del círculo de medida descrito en 5. Cada una de estas nueve (9) medidas deberá leerse directamente con aproximación de 2,5mm (0.1pg) y 1,27mm (0.05pg).

Nota1: Si en el transcurso de la operación de medida se descubre que uno o más de los puntos de medida de la superficie de la probeta no es representativo del plano general de la base del núcleo a causa de una pequeña saliente o depresión, la probeta deberá rotarse levemente alrededor de su eje, efectuando las nueve (9) medidas en la nueva posición.

6.3.3.15.4. INFORME

Las medidas individuales se deben registrar al 1,27mm (0.05pg) más cercano y el promedio de las nueve (9) medidas, aproximado a los 2,5mm (0.1pg) más cercanos, se informará como longitud del núcleo de hormigón.

SECCION 6.3.3.16.

ANEXO I DETALLES ESPECÍFICOS

H0105 Método de ensayo para determinar el contenido de materia orgánica en las arenas usadas en la preparación de morteros y hormigones (Colorimetría)

NORMA : A.S.T.M. C 40 / A.A.S.H.T.O. T 21

OBJETIVO : El objeto de este ensayo es establecer el procedimiento que debe seguirse para determinar la presencia de materia orgánica en arenas usadas en la preparación de morteros o concretos de cemento hidráulico.

DURACIÓN : Para realizar el ensayo y obtener los resultados se estiman un máximo de 24 horas.

**EQUIPOS
REQUERIDOS** :



Figura 1 Equipos requeridos

Frascos de vidrio incoloro, de unos 350 ml, con tapas.

- **Carta Gardner** de colores para comparación.
- **Solución de hidróxido de sodio (NaOH) (3%)**. Se disuelven 3 partes en peso de NaOH en 97 partes de agua destilada
- **Cuartheador pequeño**
- **Tamiz n° 4**
- **Embudo**
- **Cuchara**

PROCEDIMIENTO

- a. De la muestra que pasa por el tamiz N° 4 se toman 500 g de material resultante del método del cuarteo (**véase figura 2**).
- b. Se coloca arena en el frasco hasta completar un volumen aproximado de 130 ml o un tercio del volumen del frasco (**véase figura 3**).
- c. Luego, se añade al conjunto frasco + muestra la solución de hidróxido de sodio, hasta obtener dos tercios del el volumen del frasco(véase figura 4).
- d. Se tapa el frasco y se agita vigorosamente para hacer homogénea la mezcla de suelo con el reactivo, como se aprecia en la **figura 5**.



Figura 2 Toma de 500 g de material



Figura 3 Colocación de 1/3 de arena en el frasco



Figura 4 Adición de NaOH a la muestra



Figura 5 Agitación de muestra con el NaOH

Después del agitado, el volumen total de arena y líquido tiene que ser de 200 ml aproximadamente.

- e. Luego se coloca el conjunto frasco + solución + muestra en reposo por un lapso de 24 horas (**véase figura 6**).



Figura 6 Muestra con solución en reposo

DETERMINACION DEL COLOR

Pasadas las 24 horas de reposo, se observa la coloración de la solución. Para la comparación del color en el ensayo existen dos Métodos Alternos y se clasifica la solución por alguno de los siguientes métodos:

A.1.Método Alterno A

Para definir con mayor precisión el color del líquido de la muestra de ensayo, se deben observar la coloración de la solución y deberá compararse y clasificarse de acuerdo con la tabla Gardner de colores de la Norma ICONTEC 716 (Tabla 1, ASTM D 1544).

Tabla 1 ASTM D 1544

Color normal de referencia					
Numero de referencia orgánica	1	2	3	4	5



Figura 8 Comparación de la coloración de la muestra con la Tabla Gardner



Figura 7 Tabla Gardner de colores

Una vez comparado el color de la solución con el color más parecido de la tabla

Gardner de colores, se deberá anotar en la planilla de ensayo el color y el número (*véase figura 8*).

A.2.Método B

El procedimiento puede ser el indicado en el método anterior y la determinación del color del líquido que sobrenada por encima de la muestra se debe efectuar comparándolo con el color de un vidrio, equivalente al color normal de referencia establecido en el método anterior.

RESULTADOS

Se considera que la arena contiene componentes orgánicos posiblemente perjudiciales, cuando el color que sobrenada por encima de la muestra de ensayo es más oscuro que el color normal de referencia. En tal caso, se deben efectuar ensayos complementarios, antes de aprobar la arena para su utilización en la fabricación de Concreto Hidráulico.

Como se trata de un ensayo cualitativo y no cuantitativo, no se requiere establecer la precisión de los resultados.

H0109 Método de ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado grueso

NORMA : A.S.T.M. C 127 - 88 / A.A.S.H.T.O. T - 85

OBJETIVO : El objeto de este ensayo es determinar las propiedades Marshall (Densidades, vacíos en mezclas asfálticas), para conocer el peso específico y el porcentaje de absorción usados para los diseños de mezclas de concreto asfáltico, curva de saturación, relación de vacíos y porosidad en suelos gravo -arenosos.

DURACIÓN : Con práctica se puede hacer el ensayo en el laboratorio en dos días.

**EQUIPOS
REQUERIDOS** :



Figura 1 Equipos requeridos para el ensayo

- **Horno**, con control para mantener temperaturas uniformes hasta $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- **Balanza**, capacidad de 5kg. con sensibilidad de 0,5 g y apta para suspender muestras que permitan obtener su peso sumergido en agua.
- **Bandejas de aluminio**, de 25 cm x 20 cm x 5 cm, para secar muestras que contengan agua.
- **Bomba de vacío**.
- **Enfriador**, (desecador) de aproximadamente 25 cm de diámetro.
- **Envases** metálicos inoxidables, de capacidad aproximada de 20 litros para sumergir muestras en agua.
- **Envases** metálicos, de capacidad aproximada de 20 litros para lavar muestras.
- **Tamiz** N° 8 (o tamiz N° 4 si se analizan suelos o mezclas asfálticas en frío).
- **Bandeja**, 60 cm x 60 cm x 5 cm.
- **Cesta de alambre**, de malla con abertura N° 8 ó menor, aproximadamente. 20 cm de diámetro por 20 cm. de altura, y apta para suspender con hilo desde la balanza.
- **Cuarteador**, para agregados gruesos.
- **Toalla absorbente**.

NOTA1: La norma señala una malla con abertura Nº 6, sin embargo, si se toma en cuenta que para el concreto asfáltico, se usa malla con abertura Nº 8 (2,38 mm), la cesta deberá ser con abertura Nº 8 (2,38 mm).

PROCEDIMIENTO Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS.

- a. Se obtiene el material representativo (usar el método de muestreo para agregados y arena (A.S.T.M. D 75 y FLNV-MVAG-32), o antes del almacenaje de las pilas en el patio de la planta, la empresa debe entregar el material que sea representativo del que se propone utilizar en la obra, para su aprobación previa (*véase figura 2*).

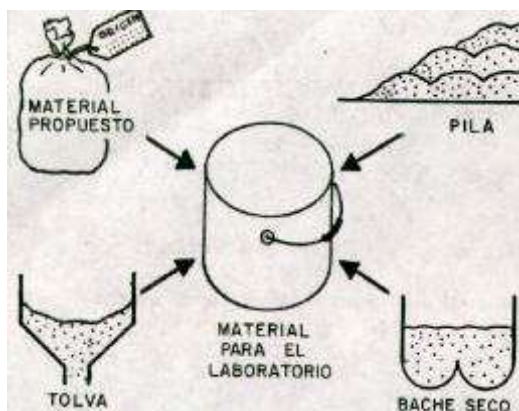


Figura 2 Material representativo para el laboratorio

- b. El peso de los agregados gruesos requerido para este ensayo es por lo menos 20 Kg. El peso mínimo de la muestra a ser usado está dado en la siguiente tabla. Si la muestra contiene más del 15% de retenido en el tamiz 1 ½", se ensaya este material separado de los tamaños inferiores.

Tabla 1 Peso mínimo de muestra a ser utilizado

Tamaño Máximo Nominal de la partícula (Pulg.)	Peso Mínimo de la muestra. (Kg.)
½"	2
¾"	3
1"	4
1 ½"	5
2"	8
2 ½"	12
3"	18
3 ½"	25
4"	40
4 ½"	50
5"	75
6"	125

- c. Para concreto asfáltico la muestra a ensayar será aquel material mayor del tamiz Nº 8.
- d. Se pasa el material, tomando pocas cantidades a la vez por el tamiz Nº 8, requerido para ensayos en mezclas de Concreto Asfáltico y se guarda los agregados retenidos en este tamiz (*véase figura 3*).

Cuando se está determinando el peso específico del tamaño grava (retenido en N° 4) se utiliza, como es obvio, un tamiz N° 4 para separar la muestra.

Si el suelo analizado contiene más de 5% de pasante del tamiz N° 200, la muestra se debe obtener por medio de lavado.

- e. Mezcle totalmente la muestra de agregados y redúzcala a la cantidad necesaria usando los procedimientos recomendados en A.S.T.M C 702 (véase figura 4). Rechace todo el material pasante del tamiz N° 4 (4,75 mm), por tamizado.
- f. Lavar totalmente la muestra para remover el polvo de la superficie, como se aprecia en la figura 5. Si el agregado grueso contiene una cantidad considerable de material pasante el tamiz N° 8 (2,38 mm), use este tamiz en lugar del N° 4 (4,75 mm) especificado. Si va a usar el material fino para el método A.S.T.M C128, separe el material pasante obtenido anteriormente usando el tamiz N° 4 (4,75 mm).



Figura 3 Tamizado de la muestra
(tamiz N° 8)



Figura 4 Muestra a ensayar



Figura 5 Lavado de la muestra

- g. Se cuartea el material retenido en el tamiz N° 8 con una pala de bordes rectos, ó utilizando un cuarteador para agregados gruesos (véase figura 6).
- h. Mezcle y cuarteé hasta reducir el material a una cantidad que sea representativa para el ensayo. Se necesitará aproximadamente 5 Kg. del agregado para la ejecución del mismo.
- i. Se coloca la muestra separada por cuarteo en una bandeja metálica con peso aproximado de 5 kg. Usar un envase con capacidad de 20 litros.



Figura 6 Cuarteo del material



Figura 7 Lavado de la muestra

- j. Se realiza un lavado completo de los agregados.
- k. El lavado debe ser suficiente para eliminar el polvo u otras impurezas superficiales adheridas a la muestra.

- l. Descargar en el desagüe el producto del lavado (siempre usando un tamiz Nº 8, para evitar la pérdida de material del ensayo) y repetir de nuevo el proceso hasta que el agua se observe limpia (**véase figura 7**).
- m. Cuando esté suficientemente lavada se coloca los agregados en una ó varias bandejas de un tamaño tal que puedan ser introducidas al horno (**véase figura 8**).



Figura 8 Bandeja con muestra para ensayo

- n. Seque la muestra lavada hasta peso constante a una temperatura $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ (**véase figura 9**). Se saca la muestra del horno, se deje enfriar hasta que el material llegue hasta un peso constante. El período puede oscilar entre 4 horas (mínimo) y 18 horas (máximo).
- o. En agregados gruesos, el peso constante se considera que ocurre cuando en dos pesajes sucesivos, el peso seco novaría más de 1,0 g.
- p. Después de secar los agregados hasta peso constante se saca del horno, y se deja que se enfríen unos minutos. Se pasan a un envase grande con capacidad de 20 litros, y se cubre los agregados con agua limpia.
- q. Se deja la muestra sumergida en agua por un período de 24 horas, como se aprecia en la **figura 10**.
- r. Durante este intervalo de tiempo, se verifica que la cesta, que será utilizada en los pasos más adelante, ha sido tarada anotado su peso al aire y también el sumergido en agua (**véase figura 11**).



Figura 9 Secado de muestra



Figura 10 Muestra sumergida en agua



Figura 11 Cesta a ser sumergida con la muestra en agua

Ejemplo 1:

Peso cesta en aire	1.336,0 g
Peso cesta en agua	1.186,5 g

- s. Luego del proceso de saturación por 24 horas en el agua, se saca la muestra del agua, y se coloca sobre un paño grande absorbente (**véase figura 12**).

- t. Se hace rodar los agregados sobre el paño hasta que toda película de agua visible desaparezca, como se aprecia en la **figura 13**. En este momento se logra tener el agregado en condición de “saturado y superficialmente seco” (**véase figura 14**).



Figura 12 Muestra en paño absorbente



Figura 13 Secado de la muestra



Figura 14 Muestra en Superficie Seca Saturada s.s.s.

- u. Corrientemente la película de agua visible se aprecia en mejor forma en los agregados más gruesos.

NOTA 1: La condición deseada de “saturación con superficie seca”, se logra cuando la superficie de los agregados pierde su brillantez, aunque siga notándose húmeda.

La operación de rodar los agregados para quitar la película de agua visible debe ser rápida (dura alrededor de 10 segundos), para evitar que el agregado se seque más allá de su superficie, por efecto de evaporación (**véase figura 13**).

- v. Se puede quitar la película de agua de los tamaños más grandes tratando estos agregados individualmente. Se debe hacer rápidamente, pero con cuidado, las siguientes operaciones hasta pesar la muestra sumergida en agua.
- w. Cuando los agregados ya están en la condición de “saturación con superficie seca”, se colocan en la cesta, y se sumerge en el recipiente con agua de la balanza hidrostática y posteriormente se procede a pesarlos (**véase figura 15 y 16**).



Figura 15 Muestra inmersa en cesta para ensayo



Figura 16 Peso de la muestra después de inmersión

Anote este peso en el formato de ensayo, como Peso de superficie seca saturada (P.s.s.s.) en aire.

- x. Ahora se transfiere los agregados desde la cesta a una ó varias bandejas, como se aprecia en la figura 17.
- y. Se coloca las muestras de nuevo en el horno y se secan hasta peso constante (**véase figura 18**).



Figura 17 Muestras transferidas a las bandejas



Figura 18 Secado de muestra

Durante este intervalo de tiempo, se calcula los pesos W_s , y W_{ma} con los datos obtenidos hasta ahora.

Ejemplo 2:

Peso cesta + muestra s.s.s. en aire	6436,0 g
Peso cesta en aire	- <u>1336,0 g</u>
W_s , peso muestra s.s.s	5100,0 g
Peso cesta + muestra en agua	4.414,0 g
Peso cesta en agua	- <u>1186,5 g</u>
W_{ma} , Peso Muestra en agua	3227,5 g

- z. Cuando la muestra haya sido secada hasta peso constante se saca del horno, y se deja enfriar hasta temperatura ambiente, y luego se procede a pesarla, como se aprecia en la **figura 19**.



Figura 19 Peso de la muestra seca

Se denominará este peso de los agregados: “peso muestra secada a peso constante” ó “ W_o ”.

Anotar estos valores en el formato de ensayo.

Ejemplo 3:

Peso W_o + Cesta	6386,0 g
Peso Cesta en Aire	- <u>1336,0 g</u>

Entonces,

Peso W_o 5.050,0 g

aa. Ahora se tiene anotado en el formulario los siguientes pesos,

Ejemplo 4:

W_s , peso muestra s.s.s. 5.100,0 g

W_{ma} , peso muestra en agua 3.227,5 g

W_o , peso muestra seca 5.050,0 g

Calcular lo siguiente:

1. PE_b Peso Específico Bulk
2. PE_{ss} Peso Específico Saturado con Superficie Seca.
3. PE_a Peso Específico Aparente
4. % Absorción

Para los cálculos de las propiedades Marshall, se utiliza el valor Peso Específico Bulk, PE_b , para los agregados gruesos. Para la curva de saturación en suelos compactados se utiliza el PE_a (peso específico aparente)

CÁLCULOS REQUERIDOS

A.3. Peso específico bulk (G_{sb})

$$G_{sb} = \frac{\text{Peso seco muestra s.s.s.}}{\text{Peso volumen del agua igual a muestra s.s.s.}} \quad (1)$$

Peso volumen del agua igual a muestra s.s.s.

A.4. Peso específico Superficie Seca Saturada ($G_{s.S.S.}$)

$$(G_{s.S.S.}) = \frac{\text{Peso muestra s.s.s.}}{\text{Peso volumen del agua igual a muestra s.s.s.}} \quad (2)$$

Peso volumen del agua igual a muestra s.s.s.

A.5. Peso específico aparente (G_{sa})

$$(G_{sa}) = \frac{\text{Peso seco muestra s.s.s.}}{\text{Peso volumen del agua igual a muestra seca}} \quad (3)$$

Peso volumen del agua igual a muestra seca

A.6. Absorción (%)

$$\% = \frac{\text{Peso humedad muestra s.s.s.}}{\text{Peso seco muestra s.s.s.}} \times 100 \quad (4)$$

Peso seco muestra s.s.s

Se debe informar el “PE” con una exactitud de 3 decimales y el % Absorción con un decimal. Se ha hecho bien el ensayo si al repetirlo, el valor de “PE” no varía en más de

0,02 con el resultado anterior, y 0,05 % en el caso del % absorción. De no cumplirse esta condición deberá repetirse esta condición, deberá repetirse nuevamente el ensayo.

CRITERIOS DE PRECISIÓN

La estimación de la precisión de este método de ensayo, listado en la tabla 1 está basada en resultados del “programa de muestras de referencia de laboratorios de la A.A.S.H.T.O” con ensayos realizados con este método y con el método A.A.S. H.T.O. T 85. La diferencia significativa entre los dos métodos es que el C127 requiere un período de saturación de 24 horas, mientras que el método T 85 requiere un periodo de saturación de 15 Horas mínimos. Se ha encontrado que esta diferencia tiene un efecto insignificante en el índice de precisión. Los datos están basados en el análisis de más de 100 pares de resultados de ensayos de 40 a 100 laboratorios.

Tabla 1 Precisión

	Desviación estándar (1d) ^A	Rango de aceptación para dos resultados (D2 d) ^A
Precisión de un Operador:		
Gravedad específica Bulk (dry)	0.009	0.025
Gravedad específica Bulk (SSD)	0.007	0.020
Gravedad específica Aparente	0.007	0.020
Absorción ^B %	0.088	0.25
Precisión Múltiples Laboratorios:		
Gravedad específica Bulk (dry)	0.013	0.038
Gravedad específica Bulk (SSD)	0.011	0.032
Gravedad específica Aparente	0.011	0.032
Absorción ^B %	0.145	0.41

A - Estos Números representan los límites (1 d) y (D2 d) respectivamente descritos en la práctica C 670. La precisión estimada fue obtenida de los análisis de ensayos combinados de laboratorio de materiales de referencia A.A.S.H.T.O, usando un tiempo de saturación de 15 horas mínimo y otro laboratorio usando 24 horas. La prueba fue realizada con agregados de peso normal y con agregados en condición seca.

B - La precisión estuvo basada en agregados con absorción de menos del 2%.

H0110 Método de ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado fino

NORMA : A.S.T.M. C 128 - 88 / A.A.S.H.T.O. T - 84

OBJETIVO : El objeto de este ensayo es determinar el peso específico ponderado del agregado en mezclas asfálticas, y mezclas para concreto hidráulico. Determinar el peso específico ponderado en suelos con el fin de obtener: relación de vacíos, porosidad y curva de saturación.

DURACIÓN : Con práctica se puede realizar el ensayo en el laboratorio en dos días (48 horas).

**EQUIPOS
REQUERIDOS** :



Figura 1 Equipos requeridos

- **Bomba de vacío** con 30 mm Hg de capacidad.
- **Balanza** con capacidad de 2 Kg. ó más y sensibilidad de 0,1 g.
- **Conjunto estándar** de 1 molde cónico y 1 barra compactadora.
- **Frasco**, boca grande, graduado a 20 °C y capacidad para 500 ml.
- **Probeta**, graduada volumétrica, con capacidad de 100 ml.
- **Tamices**: N° 8 (2,38 mm), N° 50 (0,29 mm), N° 200 (0,074 mm).
- **Cuarveedor**, para agregados finos.
- **Bandeja**, 60 cm x 60 cm x 5 cm.
- **Bandejas**, aluminio, 25 cm x 25 cm x 5 cm. para secar muestras que contengan agua.
- **Enfriador** (deseccador) aproximadamente 25 cm.

- **Ventilador**, modelo de mesa ó secador.
- **Rociador de agua**.
- **Cuchara de albañil**.
- **Embudo**, de boca 10 cm mínimo.

MUESTREO

- a. Se obtiene el material representativo según el ensayo A.S.T.M D75. Se obtiene una muestra de ensayo de acuerdo a los requerimientos de la especificación D 242 y el ensayo reducido de acuerdo con la práctica C 702, usar un mínimo de 100 grs. de material seco por cada tamiz de análisis (**véase figura 2**), ó antes del almacenaje de las pilas en el patio de la planta, la empresa debe entregar el material que sea representativo del que se propone utilizar en la obra, para aprobación previa.

El peso de los agregados finos requerido para este ensayo es por lo menos 4 Kg

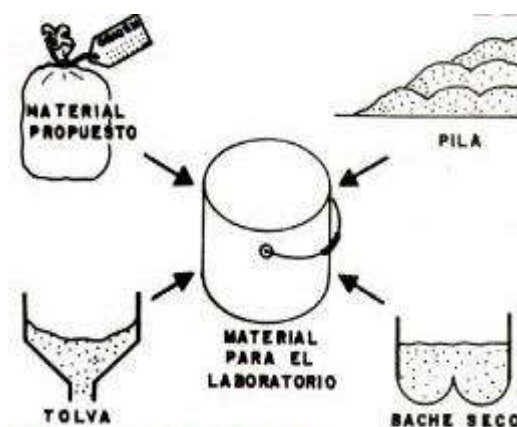


Figura 2 Muestra representativa para el laboratorio

- b. Para su uso en concreto asfáltico la muestra a ensayar será la fracción del agregado que pasa el tamiz Nº 8 (2,38 mm) y es retenido en el tamiz Nº 200 (0,074 mm), como se aprecia en la **figura 3**.



Figura 3 Tamices para separar la muestra

No se precisa lavar el material para separar y obtener el material pasa Nº 8 (2,38 mm) y retenido Nº 200 (0,074 mm), basta tamizar, poca cantidad de material seco a la vez.

Se procede a transferir la muestra del pasante tamiz N° 8 y retenido en el tamiz N° 200 a la bandeja, como se aprecia en la **figura 4**.

Cuando se está determinando el peso específico del tamaño de arena (pasa N° 4 retenido en N° 200) de un suelo con contenido de pasa 200 representativo (> 5 %), el tamiz superior, como es obvio, será el N° 4 y la muestra se debe obtener por lavado para eliminar las partículas adheridas a los granos.

- c. Descartar el material retenido en el tamiz N° 8 y el material que pasa el tamiz N° 200 (0,074 mm) y rociar el material restante para disminuir la segregación, y mezclar los finos uniformemente, (**véase figura 5**).

NOTA 1: Si el estudio es sobre un suelo granular o para mezclas asfálticas en frío, utilizar un tamiz N° 4.

- d. Cuartear el material con la cuchara de albañil, ó utilizar un cuarteador para agregados finos. Mezclar y cuartear hasta reducir el material a una cantidad que sea representativa para el ensayo.
- e. Se necesitará aproximadamente 1 kg. de agregados finos para la muestra del ensayo.



Figura 4 Material retenido para el ensayo



Figura 5 Rociado y mezclado del material



Figura 6 Cuarteo del material

6.3.3.16.1. PREPARACION DE LA MUESTRA

- a. Pasar la porción cuarteada de aproximadamente 1 kg. a una bandeja, (**véase figura 7 y 8**).



Figura 7 Material cuarteado



Figura 8 Porción de la muestra cuarteada

- b. Colocar la muestra de agregados finos en el horno y secarla hasta peso constante a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

El período de secado para peso constante estará en 18 horas (mínimo).

NOTA 2: En agregados finos, se considera que ocurre peso constante cuando en dos pesajes sucesivos, el peso seco no varía más de 0,1 g.

- c. Después de secar el material hasta peso constante se saca del horno, y se deja enfriar unos minutos.
- d. Luego se cubre la muestra con agua, y se deja en reposo durante 24 horas (véase figura 9).
- e. Durante este período, se debe verificar el peso del frasco a ser utilizado en los pasos subsiguientes, y anotar su peso. Se debe asegurar que este contiene una marca indicando el nivel de un volumen de agua de 500 ml a 20 °C (**véase figuras 10 y 11**).



Figura 9 Muestra saturada en agua



Figura 10 Peso del frasco vacío + vidrio



Figura 11 Peso del frasco + agua a capacidad total

Anotar los pesos en el formato de ensayo.

Por ejemplo:

Peso Frasco vacío + vidrio 155,2 g

Peso Frasco + agua a capacidad total 442,3 g

- f. Al terminar el reposo de 24 horas se debe eliminar la mayor parte de agua que cubre la muestra (véase figura 12).
- g. Se procede a secar el material utilizando una fuente de aire tibio procurando remover la muestra con frecuencia para garantizar que el secado sea uniforme, como se aprecia en la **figura 13**.



Figura 12 Eliminación del exceso de agua de la muestra saturada



Figura 13 Secado de muestra

- h. Continuar secando la muestra uniformemente hasta que los granos del agregado fino no se adhieran marcadamente entre sí.
- i. Cuando se crea que el material llegó a la condición descrita en punto 8, colocarlo en forma suelta en el molde cónico estándar, hasta llenar el cono, como se aprecia en la figura 14.
- j. Golpear la superficie del material suavemente 25 veces con la barra estándar (véase figura 15).
- k. La superficie debe ser golpeada con la barra compactadora desde una altura de 5 mm. sobre la capa del agregado y debe ser dejado caer libremente.

NOTA 3: Suavemente quiere decir, en tal forma que el molde cónico no se mueva con la acción de apisonar.

- l. A continuación, levantar el molde verticalmente. Si existe humedad libre en el material, el cono de agregado fino mantendrá su forma (**véase figura 16**).



Figura 14 Adición del material en el molde cónico estándar



Figura 15 Compactación del material



Figura 16 Forma del material sin el cono estándar

El material en forma de un cono entero es la condición deseable durante este primer tanteo.

Se procede a combinar toda la muestra de nuevo y seguir secando uniformemente revolviendo de manera constante.

- m. Repetir a intervalos frecuentes la operación de hacer conos, hasta que el cono se de-

rumbe al quitar el molde (*véase figura 17*).

Este es el momento en que los agregados están en estado de “Saturación con Superficie Seca” (S.S.S.).



NOTA 4: Recordar siempre levantar el molde verticalmente para que el derrumbe no sea causado por el mismo molde al tropezar con el material.

Figura 17 Material en superficie seca saturada

- n. Es obligatorio que se llegue a la condición de “saturación con superficie seca” sólo después de uno o varios tanteos con el molde cónico.

Si el cono de agregado fino se desmorona al primer intento, la muestra ha sido secada más allá de la condición deseada.

En este caso se rociarán unos cuantos mililitros de agua al agregado fino para humedecerlo bien. Se mezcla de nuevo completamente y se pasa el material a una bandeja más pequeña.

- o. En el instante en que el cono se derrumbe por primera vez al quitar el molde, los agregados están en su condición de “Saturados con Superficie Seca”.

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

- a. Con el material en su condición de “Saturados con Superficie Seca”, introducir de inmediato por medio de un embudo y una cuchara 150,0 g \pm 10 g de la muestra en el frasco graduado, previamente tarado. (*véase figura 18 y 19*).

Se debe tener la balanza lista con los pesos apropiados para la lectura requerida.



Figura 18 Tarado del conjunto frasco + embudo



Figura 19 Adición de la muestra al frasco

- b. Después que se haya introducido $150,0\text{ g} \pm 10\text{ g}$. de la muestra en el frasco, se debe anotar la lectura del peso en el formato de ensayo. Llenar de agua hasta saturar la muestra dentro del frasco (*véase figura 20*).

Utilizar agua limpia que esté a una temperatura de $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- c. Se conectan el frasco a una bomba de vacío de 30 mm Hg de capacidad, durante un período de 15 minutos (*véase figura 21*).
- d. Después de transcurrido el primer período de 15 minutos se agrega el doble de agua a la muestra y se comienza un segundo período de 15 minutos más (*véase figura 22*).



Figura 20 Muestra saturada



Figura 21 Frasco conectado a la bomba de vacío



Figura 22 Segundo periodo de extracción de vacío

- e. Se debe enrasar el frasco con agua a su capacidad total y pesar el conjunto en la balanza (*véase figura 23*).
- f. Tomar la temperatura de la muestra y anotarla en el formato de ensayo.
- g. Sacar la muestra del frasco y pasarla a una o unas bandejas inoxidables como se aprecia en la figura 24.
- h. Dejar reposar la muestra en la bandeja hasta que el agua esté clara. Ahora se puede eliminar algo del agua antes de colocar la bandeja con la muestra en el horno (*véase figura 25*).
- i. Se debe secar la muestra hasta peso constante. Una vez secada sacar del horno, y dejarla enfriar hasta temperatura ambiente.

Un enfriador (deseCADOR) ayudará a hacer esto en el mínimo de tiempo.

- j. Pesar la muestra secada a peso constante y anótelo en su formulario.



Figura 23 Muestra + agua a capacidad total



Figura 24 Muestra del frasco en bandeja



Figura 25 Muestra en el horno

CÁLCULO REQUERIDO

A.1. Peso específico Bulk (Gsb)

$$Gsb = \frac{\text{Suelo seco superficie seca saturada}}{\text{Peso volumen del agua igual a la muestra en superficie seca saturada}} \quad (1)$$

A.2. Peso específico superficie seca saturada (GsS.S.S.)

$$(GsS.S.S.) = \frac{\text{Peso de la muestra S.S.S.}}{\text{Peso volumen del agua igual a S.S.S.}} \quad (2)$$

A.3. Peso específico aparente (Gsa)

$$(Gsa) = \frac{\text{Suelo seco S.S.S.}}{\text{Peso volumen del agua igual a muestra seca}} \quad (3)$$

A.4. Absorción (%)

$$\% = \frac{\text{Peso húmedo muestra S.S.S.}}{\text{Suelo seco S.S.S.}} \times 100 \quad (4)$$

OBSERVACIONES

- Se ha hecho bien el ensayo, si al repetirlo, el valor del PE no varía en más de 0,02 con el resultado anterior; y 0,05 % en el caso del porcentaje de absorción. De no cumplirse esta condición deberá repetirse nuevamente el ensayo.
- Cuando se trabaje con un decimal, 1 ml. de agua pesa 1 g. y ocupa el volumen equivalente a 1 cm³ a la temperatura de 20 °C

CRITERIOS DE PRECISIÓN

Promedio de Precisión

Precisión	Valores de ensayo de resultados (%) en tamaño de la fracción ^A	Desviación Estándar (%) ^B	Rango de aceptabilidad de los resultados de ensayo (%) ^B
Un solo operador	Menos de 2 Más de 2	0.14 0.7	0.5 ^C 2.0
Varios operadores	Menos de 2 Más de 2	0.17 1.0	0.5 2.8

- A.** El porcentaje entre tamices consecutivos o porcentaje relacionado con el tamiz más grande el N° 30 (0,59 mm) o porcentaje que pasa el menor de los tamices el N° 200 (0,074 mm).
- B.** Estos números representan respectivamente el primero y segundo límite como se descri-

be en la norma C 670.

- C. El mínimo segundo es 0.5 % en este caso, cuando los resultados del ensayo están expresados en el más próximo 0.5%.

H011 Método de ensayo para determinar la resistencia de los agregados al desgaste utilizando la máquina de Los Ángeles

NORMA : A.S.T.M. C 131 -C 535 /N.L.T. 149 /I.N.V.E 218-219/FLNV-MVAG-07/08

OBJETIVO : Determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando la máquina de los ángeles, consecuencia de la acción combinada de la abrasión, machaqueo e impacto.

DURACIÓN : Para realizar el ensayo y obtener los resultados se estiman un máximo de 24 horas.

**EQUIPOS
REQUERIDOS** :



Figura 1 Equipos requeridos para el ensayo

- **Máquina de desgaste de los ángeles.**
- **Balanza** con capacidad de 20 Kg. con apreciación de 1g.
- **Tamices** para agregado grueso.
- **Horno** con control de temperatura uniforme de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- **Carga abrasiva** o esferas metálicas de fundición o de acero.
- **Tamiz # 12.**

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- a. La muestra para el ensayo se obtendrá mediante el tamizado, separando las distintas fracciones del agregado según el método acorde a la granulometría del material a ensayar (*véase figura 2*).



Figura 2 Separación del material

- b. Las fracciones se deben lavar separadamente como se muestra en la **figura 3**.

Nota 1: Si el agregado está libre de costras o de polvo, puede eliminarse del procedimiento de lavado antes y después del ensayo.

La eliminación del lavado posterior rara vez reducirá la pérdida medida en más del 0.2% del peso de la muestra original.

Si se quisiera obtener mayor información sobre la uniformidad de la muestra que se está ensayando, determinando la pérdida después de 100 revoluciones en el caso de agregados de tamaño mayor de 37.5mm (1 1/2") y 200 revoluciones para agregados con tamaño 19 mm (3/4"), no se debe lavar el material retenido en el tamiz N° 12.



Figura 3 Lavado del material

- c. Una vez lavado el material se procede a introducirlo en el horno a una temperatura de 105 °C y 110 °C hasta que su peso sea constante, (**véase figura 4**).



Figura 4 Introducción del material lavado en el horno

- d. Se deberá elegir en la tabla 1 “Granulometrías representativas de los agregados, para la selección del método de ensayo a utilizar” (**Véase Anexo B**), la gradación más parecida al agregado que se va a usar en la obra tomando en cuenta el tamaño del agregado para la ejecución del ensayo.

Se deberá trabajar con la unión de la tabla de especificaciones de la norma A.S.T.M C 131 y la tabla de la norma A.S.T.M C 535 para agregados de tamaño menor de 37,5 mm (1 ½”) y agregados de tamaño mayor de 19 mm (3/4”).

NOTA 2: Se debe tomar en cuenta la cantidad de material a utilizar tanto para agregados de tamaño menor de 37.5 mm (1½”) como para agregados de tamaño mayor de 19 mm (3/4”), en el caso de este último se necesita mayor cantidad de material ya que entre sus retenidos se encuentran los agregados más grandes y por lo tanto se le debe aplicar mayor número de revoluciones o vueltas.

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

- a. Una vez seleccionado el método a utilizar (véase en ANEXO B tabla 1 “Granulometrías representativas de los agregados, para la selección del método de ensayo a utilizar”) y determinado el peso de la muestra a usar, se colocan en la máquina de los ángeles la muestra y el número de esferas correspondientes para el ensayo, como se aprecia en la **figura 5**.

Nota 3: Se debe ajustar bien la tapa de la ventana de alimentación de la máquina para evitar perder material fino durante el ensayo (**véase figura 6**).

- b. Luego, se pone a funcionar su mecanismo, a una velocidad debe estar comprendida entre 30 y 33 revoluciones por minuto (rpm) y el número total de vueltas deberá ser el especificado en el método a utilizar. La máquina deberá girar de manera uniforme para mantener una velocidad periférica constante.
- c. Una vez cumplido el número de vueltas prescrita, se descarga el material del cilindro y se procede a efectuar una separación en la muestra ensayada del material más grueso, este se lava y se seca en horno a una temperatura comprendida entre los $110 \pm 5^\circ \text{C}$.
- d. La fracción fina que retiene el tamiz # 12 se une con el material más grueso y la muestra pasante se desecha (**véase figura 7**).



Figura 5 Colocación de la muestra y las esferas en el equipo de desgaste

Figura 6 Ajuste de la tapa del equipo

Figura 7 Fracción fina retenida en el tamiz # 12

PROCEDIMIENTOS APLICABLES EN EL ENSAYO

- a. La relación de pérdida después 100 o 200 de 500 o 1000 revoluciones dependiendo del agregado especificado para los dos tipos de ensayo, no debería exceder en más de 0,20 % para materiales de dureza uniforme. Cuando se realice esta determinación se procurará evitar toda pérdida de muestra.
- b. La muestra total, incluido el polvo producido por el desgaste, se vuelve introducir en la maquina hasta completar las vueltas especificadas por el método elegido para el ensayo.

Un procedimiento recomendable es que después de descargar el material a ensayar dentro del cilindro de acero se ajusten fuertemente los tornillos de la tapa de la máquina, que en muchos casos permite que el material que está en proceso de ensayo se pase entre las fisuras de los bordes de la tapa y se pierda.

CÁLCULOS

El cálculo de este ensayo es muy sencillo, siendo el porcentaje de desgaste igual a la diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra ensayada, expresado en tanto por ciento del peso original y se expresa de la siguiente forma:

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} \times 100 \quad (1)$$

Dónde:

Pf = Peso final

Pi = Peso inicial

PRECISIÓN DE ENSAYO

Para agregados con tamaño máximo nominal de 19 mm (3/4), con % de pérdidas entre 10 y 45 %, el coeficiente de variación entre resultado de varios laboratorios, es de 4.5 %.

Resultados de dos ensayos bien ejecutados, por dos laboratorios diferentes, sobre muestras del mismo agregado grueso, no deberán diferir el uno del otro en más del 12.7 % de su promedio.

El coeficiente de variación de operadores individuales, se encontró que es el 2.5.

Los resultados de dos ensayos bien ejecutados sobre el mismo agregado grueso, no deberán diferir el uno en más del 5.7 % de su promedio.

Las esferas de fundición, serán de un diámetro entre 46.38 mm y 47.63 mm y un peso comprendido entre 390 g y 445 g.

POSIBLES ERRORES

El no cumplimiento de los parámetros y especificaciones del ensayo.

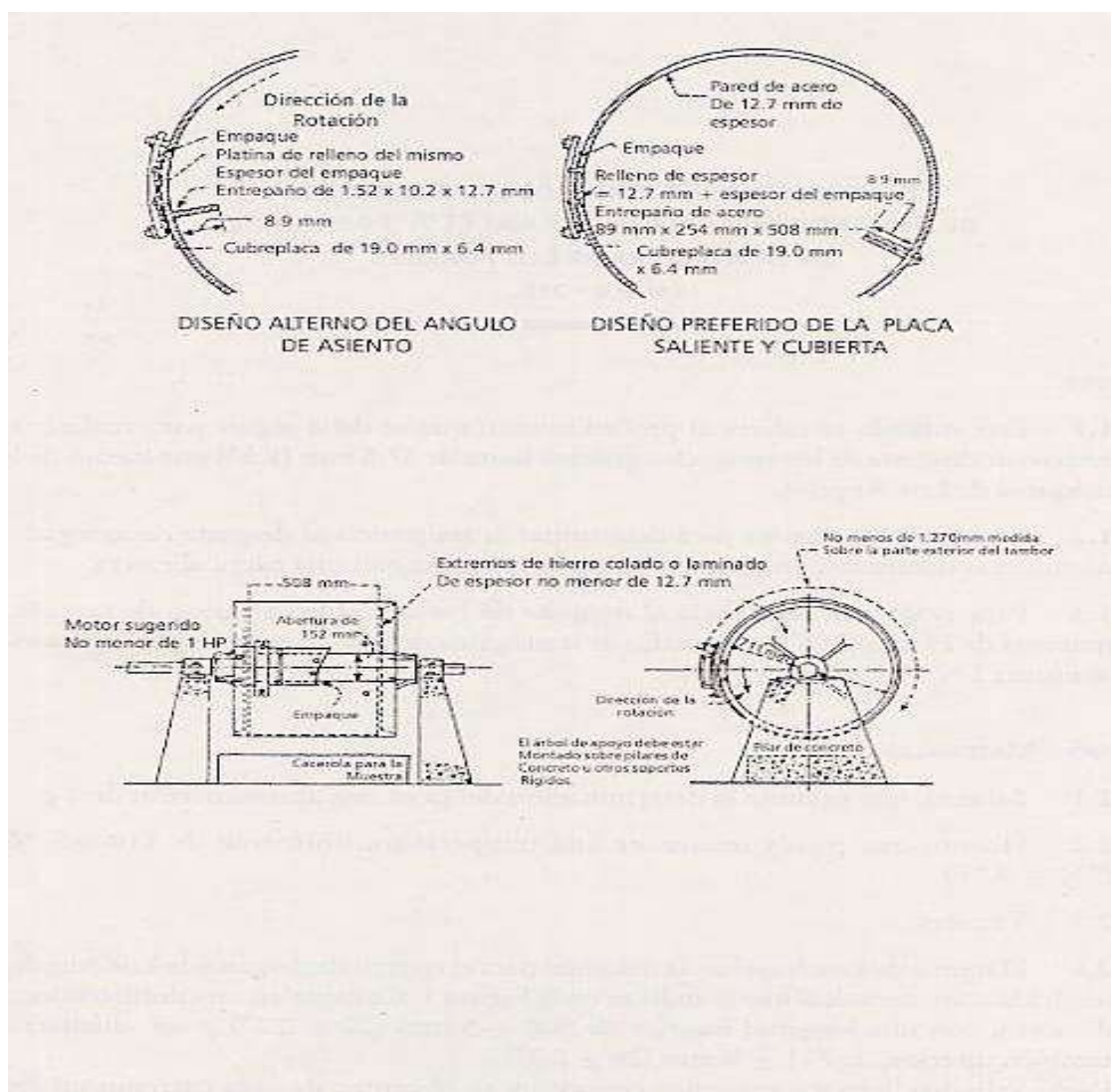
El uso indebido del equipo de desgaste de los ángeles.

La pérdida de material en cualquier circunstancia del proceso de preparación o durante el ensayo.

Programación errada del número de revoluciones del equipo.

ANEXO A

ESPECIFICACIONES GENERALES DE LA MÁQUINA LOS ÁNGELES



ANEXO B

Tabla N° 1. Granulometrías representativas de los agregados, para selección del método de ensayo a usar.

TAMAÑO DEL CEDAZO		ASTM C 131				ASTM C 535		
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	1	2	3
3"	2½"					2500±50		
2½"	2"					2500±50		
2"	1½"					5000±50	5000±50	
1½"	1"	1250±25					5000±25	5000±25
1"	¾"	1250±25						5000±25
¾"	½"	1250±10	2500±10					
½"	⅜"	1250±10	2500±10					
⅜"	¼"			2500±10				
¼"	N° 4			2500±10				
N° 4	N° 8				5000±10			
TOTAL PESO, g		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±100	10000±75	10000±50
N° DE ESFERAS		12	11	8	6	12	12	12
REVOLUCIONES		500				1000		

H0113 Método de ensayo para determinar el equivalente de arena

- NORMA** : A.S.T.M. D 2419-99 / COVENIN 1123 / A.A.S.T.H.O. T 176/ NLT- 113-92 / I.N.V.E. 107-98 / FLNV MVAG-33
- OBJETIVO** : El objeto de este ensayo es descubrir la presencia de excesos de material nocivo que pasa el tamiz N° 200.
- ALCANCE** : Este ensayo permite obtener la proporción en porcentajes cualitativamente del contenido de polvo fino o material arcilloso que contienen los suelos o agregados.
- COMENTARIOS** : Cuando se realice el ensayo evite exponer la probeta a la acción directa a la luz solar.
- DURACIÓN** : Con práctica se puede hacer el ensayo en el Laboratorio en 40 min., después de tener la muestra preparada.

**EQUIPOS
REQUERIDOS**



Figura 1 Equipos y materiales requeridos



Figura 2 Equipos requeridos

- **PROBETA ESTÁNDAR:** DE 38 cm. Tres probetas.
- **BARRA ESTÁNDAR DE MEDICIÓN**
- **TUBO IRRIGADOR:** De cobre o latón el cual debe estar unido por una manguera con el sifón.
- **HORNO ELÉCTRICO:** Capaz de mantener una temperatura constante de 105°C a 110°C.
- **RELOJ CONTADOR Y CRONÓMETRO**
- **CUARTEADOR:** Del tipo CONTROLS 5-D 431
- **EQUIPO AGITADOR:** Capaz de dar 90 ciclos en 30 seg en un recorrido horizontal de 20 cm (1ciclo es un recorrido de ida y vuelta o sea de izquierda a derecha y de derecha a izquierda).
- **FRASCO O ENVASE:** De plástico o de vidrio, de unos 4 Lts de capacidad, con sifón acoplado en un tapón, con dos tubos que lo atraviesan, uno de ellos sumergidos sobre el líquido y el otro sobre su nivel para la entrada de aire. En el cual se verterá la solución de ensayo.

- **TAPONES DE GOMA**
- **ESPÁTULA Y CUCHARA**
- **SOLUCIÓN CONCENTRADA DE CLORURO DE CALCIO (NaCl)**
- **SOLUCIÓN DE ENSAYO:** Preparada con 88 ml de solución concentrada mezclada con 3697 ml de agua destilada o desmineralizada para completar un galón (3785 ml).
- **TAMIZ:** No 4
- **ENVASES:** De 85 ml (3 onzas) de capacidad de bronce, latón o aluminio.
- **EMBUDO PLÁSTICO**

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

- a. Del material a ensayar, obtenga por medio de cuarteo, una porción representativa necesaria para el ensayo.



Figura 3 Horno utilizado en el ensayo

- b. Seque dicha muestra en el horno a peso constante a una temperatura de 105°C a 110°C, **(véase figura 3)** y luego deje enfriar a temperatura ambiente.
- c. Se tamiza la muestra por el tamiz No 4, para así obtener muestra pasa No. 4 (véase figura 4).
- d. Se Cuarteo la muestra para llenar tres envases de 85 ml (véase figura 5).
- e. Llene el envase con el agregado hasta que se rebose (véase figura 6).
- f. Enrase el material cuidadosamente con una espátula **(véase figura 7)**.



Figura 4 Tamizado de la muestra en tamiz Nº 4



Figura 5 Cuarteo de la muestra tamizada

Figura 6 Llenado del envase



Figura 7 Enrasado del material

NOTA 2: Es recomendable antes de enrasar el material producir una ligera compactación, mediante pequeños golpes, del envase con la superficie del mesón o de trabajo.

- g. Se debe obtener tres muestras de un mismo suelo o agregado para realizar el ensayo, como se aprecia en la figura 8.
- h. Antes de iniciar la ejecución del ensayo debe cerciorarse que existe un efecto de sifonado al abrir el pasador del tubo irrigador, si no es así, se debe soplar el tubo de salida (sifón).
- i. Se procede a llenar la probeta estándar con la solución de ensayo hasta la marca de 10 cm (véase figura 9).
- j. Con la ayuda de un embudo, se vierte el agregado o suelo en la probeta estándar, como se aprecia en la **figura 10**.



Figura 8 Obtención de tres muestras



Figura 9 Llenado de la probeta con la solución de ensayo



Figura 10 Adición del agregado en la probeta de ensayo

- k. Se debe golpear el fondo de la probeta con la palma de la mano y se la hace girar para expulsar las burbujas de aire y humedecer completamente la muestra (véase figura 11).
- l. Se procede a dejar en reposo tres probetas con las muestras de agregado recolectadas (véase figura 12) por un tiempo de tres minutos.
- m. Transcurridos los 10 minutos, se procede a insertar un tapón en la probeta para evitar pérdida de material y se coloca está en la mordaza del equipo agitador (**véase figura 13**). Se selecciona el tiempo (30 seg), y se activa el equipo para iniciar la agitación.



Figura 11 Expulsión de las burbujas de aire de la probeta



Figura 12 Muestras en reposo



Figura 13 Equipo agitador con la muestra

NOTA 3: Cuando no se disponga de un equipo agitador mecánico, la agitación se podrá realizar manualmente, desplazando la probeta horizontalmente a una distancia de 20 cm y a una velocidad de 90 ciclos en 30 seg. Un ciclo corresponde a un recorrido de ida y vuelta.

- n. Después de la agitación se retira la probeta del equipo agitador y se coloca sobre el mesón de trabajo, para proceder a retirar el tapón de la probeta, como se aprecia en la figura 14. Se debe abrir el paso del líquido (solución) aflojando el pasador (llave) del tubo irrigador y lavando el tapón de manera tal, que el material adherido después de la agitación caiga dentro de la probeta.

NOTA 4: El frasco que contiene la solución de ensayo debe estar entre 90cm a 1 m de altura de la superficie del mesón de trabajo.

- o. Se debe lavar las paredes de la probeta con un tubo irrigador para reducir al mínimo la pérdida de material, como se aprecia en la figura 15.
- p. Se debe introducir el tubo irrigador hasta el fondo de la probeta y lavar el material haciéndolo suspender mientras se mantiene la probeta inclinada, como se aprecia en la **figura 16**, aplicando al tubo irrigador, un movimiento suave, ascendente y descendente mientras se gira la probeta.

Cuando se considere que el material este completamente limpio (se suspende todo el material fino), se mantiene el tubo irrigador en el fondo, en posición vertical hasta que el líquido se aproximé a la marca de 38 cm, el irrigador se va retirando pausadamente hasta completar dicha marca.



Figura 14 Extracción y lavado del tapón



Figura 15 Lavado de las paredes de la probeta



Figura 16 Introducción del tubo irrigador al fondo de la probeta

NOTA 5: Al concluir el lavado del material debe asegurarse que las graduaciones de la probeta queden frontalmente para poder tomar las lecturas.

- q. Se procede a dejar las probetas en reposo por 20 minutos, en ese lapso las probetas no deben moverse y el mesón sobre el cual están debe estar libre de vibraciones (**véase figura 17**).

A cada probeta se le mide el tiempo para que cada una tenga 20 minutos de reposo \pm 15 seg.

- r. Transcurrido los 20 minutos se lee el nivel superior y se anota esta lectura como LECTURA DE SUSPENSIÓN (véase figura 18)
- s. Se introduce cuidadosamente la barra estándar en la probeta, hasta que se asiente suavemente encima del sedimento por su propio peso, sin tocar las paredes de la probeta al bajar la barra, como se observa en la figura 19.
- t. Se toma la lectura donde se ve uno de los tornillos al pie de la barra. Si este punto en el pie de la barra no es visible, se hace girar hacia las graduaciones de la probeta para poder distinguir el tornillo y hacer la lectura. Se anota esta lectura como LECTURA DE SEDIMENTACION. En la **figura 20** se indica la lectura de sedimento.



Figura 17 Probetas en reposo



Figura 18 Lectura de suspensión



Figura 19 Barra estándar dentro de la probeta



Figura 20 Lectura del Sedimento de arena

CÁLCULOS

El valor equivalente de arena (E.A.) se deduce de la siguiente fórmula:

$$E.A. (\%) = \frac{\text{Lectura de sedimentación}}{\text{Lectura de suspensión}} \times 100 \quad (1)$$

Lectura de suspensión

Si el valor de resultado no es un número entero, se redondea la fracción al número in-

mediato superior.

Ejemplo:

Tabla 1 Lecturas de Suspensión y de Sedimentación de un Equivalente de Arena

LECTURA SUSPENSION a	LECTURA SEDIMENTACION b	EQUIVALENTE DE ARENA (b/a)*100
14,80	9,60	65,00
14,60	9,60	66,00
14,40	9,40	66,00
	PROMEDIO	66,00

Del cuadro anterior se tiene:

- a) El primer ensayo da como resultado: 64.9 - se redondea al entero próximo superior = 65.0
- b) El segundo ensayo da como resultado: 65.8 - se redondea al entero próximo superior = 66.0
- c) El tercer ensayo da como resultado: 65.3 - se redondea al entero próximo superior = 66.0
- d) El promedio da como resultado: 65.6 - se redondea al entero próximo superior = 66.0

RESULTADOS

Los resultados no deben variar ± 4 puntos con respecto al promedio con estos ensayos.

H0114 Método de ensayo para determinar la disgregabilidad de los sulfatos

- NORMA** : A.S.T.M. C88 / A.A.S.T.H.O. T 104
- OBJETIVO** : Determinar la resistencia a la desintegración de los áridos por la acción saturada de sulfato de magnesio ($MgSO_4$), cuando son sometidos a la acción de los agentes atmosféricos.
- ALCANCE** : Determinar la fuerza expansiva interna que puede sufrir un agregado, derivada de la rehidratación de la sal generada en las inmersiones (simula el proceso de expansión del agua cuando se hiela) en las condiciones que pudiera darse en obra, por lo que el método proporciona información sobre la resistencia del árido a la intemperie.
- DURACIÓN** : El proceso alternativo de inmersión y desecación de la muestra se prosigue hasta complementar el número de ciclos que determine la especificación aplicable al respecto, normalmente cinco (5) días.

**EQUIPOS
REQUERIDOS** :



Figura 1 Equipos requeridos para el ensayo

- **Tamices:** que cumplan las especificaciones, que para los mismos se refieren en la norma Agregado Fino: 3/8" (9.5 mm), #4, #8, #16, #30, #50, #100. Agregado Grueso: 2½" (63,5 mm), 2" (50,8 mm), 1½" (38 mm), 1¼" (32 mm), 1" (25,4 mm), ¾" (19 mm), 5/8" (15,9 mm), 5/16" (7,9 mm), ½" (12.5 mm), 3/8" (9,5mm), #4, #5/16.
- **Tanque de Inmersión:** el tanque tendrá un volumen de al menos cinco (5) veces el volumen de la muestra sumergida de árido para ensayo.
- **Regulador de la temperatura:** se dispondrá de un medio para mantener y regular la temperatura de las muestras de ensayo $21^{\circ}C \pm 1^{\circ}C$, durante la inmersión en las soluciones de sulfato de magnesio.
- **Recipientes:** para contener y sumergir los áridos en la solución de sulfato.
- **Balanza:** con capacidad de 5 kg y sensibilidad de ± 1 g.
- **Horno:** que pueda alcanzar y mantener una temperatura de $110^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$.
- **Solución:** la disolución de sulfato de magnesio se prepara disolviendo en (1) litro de

agua destilada 350 g de sulfato de magnesio.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- a. Tamaño de las muestras: la muestra del agregado se obtiene y reduce, de acuerdo con lo que a tal fin se especifica en la norma (**véase figura 2**).



Figura 2 Muestra de agregado fino y grueso para ensayo

- b. **Agregado Fino:** la muestra de árido fino debe cumplir con los tamices, señalados en la tabla siguiente:

Tabla N°1 Tamices a ser utilizados de acuerdo al peso en agregado fino

PASA POR TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	PESO A ENSAYAR (g)
3/8" (9,5 mm)	# 4	100
# 4	# 8	100
# 8	# 16	100
# 16	# 30	100
# 30	# 50	100
# 50	# 100	100

- c. **Agregado Grueso:** la muestra de árido grueso debe cumplir con los tamices, señalados en la tabla siguiente:

Tabla N°2 Tamices a ser utilizados de acuerdo al peso en agregado grueso

PASA POR TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	PESO A ENSAYAR (g)
2 1/2"	2"	3000 ± 300
2"	1 1/2"	2000 ± 200
1 1/2"	1"	1000 ± 50
1"	3/4"	500 ± 30
3/4"	1/2"	670 ± 10
1/2"	3/8"	330 ± 5
3/8"	# 4	300 ± 5

PREPARACIÓN: la muestra de árido fino se lava bien sobre un tamiz # 50, (**véase figura 3**) y se seca en un horno a 110°C ± 5°C hasta peso constante y se separa en fracciones por los tamices que se señalan en la tabla N° 1. La muestra de árido grueso se lava bien (**véase figura 4**) y se seca a 110°C ± 5°C hasta masa constante y se separa en las diferentes fracciones referidas en la tabla N° 2.



Figura 3

Lavado de la muestra de agregado fino grueso



Figura 4

Lavado de la muestra de agregado grueso

NOTA 1: Durante el lavado se debe evitar someter las partículas a impacto y fro-
tamientos que puedan facilitar su fractura.

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

A. INMERSIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO EN LA SOLUCIÓN:

se sumerge la muestra de ensayo en la solución de sulfato de magnesio durante un periodo de tiempo comprendido entre 16 y 18 horas. El nivel de la solución de sulfato en los recipientes debe ser tal, que cubra los agregados (*véase figura 5*). Se debe cubrir el tanque para evitar la evaporación y eventuales contaminaciones con sustancias extrañas. La temperatura de la solución y de la muestra sumergida durante todo el tiempo de inmersión deberá ser de $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ (*véase figura 6*).



Figura 5 Inmersión de muestras en sulfato de magnesio



Figura 6 Verificación de temperatura de ensayo

B. SECADO DE LAS MUESTRAS DESPUES DE LA INMERSION:

Después del periodo de inmersión se saca la muestra de la solución de sulfato, dejándola escurrir durante $15 \text{ minutos} \pm 5 \text{ minutos}$, introduciéndola seguidamente en el horno para su secado. La temperatura del horno debe estar regulada a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Se secan las muestras hasta masa constante.

Una vez que las muestra han alcanzado la masa constante, se extraen del horno (*véase figura 7*), se dejan enfriar hasta una temperatura de 20°C a 25°C y luego se procede a sumergirla nuevamente en la solución de sulfato de magnesio.

C. CICLOS DE INMERSION - SECADO:

Preferiblemente, el ensayo se realiza sin interrupciones hasta completar los cinco (5) ciclos requeridos. Sin embargo, si ineludiblemente se interrumpe el proceso, las muestras se deberán dejar en el horno a 110°C ± 5°C, hasta que el ensayo se reanude.

D. EXAMEN CUANTITATIVO:

Después de terminado el último ciclo y enfriada la muestra, se lava hasta que quede exenta de sulfato.

La bondad del lavado se comprueba con una porción del agua del lavado, después de pasar a través de la muestra, a la que se añade unas gotas de cloruro de bario al 5% (véase figura 8), si el agua se torna lechosa con la adición del cloruro se sigue lavando el agregado hasta reacción negativa.

Eliminado el sulfato por lavado, se seca la muestra en el horno a temperatura de 110°C ± 5°C, hasta masa constante y se anotan en el formato de ensayo.



Figura 7 Secado de muestra en horno



Figura 8 Adición de cloruro de bario a muestra de agua del ensayo



Figura 9 Lavado de muestra después de inmersión

Se tamiza el agregado fino por los tamices especificados en la tabla 3:

Tabla 3 Tamices para determinar la pérdida de agregado fino en el ensayo

Pasa por tamiz	Retenido en tamiz	Pasa tamiz
3/8"	#4	#4
#4	#8	#8
#8	#16	#16
#16	#30	#30
#30	#50	#50
#50	#100	

El tamizado del agregado grueso se efectúa a mano, asegurándose de que todo el material inferior pase por los tamices designados en la tabla 4:

Tabla 4 Tamices para determinar la pérdida de agregado grueso en el ensayo

Pasa por tamiz	Retenido en tamiz	Pasa tamiz
2 ½"	2"	1 ¼"
2"	1 ½"	
1 ½"	1"	5/8"
1"	¾"	
¾"	½"	5/16"
½"	3/8"	
3/8"	#4	#5

NOTA 2: Debe evitarse el paso forzado de las partículas por el tamiz.

Se debe determinar y anotar la masa retenida en cada tamiz. La diferencia entre cada una de estas masas y las iniciales correspondientes a cada fracción de la muestra ensayada; es la pérdida de material producida en el ensayo y se expresa como porcentaje de la masa inicial utilizada.

1. EXAMEN CUALITATIVO: se efectuará un examen cualitativo de las muestras ensayadas de tamaño superior a ¾" (19 mm), de acuerdo con el siguiente criterio:

- a) Se observará el efecto que produce la acción de los sulfatos y se deberán separar las partículas de cada fracción en grupos en función del efecto causado por el ensayo.
- b) Se anota el número de partículas que presentan el mismo tipo de deterioro.
- c) La acción de los sulfatos puede manifestarse de diversas maneras: Agrietamiento, formación de lascas, resquebramiento, desmenuzamiento, descacaramiento, etc.

Aunque esta evaluación se realiza para las partículas de tamaño ¾" (19 mm), se recomienda evaluar los tamaños inferiores para observar si presentan resquebramiento excesivo.

CÁLCULOS Y RESULTADOS

La hoja de resultados incluirá la siguiente información:

- Masa de cada fracción de cada muestra antes del ensayo.
- Masa de cada fracción de la muestra que pasa el tamiz designado, después del ensayo y expresada como porcentaje de la masa original de la fracción.
- Pérdida media calculada a partir de los porcentajes de pérdida de cada fracción y en función de la granulometría de la muestra tal como recibida en laboratorio o, preferiblemente, en función de la granulometría media del de que se obtuvo la muestra enviada al laboratorio.
- En los agregados finos (con 10% o menos del árido superior a 3/8" (9,5mm) se asume que los tamaños superiores a 3/8" (9,5 mm) presentan la misma pérdida que la de la fracción inferior más próxima de la que se disponga de datos de ensayo.
- En los agregados gruesos (con menos de 10% inferior a #4) se asume que los tamaños inferiores a #4 presentan la misma pérdida que la de la fracción superior más próxima de la que se disponga de datos de ensayo.

- En los agregados que contengan cantidades significativas de ambos materiales, finos y gruesos, que se han ensayado como dos muestras distintas, se calculan las pérdidas medias, separadamente, para las fracciones superior e inferior a #4, en función de las granulometrías recalculadas, considerando 100% la fracción gruesa.
- En el cálculo de la masa media, aunque su masa represente menos del 5% de la muestra, como si tuvieran la misma pérdida que la media de las mismas fracciones más próximas inferior y las más próximas superior o, si falta algunas de esas fracciones, la misma pérdida que la fracción más próxima superior o inferior, de la que esté presente.
- El resultado del ensayo, pérdida media, se expresa redondeando al número entero más próximo.
- Si la muestra contiene partículas superiores a 3/4" (19 mm) se referirá: el número de partículas en cada fracción antes del ensayo, y (2) el número de partículas alteradas, clasificadas como: desintegradas, rotas o hendidas, desmenuzadas y agrietadas.

PRECISIÓN

Se indica la precisión del ensayo para el agregado grueso en el campo de valores de pérdida comprendido entre 9% y 20% en el caso de soluciones de sulfato de magnesio.

INFORME

En el informe se deberá reflejar la siguiente información:

- Peso de cada fracción de las muestras antes del ensayo.
- Pérdida media, calculada por medio del tanto por ciento de pérdida de cada fracción, teniendo en cuenta la granulometría original de la muestra.
- En estos cálculos los tamaños inferiores al tamiz N° 50, se supone no debieran presentar pérdidas.

H0121 Método de ensayo para determinar el índice de aplanamiento y alargamiento de los áridos para carreteras.

- NORMA** : A. S. T. M. D 4791-99 NLT-354/90
- OBJETIVO** : El objeto de este método es describir el procedimiento a seguir para la determinación del porcentaje de caras largas y aplanadas de los agregados que van a ser empleados en la construcción de carretera.
- ALCANCE** : Este método de ensayo da como resultado las partículas largas y aplanadas de los agregados, que son perjudiciales para las mezclas asfálticas
- DURACIÓN** : Con práctica en el Laboratorio se puede hacer el ensayo en 2 Horas.

**EQUIPOS
REQUERIDOS** :



Figura 1 Equipos requeridos para el ensayo

- **Balanza:** Con capacidad adecuada y una sensibilidad de 0.1 grs.
- **Tamices:** 1 ½" (37,5 mm), 1 ½" (37,5 mm), 1" (25,4 mm), 3/4" (19 mm), 1/2" (12,5 mm) y 3/8" (9,5 mm), dependiendo de la gradación del agregado.
- **Espátula o cuchara de albañil:** Para la separación del agregado.
- **Bandejas:** De fondo plano y diversos tamaños.
- **Vernier:** Que permita una apreciación de por lo menos 0,5 mm.

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

NOTA 1: Las partículas alargadas y planas son perjudiciales ya que tienden a romperse y degradarse bajo el efecto de compactación y del tráfico por esto se exige un porcentaje mínimo de 5%.

- a. Se debe homogenizar la muestra a ensayar como se aprecia en la **figura 2**.
- b. La muestra para el ensayo se obtendrá, por medio de un cuarteo del total del material

recibido. (Véase figura 3).

- c. De las muestras obtenidas por el cuarteo se separan por los tamices $1\frac{1}{2}$ " a $3/8$ ", descartando el material que retenga en el tamiz $1\frac{1}{2}$ " y pase el tamiz $3/8$ ". (Véase figura 4).



Figura 2 Homogenizar la muestra

Figura 3 Cuarteo de muestra

Figura 4 Tamizado de la muestra

- d. Se debe pesar la muestra a ensayar y dicho peso se registrará como peso total de muestra. (Véase figura 5)
- e. Se extiende la muestra en un área suficientemente grande, para visualizar las partículas alargadas y planas del agregado (Véase figura 6).
- f. Se debe medir el largo de la partícula con un calibrador (vernier), como se aprecia en la figura 7 y anotar dicho valor en la planilla de ensayo.



Figura 5 Peso total de muestra



Figura 6 Extendido del agregado



Figura 7 Medición del largo de la partícula

- g. Se debe medir el espesor con un calibrador (vernier), de la partícula y registrar el valor en la planilla de ensayo (véase figura 8).

NOTA 2: El resultado del ensayo se expresará como el porcentaje de partículas cuya dimensión máxima y la mínima, sea mayor de 5, es decir largo vs espesor.



Figura 8 Medición del espesor de la partícula

CÁLCULOS

Determinación del cociente de longitud máxima entre longitud mínima de cada partícula.

$$C = L / E > 5 \quad (1)$$

Dónde:

C = Cociente

L = LARGO (Longitud máxima)

E = ESPESOR (Longitud mínima)

Ejemplo 1:

$$L = 5,3 \text{ cm}$$

$$E = 1,5 \text{ cm}$$

$$C = \frac{5,3 \text{ cm}}{1,5 \text{ cm}} = 3,5$$

NOTA 3: Luego de realizar los cálculos antes mencionados, se procede a pesar las partículas alargadas y aplanadas, y se registra como peso de partículas alargadas y aplanadas (**véase figura 9**).



Figura 9 Peso de partículas alargadas y aplanadas

D.1. Determinación del porcentaje de caras largas y aplanadas (%).

$$\% = \frac{\text{Peso de caras largas y aplanadas}}{\text{Peso total de muestra}} \times 100 \quad (2)$$

Tabla 1 Relación del tamaño máximo nominal vs. peso mínimo de la partícula

Tamaño Máximo Nominal de la Partícula (pulg.)-(mm)	Peso Mínimo de la Partícula (Kg)
3/8" (9,5)	1,0
1/2" (12,5)	2,0
3/4" (19,0)	5,0
1" (25,0)	10,0
1 1/2" (37,5)	15,0
2" (50,0)	20,0
2 1/2" (63,0)	35,0

SECCION 6.3.3.17.

**ANEXO II
 CEMENTO PARA HORMIGÓN DE USO
 VIAL.**

Composición, características, evaluación de la conformidad y condiciones de recepción conforme a la Norma Paraguaya NP 17 044 80

OBJETO

Este anexo especifica los componentes de los cementos para hormigones de uso vial, basados en Clinker de cemento portland, y las proporciones en que deben combinarse para producir una serie de tipos y clases de cemento.

Específica, asimismo, las exigencias mecánicas, físicas y químicas aplicables a estos tipos y clases de cemento, y establece sus condiciones de recepción.

TIPOS, DESIGNACION Y COMPOSICION DE LOS CEMENTOS

Los cementos conformes con esta norma se subdividen en seis tipos de acuerdo con lo indicado en la tabla 1.

TABLA 1 - TIPOS DE CEMENTO ⁽¹⁾

TIPO	CEMENTOS	CATEGORIAS	IDENTIFICACION
CPI	Portland Común	32	CPI-32
		40	CPI-40
CPII-C	Portland Compuesto	32	CPII-C32
		40	CPII-C40
CPII-F	Portland con Filler Calizo	32	CPII-F32
		40	CPII-F40
CPIII	Portland Siderúrgico	25	CPIII-25
		32	CPIII-32
CPIV	Portland Puzolánico	32	CPIV-32
CPV ARI	Portland Alta Resistencia Inicial	-	CPV-ARI

Norma Paraguaya NP 17 044 80

TABLA 2 – COMPOSICION DE CEMENTOS

CEMENTO TIPO	IDENTIFICACION	CLINKER + YESO (%)	PUZOLANA P (%)	ESCORIA E (%)	FILLER CALIZO F (%)
Portland Común	CPI	95-100	5-0	5-0	5-0
Portland Compuesto	CPII-C	79-65	Dos o tres componentes (P+E+F) 21%-35%		

Portland con Filler Calizo	CPII-F	94-80	-	-	6-20
Portland Siderúrgico	CPIII	79-30	-	21-70	-
Portland Puzolánico	CPIV	85-50	15-50	-	-
Portland Alta Resistencia	CPV-ARI	100-95	0-5	0-5	0-5

Norma Paraguaya NP 17 044 80

REQUISITOS

D.1. Forma de entrega.

Los cementos se deben entregar a granel o envasados en bolsas de papel u otro material que asegure una eficiente protección del producto.

D.2. Contenido.

Cuando los cementos se entreguen envasados, el contenido neto nominal de cada bolsa debe ser el indicado en el rotulado.

TABLA 3 - REQUISITOS QUÍMICOS

Característica	Tipo de cemento	Requisito	Unidad
Perdida por calcinación (máximo)	CPI	5,0	g/100 g
	CPIII	5,0	
	CPIV	6,5	
	CPII-F	11,5	
	CPII-C	11,5	
Residuo insoluble (máximo)	CPI	5,0	
	CPIII	5,0	
	CPII-F	9,0	
	CPII-C	20,0	
	CPIV	20,0	
Trióxido de azufre (SO ₃) (máximo)	CPI	3,5	
	CPII-F		
	CPIII		
	CPII-C		
	CPIV		
Óxido de magnesio (MgO) (máximo)	CPI	6,0	
	CPIV	6,0	
	CPII-F	7,0	
	CPIII	-	
	CPII-C	-	
Cloruro (Cl') (máximo)	CPI	0,10	
	CPII-F		
	CPIII		
	CPII-C		
	CPIV		
Sulfuro (S ²⁻) (máximo)	CPI	0,10	
	CPII-F		
	CPIV		
	CPIII	0,30	
	CPII-C		
Coefficiente puzolánico	CPIV	Menor que 1,0	

1. Requisitos físicos y mecánicos. Los cementos deben cumplir con los requisitos indicados en la tabla 4.

TABLA 4-CARACTERISTICAS FISICAS Y MECANICAS

		Cemento Portland Común		Cemento Portland Compuesto		Cemento Portland con Filler Calizo		Cemento Portland Siderúrgico		Cemento Puzolánico	Cemento Portland Alta Resistencia Inicial	
Tipo		I		II				II		IV	V	
Categoría		32	40	32	40	32	40	25	32	32	45	
Identificación		CPI-32	CPI-40	CPII-C32	CPII-C40	CPII-F32	CPII-F40	CPIII-25	CPIII-32	CPIV-32	CPV-ARI	
Finura	Residuo Tamiz INTN 200 (% Max)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
	Blaine Min (cm ² /g)	2800	3000	2800	3000	2800	3000	-	-	2800	3200	
Tiempo de fraguado	Inicio Min (Minutos)	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	
	Inicio Min (Minutos)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Expansión autoclave % Max		1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	
Contracción al secado Max 28 días		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Retención de agua % Min		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Aire incorporado % Min		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Resistencia en MPA Valores mínimos	Compresión	2 días	-	-	-	-	-	-	-	-	20	
		3 días	-	-	-	-	-	-	-	-	27	
		7 días	20	25	20	25	20	25	15	20	20	40
		28 días	32	40	32	40	32	40	25	32	32	45

NORMA PARAGUAYA NP 17 044 80, Cementos. Especificaciones

2. Requisitos de las adiciones. Las adiciones de los cementos deben cumplir con los requisitos indicados en la tabla 5, según corresponda.

Tabla 5 - Requisitos de las adiciones

Adición	Requisito	Unidad	Min.	Max.
"Filler" calcáreo	Óxido de calcio (CaO) expresado como carbonato de calcio (CaCO ₃)	g/100 g	75,0	---
	Arcilla		---	1,2
	Carbono orgánico total		---	0,50
	Perdida por calcinación		33,0	---

Escoria de alto horno	Sulfuro, expresado como S	g/100 g	---	1,5
	Relación (CaO+MgO+AbO ₃) /SiO ₂	---	1,0	---
	índice de vitrificación	g/100 g	90	---
Puzolana (*)	Actividad puzolánica con cemento portland	%	75	---
Ceniza volante silicea (*)	Actividad puzolánica con cemento portland	%	75	---
	Perdida por calcinación	g/100 g	---	10
(*) La actividad puzolánica con cemento portland se debe medir en una mezcla de cemento portland normal con una adición de 25% de la puzolana o de la ceniza volante silicea por evaluar, previamente secada, molida a la superficie equivalente del cemento $\pm 20 \text{ m}^2/\text{kg}$.				

Los cementos para uso vial se deben identificar del siguiente modo:

- a) tres letras que indican el tipo de cemento, referido a su composición, tal como se indica en la tabla 1
- b) dos dígitos que indican la categoría de resistencia a la que pertenece el cemento (32 , 40 o 45)

MARCADO, ROTULADO Y EMBALAJE

Marcado y rotulado

3. Los envases deben llevar impresos directa mente y en caracteres legibles e indelebles, además de lo exigido por las disposiciones legales vigentes, las indicaciones siguientes:
 - a) la marca registrada o el nombre y apellido o la razón social del fabricante;
 - b) la leyenda con la denominación del tipo de cemento según se indica en la tabla 1 de y la designación, según lo indicado.
 - c) el contenido nominal, en kilogramos;
 - d) la procedencia;
 - e) la mención de la norma;
 - f) en los cementos portland compuestos, se deben indicar los nombres de las adiciones que se hayan incorporado (puzolana o ceniza volante silicea, escoria, “filler” calcáreo) en orden decreciente de contenido;

Quando el contenido individual de las adiciones (puzolana O ceniza volante silicea, escoria, “filler” calcáreo) sea menor que 5% se debe declarar el nombre de la adición correspondiente seguido del texto: *menor que 5%*;

Cuando la diferencia entre los contenidos de las adiciones incorporadas sea menor que 4%, el orden en el cual se las debe indicar, es indistinto;

- g) en los cementos portland puzolánicos, se debe indicar si la adición corresponde a una puzolana o a una ceniza volante silíceas;
 - h) el sello o marca de conformidad con esta norma.
4. Cuando el producto se entregue a granel, las indicaciones mencionadas en 9 se deben hacer constar en el remito.

EVALUACION DE LA CONFORMIDAD

El esquema para la evaluación de la conformidad de cementos para hormigones de uso vial, se realiza según las especificaciones de la NORMA PARAGUAYA NP 17 044 80.

Anexo A (Informativo)

Ensayos de evaluación del desempeño

Debido a las características propias de este tipo de estructura, los hormigones deben tener un adecuado desempeño para minimizar el riesgo de aparición de fisuras no controladas.

Entre los factores que tienen incidencia para controlar la fisuración temprana se encuentran:

- a) un adecuado diseño de juntas y el aserrado oportuno;
- b) un curado eficiente;
- c) la evolución de temperaturas y el gradiente térmico;
- d) la absorción y las restricciones que impone la base;
- e) el diseño de la mezcla de hormigón, capacidad de exudación, contenido de polvo en los agregados, relación agua/cemento, contenido de cemento, desempeño del cemento, y el uso de aditivos.

El estado actual del conocimiento nos permite indicar que, para reducir el riesgo de aparición de fisuras tempranas, los cementos deben poseer resistencias a la compresión y a la flexión a edades tempranas (12 h, 15 h Y 24 h) adecuadas con la exigencia en servicio, así como niveles moderados en las contracciones química y autógena.

Se deben realizar las evaluaciones interlaboratorios necesarias a fin de compartir el conocimiento y las experiencias, unificar los criterios, y obtener reproducibilidad en los resultados, con el fin de generar las condiciones necesarias para normalizar los ensayos de desempeño y poder establecer requisitos en la presente norma.

Se entiende que realizar el ensayo a 15 h en lugar de 12 h es más viable operativamente en virtud que las 12 h impone que alguna de las operaciones (moldeo o ensayo) sea realizada durante la noche. En este sentido se propone trazar curvas de evolución de la resistencia entre 12 h Y 15 h para distintos cementos de uso vial, si este parámetro es similar para los distintos productos, se considera que ensayando a 15 h se reducirá la

dispersión, y mejorará la repetibilidad de resultados dado que es más factible respetar el horario de ensayo, sumado a que las probetas poseerán mayor nivel de resistencia para soportar las exigencias del desmolde.

BIBLIOGRAFÍA

Para el Desarrollo de las **ESPECIFICACIONES** TÉCNICAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO, que comprende los Volúmenes de suelos y agregados, asfalto y hormigón, se basa fundamentalmente en los siguientes textos y normativas vigentes:

MANUAL DE CARRETERAS DE BOLIVIA

Gobierno de Bolivia. Administradora Boliviana de Carreteras

Edición: APIA XXI – Ingenieros y Arquitectos Consultores.

Fecha de Edición: Febrero 2.008

NORMA RODOVIARIA – DNER – BRASIL

Gobierno de Brasil. Ministerio Dos Transportes

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

Fecha de Edición: 2da – Rio de Janeiro, 1.998

MANUAL DE CARRETERAS DE CHILE

Gobierno de Chile. Ministerio de Obras Públicas – Dirección de Vialidad

Edición: LEN y Asociados Ingenieros Consultores Ltda.

Fecha de Edición: Diciembre 2.001

MANUAL DE DISEÑO DE CARRETERAS DE PERÚ – DG-2001

República del Perú. Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción

Fecha de Edición: Marzo 2.001

MANUAL CENTROAMERICANO DE NORMAS PARA CARRETERAS REGIONALES

SIECA - Secretaría de Integración Económica Centroamericana

Proyecto USAID N° 596-0181.20 - Consultor: Raúl Leclair

Fecha de Edición: Febrero 2.001

ROADS DESIGN GUIDE LINES OF SOUTHERN AFRICA

Southern African Development Community (SADC) - BOTSWANA

ISBN 99912-0-456-3

Edición: Julio 2.003

MANUAL DE CARRETERAS DE HONDURAS – SOPTRAVI

República de Honduras. Secretaria de Estado en los Despachos de Obras Públicas, Transporte y Vivienda. Dirección General de Carreteras.

Fecha de Edición: Diciembre 1.996

Además, la revisión de las normas e investigaciones nacionales e internacionales siguientes:

- **AASHTO**, *Standard Specifications for transportation materials and method of sampling and testing.*
- **AASHTO**, *Road test Report and pavement Research -1992.*
- **ASTM** – *American Society for Testing and Materials, Standard Specifications and Practice for Soils and Aggregates – 1999.*
- *Especificaciones Técnicas para la Construcción de Pavimentos de Larga Duración en el Chaco Paraguayo.-Texas Transportación Institute (TTI), Universidad Católica de Asunción (UCA), Universidad Nacional de Asunción (UNA), -USTDA, BID, 2008.-*
- *Federal Highway Administration, 1994, SUPERPAVE, Binder Test Methods and Illustrated Overview, DP 101, USA.*
- *Guías para la Construcción de Pavimentos de Larga Duración en el Chaco Paraguayo.-Texas Transportation Institute (TTI), Universidad Católica de Asunción (UCA), Universidad Nacional de Asunción (UNA), -USTDA, BID, 2005.-*
- *Hardin, C, 1995, Physical Properties of Asphalt Cement Binders, ASTM Publications, USA.*

- *INTN – Instituto Nacional de Tecnología y Normalización, Departamento de Ensayos en Materiales de Construcción.*
- *Manual de Tierras – Earths Manual – Bureau of Reclamation – US Department of Interior, Second Edition -1974.-*
- *Normas Provisorias de Proyectos de Trazados de Caminos, Puentes y Obras de Arte, MOPC-DGV, - Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones-Dirección General de Vialidad (1960).*
- *Norma Argentina IRAM 50002*

También los textos de consulta siguientes:

- *Anderson, J. (1975). Asphalt Emulsions in Paving Mixes: Open graded and Dense graded. (s/e). Asphalt Emulsion L Association.*
- *Ban, S. Y Hardin, J (1978). The Properties of Asphalt Emulsion Residue. (s/e). Atlanta: The Asphalt Institute, College Park, Maryland.*
- *Coyne, L y Ripple, R. (1975). Emulsified Asphalt Mix Design and Construction. (s/e). Washington, D.C: Transportation Research Board Meeting.*
- *Dybalski, J. (1975). Asphalt Emulsions.(s/e). Iowa: Iowa Asphalt Paving Conference.*
- *Epps, J y otros (1977). Use of Asphalt Emulsions in Pavement Recycling.(s/e). Phoenix: Asphalt Emulsion Manufacturers Association.*
- *Espinal, R.(1995). Emulsiones Asfálticas. Su control en obras y aplicaciones. s/e. Falcón: s/e.*
- *Ferm, R y Borgfeldt M (S/F). Cationic Mixing Grade Emulsions. (s/e). U.S.A: Highway Reserch Board.*

- *Fernández M, Hormigón, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puentes, colección Escuelas cuarta edición, (Enero 1996).*
- *German, A y otros (1993). Un Manual Básico de Emulsiones Asfálticas. (1era edición). Colombia: s/e.*
- *Herminirs R. L. Mecánica de Suelos y Dimensionamiento de Firmes – 1968.-*
- *Huffman, J. (1975). Emulsified Asphalt in Paving and Maintenance. (s/e).*
- *Nardelli, Dante Néstor, “Control de Calidad en la ejecución de terraplenes”, Obra Juan de Mena – Ruta 3, (2005).*
- *Neville, A., Properties of Concrete, John Wiley & sons, Fourth Edition, (1996).*
- *Toronto: Canadian Technical Asphalt Association.*
- *Kari, W. (1975). Emulsified Asphalt: Properties and uses. (s/e). U.S.A: Chevron Asphalt Company.*
- *Kennedy, D. (S/F). Emulsion Basics – Mixes. (s/e). Washington, D.C: Asphalt Emulsion Manufacturers Association.*
- *Ramos, N. (1954). Emulsiones Asfálticas. s/e. México: California Standard Oil Company de México.*
- *Rivera, G. (1987). Emulsiones Asfálticas (3era edición). México: Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A.*
- *The Asphalt Institute. College Park Maryland, (1976); Emulsified Asphalt Bases.*
- *The Asphalt Institute. College Park. Maryland, (1975); Typical Uses of Emulsified Asphalt.*

- *The Asphalt Institute; The Asphalt Handbook, Manual Series N° 19 (MS-19), U.S.A*
- *Transportation Research Board. National Cooperative Highway Research Program; Bituminous Emulsions For Highway Pavements, Synthesis of Highway Practice Report N°. 30, Washington, D.C.*
- *Valle Rodas, Raúl – Carreteras Calles y Aeropistas, Sexta Edición (1976).*







TETÁ REMBIAPO
HA MARANDU
Motenondeha
Ministerio
OBRAS PÚBLICAS
Y COMUNICACIONES

**GOBIERNO
NACIONAL**

*Paraguay
de la gente*

Manual de Carreteras del Paraguay



UNIDAD

6

ENSAYOS DE MATERIALES
PARA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

Volumen 6.3 - Ensayos de Hormigón



Revisión 2019

UNIDAD 6 VOLUMEN 6.3
Ensayos de Hormigón

INDICE

GLOSARIO	1232
CAPITULO 6.3.1. ÁRIDOS COMPONENTES DEL HORMIGÓN	1244
SECCION 6.3.1.1. MÉTODO PARA EXTRAER Y PREPARAR MUESTRAS (ASTM C 75 AASHTO T2).....	1245
6.3.1.1.1. OBJETO	1245
6.3.1.1.2. DEFINICIONES	1245
6.3.1.1.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1245
6.3.1.1.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	1245
6.3.1.1.5. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS PARA RECONOCIMIENTO DE YACIMIENTOS	1246
6.3.1.1.6. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DE PRODUCCIÓN	1247
6.3.1.1.7. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DE OBRA	1247
6.3.1.1.8. PREPARACIÓN DE MUESTRAS	1248
6.3.1.1.9. REGISTRO	1248
SECCION 6.3.1.2. MÉTODO PARA EL CUARTEO DE MUESTRAS (ASTM C 702 AASHTO T248)	1250
6.3.1.2.1. OBJETO	1250
6.3.1.2.2. PROCEDIMIENTO MANUAL	1250
6.3.1.2.3. PROCEDIMIENTO CON CUARTEADOR METÁLICO O MECÁNICO	1251
SECCION 6.3.1.3. MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE PARTÍCULAS DESMENUZABLES (ASTM C 142 AASHTO T112).....	1253
6.3.1.3.1. OBJETO	1253
6.3.1.3.2. DEFINICIONES	1253
6.3.1.3.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1253
6.3.1.3.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	1253
6.3.1.3.5. PROCEDIMIENTO	1254
6.3.1.3.6. CÁLCULOS	1255
6.3.1.3.7. INFORME	1256
SECCION 6.3.1.4. MÉTODO PARA TAMIZAR Y DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA (ASTM C 136 AASHTO T27).....	1257
6.3.1.4.1. OBJETO	1257
6.3.1.4.2. DEFINICIONES	1257
6.3.1.4.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1257
6.3.1.4.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	1258
6.3.1.4.5. PROCEDIMIENTO	1260
6.3.1.4.6. CÁLCULOS	1261
6.3.1.4.7. EXPRESIÓN GRÁFICA	1261
SECCION 6.3.1.5. CONTENIDO APROXIMADO DE MATERIA ORGÁNICA EN ARENAS USADAS EN LA PREPARACIÓN DE MORTEROS Y HORMIGONES (ASTM C 40 AASHTO T21)	1262
6.3.1.5.1. OBJETO	1262
6.3.1.5.2. DEFINICIONES	1262
6.3.1.5.3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....	1262
6.3.1.5.4. REACTIVOS	1262
6.3.1.5.5. PROCEDIMIENTO	1263

SECCION 6.3.1.6. MÉTODO PARA DETERMINAR EL MATERIAL FINO MENOR QUE 0,075 MM (ASTM C 117 AASHTO T11)	1264
6.3.1.6.1. OBJETO	1264
6.3.1.6.2. EQUIPOS Y MATERIALES	1264
6.3.1.6.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	1264
6.3.1.6.4. PROCEDIMIENTO	1265
6.3.1.6.5. CÁLCULOS	1265
6.3.1.6.6. INFORME	1266
SECCION 6.3.1.7. CONTENIDO TOTAL DE AGUA DE LOS ÁRIDOS PORSECADO (ASTM C 566)	1267
6.3.1.7.1. OBJETO	1267
6.3.1.7.2. USO Y SIGNIFICADO	1267
6.3.1.7.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1267
6.3.1.7.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	1267
6.3.1.7.5. PROCEDIMIENTO	1268
6.3.1.7.6. CÁLCULOS	1268
6.3.1.7.7. PRECISIÓN Y EXACTITUD	1269
SECCION 6.3.1.8. MÉTODOS PARA DETERMINAR LA DENSIDAD APARENTE (ASTM E 30 ASTM C 29)	1270
6.3.1.8.1. OBJETO	1270
6.3.1.8.2. DEFINICIONES	1270
6.3.1.8.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1270
6.3.1.8.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	1271
6.3.1.8.5. PROCEDIMIENTO	1272
6.3.1.8.6. CÁLCULOS	1273
6.3.1.8.7. INFORME	1274
SECCION 6.3.1.9. MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL, LA DENSIDAD NETA Y LA ABSORCIÓN DE AGUA EN ÁRIDOS GRUESOS (ASTM C 127 AASHTO T85)	1276
6.3.1.9.1. OBJETO	1276
6.3.1.9.2. DEFINICIONES	1276
6.3.1.9.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1277
6.3.1.9.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS	1277
6.3.1.9.5. PROCEDIMIENTO	1278
6.3.1.9.6. CÁLCULOS	1279
6.3.1.9.7. PRECISIÓN	1279
6.3.1.9.8. INFORME	1280
SECCION 6.3.1.10. MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL, LA DENSIDAD NETA Y LA ABSORCIÓN DE AGUA EN ÁRIDOS FINOS (ASTM C 128 AASHTO T84)	1281
6.3.1.10.1. OBJETO	1281
6.3.1.10.2. DEFINICIONES	1281
6.3.1.10.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1282
6.3.1.10.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	1282
6.3.1.10.5. PROCEDIMIENTO	1283
6.3.1.10.6. CÁLCULOS	1284
6.3.1.10.7. PRECISIÓN	1285
6.3.1.10.8. INFORME	1286
SECCION 6.3.1.11. MÉTODO PARA DETERMINACIÓN DEL DESGASTE MEDIANTE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (ASTM C 131 AASHTO T96)	1287
6.3.1.11.1. OBJETO	1287
6.3.1.11.2. EQUIPOS Y MATERIALES	1287
6.3.1.11.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	1288
6.3.1.11.4. PROCEDIMIENTO	1288

6.3.1.11.5. CÁLCULOS	1289
6.3.1.11.6. INFORME	1289
SECCION 6.3.1.12. MÉTODO PARA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE TRITURACIÓN (BS-812-75)	1292
6.3.1.12.1. INTRODUCCIÓN	1292
6.3.1.12.2. ÍNDICE DE TRITURACIÓN DE LOS ÁRIDOS GRUESOS	1292
6.3.1.12.3. ÍNDICE DE TRITURACIÓN DE LOS ÁRIDOS FINOS	1293
6.3.1.12.4. CÁLCULOS	1294
SECCION 6.3.1.13. MÉTODO PARA DETERMINAR EL EQUIVALENTE DE ARENA (ASTM D2419)	1296
6.3.1.13.1. OBJETO	1296
6.3.1.13.2. DEFINICIONES	1296
6.3.1.13.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1296
6.3.1.13.4. REACTIVOS	1297
6.3.1.13.5. CONDICIONES GENERALES	1297
6.3.1.13.6. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	1298
6.3.1.13.7. PROCEDIMIENTO	1298
6.3.1.13.8. CÁLCULOS	1299
6.3.1.13.9. PRECISIÓN	1300
6.3.1.13.10. INFORME	1300
SECCION 6.3.1.14. MÉTODO DE LOS SULFATOS PARA DETERMINAR LA DESINTEGRACIÓN (ASTM C 88 AASHTO T104)	1302
6.3.1.14.1. OBJETO	1302
6.3.1.14.2. EQUIPOS Y MATERIALES	1302
6.3.1.14.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	1303
6.3.1.14.4. CICLOS DE INMERSIÓN Y SECADO	1305
6.3.1.14.5. CÁLCULOS	1306
6.3.1.14.6. INFORME	1307
SECCION 6.3.1.15. CANTIDAD DE PARTÍCULAS LIVIANAS EN LOS ÁRIDOS (ASTM C 123 AASHTO T113)	1308
6.3.1.15.1. OBJETO	1308
6.3.1.15.2. EQUIPO.....	1308
6.3.1.15.3. PREPARACION DE LA MUESTRA	1309
6.3.1.15.4. PROCEDIMIENTO	1309
6.3.1.15.5. CÁLCULOS	1310
6.3.1.15.6. PRECAUCIONES	1310
6.3.1.15.7. INFORME	1310
SECCION 6.3.1.16. HUMEDAD SUPERFICIAL EN ÁRIDOS FINOS (ASTM C 70 AASHTO T142)	1311
6.3.1.16.1. OBJETO	1311
6.3.1.16.2. USO Y SIGNIFICADO	1311
6.3.1.16.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1311
6.3.1.16.4. PREPARACION DE LA MUESTRA	1311
6.3.1.16.5. PROCEDIMIENTO	1311
6.3.1.16.6. CÁLCULOS.....	1312
SECCION 6.3.1.17. ÍNDICE DE DURABILIDAD DE ÁRIDOS (ASTM D 3744 AASHTO T210)	1314
6.3.1.17.1. OBJETO	1314
6.3.1.17.2. USO Y SIGNIFICADO	1314
6.3.1.17.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1314
6.3.1.17.4. MATERIALES Y REACTIVOS	1315

6.3.1.17.5. CONTROL DE TEMPERATURA	1315
6.3.1.17.6. MUESTREO	1315
6.3.1.17.7. PREPARACION INICIAL DE LA MUESTRA.....	1315
6.3.1.17.8. PROCEDIMIENTO A - ÁRIDO GRUESO	1316
6.3.1.17.9. PROCEDIMIENTO B - ÁRIDO FINO	1319
6.3.1.17.10. PROCEDIMIENTO C - ÁRIDOS MUY FINOS PARA SER ENSAYADOS COMO ÁRIDOS GRUESOS Y MUY GRUESOS PARA SER ENSAYADOS COMO ÁRIDOS FINOS	1320
6.3.1.17.11. CÁLCULOS.....	1321
6.3.1.17.12. PRECAUCIONES	1322
6.3.1.17.13. INFORME	1322
6.3.1.17.14. PRECISIÓN	1322
SECCION 6.3.1.18. PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS ÁRIDOS (D 5821 NTL358).....	1324
6.3.1.18.1. OBJETO	1324
6.3.1.18.2. EQUIPOS Y MATERIALES	1324
6.3.1.18.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....	1324
6.3.1.18.4. PROCEDIMIENTO	1324
6.3.1.18.5. CÁLCULOS.....	1325
SECCION 6.3.1.19. COEFICIENTE DE FRIABILIDAD DE LOS ÁRIDOS (UNE 83115)	1327
6.3.1.19.1. OBJETO	1327
6.3.1.19.2. EQUIPOS Y MATERIALES	1327
6.3.1.19.3. PREPARACION DE LA MUESTRA	1328
6.3.1.19.4. PROCEDIMIENTO	1328
6.3.1.19.5. CÁLCULOS.....	1330
SECCION 6.3.1.20. MÉTODO PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE VOLUMÉTRICO MEDIO DE LOS ÁRIDOS GRUESOS	1331
6.3.1.20.1. OBJETO	1331
6.3.1.20.2. DEFINICIONES	1331
6.3.1.20.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1331
6.3.1.20.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....	1331
6.3.1.20.5. PROCEDIMIENTO	1332
6.3.1.20.6. CÁLCULOS	1333
6.3.1.20.7. PRECISIÓN	1333
6.3.1.20.8. INFORME	1333
SECCION 6.3.1.21. ÍNDICE DE APLANAMIENTO Y DE ALARGAMIENTO DE LOS ÁRIDOS PARA CARRETERAS (NTL 354).....	1335
6.3.1.21.1. OBJETO	1335
6.3.1.21.2. EQUIPO.....	1335
6.3.1.21.3. PREPARACION DE LA MUESTRA	1335
6.3.1.21.4. PROCEDIMIENTO	1336
6.3.1.21.5. CÁLCULOS.....	1337
6.3.1.21.6. INFORME	1337
SECCION 6.3.1.22. ÍNDICE DE FORMA Y DE TEXTURA DE LAS PARTÍCULAS DE ÁRIDO (ASTM D 3398).....	1340
6.3.1.22.1. OBJETO	1340
6.3.1.22.2. USO Y SIGNIFICADO	1340
6.3.1.22.3. EQUIPOS	1340
6.3.1.22.4. CALIBRACIÓN DEL MOLDE	1340
6.3.1.22.5. TOMA DE MUESTRAS	1341
6.3.1.22.6. ESPECÍMENES DE ENSAYO	1341
6.3.1.22.7. PORCENTAJE DE VACIOS	1342
6.3.1.22.8. ÍNDICE DE PARTICULAS.....	1343

SECCION 6.3.1.23. MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE CLORUROS Y SULFATOS (ASTM D 1411).....	1345
6.3.1.23.1. OBJETO	1345
6.3.1.23.2. EQUIPOS Y MATERIALES	1345
6.3.1.23.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	1346
6.3.1.23.4. DETERMINACIONES.....	1347
6.3.1.23.5. INFORME.	1349

SECCION 6.3.1.24. DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE LOS COMPUESTOS DE AZUFRE EN LOS ÁRIDOS (UNE 83211).....	1350
6.3.1.24.1. OBJETO	1350
6.3.1.24.2. FUNDAMENTOS DEL MÉTODO	1350
6.3.1.24.3. PREPARACION DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO	1350
6.3.1.24.4. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LOS COMPUESTOS DE AZUFRE TOTALES	1351
6.3.1.24.5. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE COMPUESTOS DE AZUFRE EN ESTADO DE SULFATOS	1355
6.3.1.24.6. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SULFUROS TOTALES	1356

SECCION 6.3.1.25. DETERMINACIÓN DE LA REACTIVIDAD ÁRIDO/ ÁLCALI (MÉTODO QUÍMICO) (ASTM C 289)	1357
6.3.1.25.1. OBJETO	1357
6.3.1.25.2. EQUIPOS Y MATERIALES	1357
6.3.1.25.3. PROCEDIMIENTO	1357
6.3.1.25.4. OBTENCIÓN Y PRECISIÓN DE LOS RESULTADOS	1359

SECCION 6.3.1.26. VALORACIÓN DE ELEMENTOS ARCILLOSOS EN LOS MATERIALES FINOS POR MEDIO DEL AZUL DE METILENO (NTL 171)	1361
6.3.1.26.1. OBJETO	1361
6.3.1.26.2. EQUIPOS Y MATERIALES	1361
6.3.1.26.3. PROCEDIMIENTO	1362
6.3.1.26.4. ESCALA DE COLORES	1363
6.3.1.26.5. CÁLCULOS	1363
6.3.1.26.6. PRECISIÓN	1364

CAPITULO 6.3.2. ENSAYOS EN CEMENTOS Y MORTEROS 1365

SECCION 6.3.2.1. MUESTREO Y ACEPTACIÓN DEL CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C 183 AASHTO T127).....	1366
6.3.2.1.1.OBJETO	1366
6.3.2.1.2. DEFINICIONES	1366
6.3.2.1.3. TOMA DE MUESTRAS	1367

SECCION 6.3.2.2. FINURA DEL CEMENTO PORTLAND MÉTODO DEL APARATO BLAINE (ASTM C 204 AASHTO T153)	1372
6.3.2.2.1. EQUIPO Y MATERIALES.....	1372
6.3.2.2.2. CALIBRACIÓN DEL APARATO	1373
6.3.2.2.3. PROCEDIMIENTO.....	1376
6.3.2.2.4. CÁLCULOS.....	1376
6.3.2.2.5. INFORME.....	1377
6.3.2.2.6. PRECISIÓN	1378

SECCION 6.3.2.3. FINURA DEL CEMENTO PÓRTLAND MÉTODO DEL TURBIDÍMETRO (ASTM C 115 AASHTO T98).....	1380
6.3.2.3.1. OBJETO	1380
6.3.2.3.2. EQUIPO Y MATERIALES.....	1380

6.3.2.3.3. CALIBRACIÓN DEL TURBIDÍMETRO	1383
6.3.2.3.4. MUESTRA DE ENSAYO.....	1385
6.3.2.3.5. PROCEDIMIENTO	1385
6.3.2.3.6. CÁLCULOS.....	1386
6.3.2.3.7. PRECISIÓN	1388
6.3.2.3.8. APÉNDICE - INDICACIONES COMPLEMENTARIAS	1388
SECCION 6.3.2.4. EXPANSIÓN DEL CEMENTO EN EL AUTOCLAVE (ASTMC 151 AASHTO T107)	1391
6.3.2.4.1. OBJETO	1391
6.3.2.4.2. EQUIPO Y MATERIALES.....	1391
6.3.2.4.3. CONDICIONES GENERALES	1393
6.3.2.4.4. PRECAUCIONES DE SEGURIDAD	1393
6.3.2.4.5. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	1393
6.3.2.4.6. PROCEDIMIENTO.....	1394
6.3.2.4.7. CÁLCULOS.....	1395
6.3.2.4.8. PRECISIÓN	1395
SECCION 6.3.2.5. TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO HIDRÁULICO MÉTODO DEL APARATO DE VICAT (ASTM C 191 AASHTO T131)	1396
6.3.2.5.1. OBJETO	1396
6.3.2.5.2. EQUIPO Y MATERIALES.....	1396
6.3.2.5.3. CONDICIONES AMBIENTALES	1397
6.3.2.5.4. PREPARACIÓN DE LA PASTA DE CEMENTO	1397
6.3.2.5.5. PROCEDIMIENTO.....	1397
6.3.2.5.6. PRECAUCIONES	1398
SECCION 6.3.2.6. TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO HIDRÁULICO MÉTODO DE LAS AGUJAS DE GILLMORE (ASTM C 266 AASHTO T154).....	1399
6.3.2.6.1. OBJETO	1399
6.3.2.6.2. EQUIPO Y MATERIALES.....	1399
6.3.2.6.3. CONDICIONES AMBIENTALES	1399
6.3.2.6.4. PROCEDIMIENTO	1400
6.3.2.6.5. PRECAUCIONES	1400
SECCION 6.3.2.7. PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO HIDRÁULICO (ASTMC 188 AASHTO T133)	1402
6.3.2.7.1. OBJETO	1402
6.3.2.7.2. EQUIPO Y MATERIALES.....	1402
6.3.2.7.3. PROCEDIMIENTO.....	1402
6.3.2.7.4. CÁLCULOS.....	1403
6.3.2.7.5. PRECISIÓN	1403
SECCION 6.3.2.8. FALSO FRAGUADO DEL CEMENTO PORTLAND MÉTODO DE LA PASTA (ASTM C 451AASHTO T186)	1404
6.3.2.8.1. OBJETO	1404
6.3.2.8.2. DEFINICIONES	1404
6.3.2.8.3. USO Y SIGNIFICADO	1404
6.3.2.8.4. EQUIPO Y MATERIALES.....	1405
6.3.2.8.5. CONDICIONES GENERALES.....	1405
6.3.2.8.6. PROCEDIMIENTO.....	1405
6.3.2.8.7. CÁLCULOS E INFORME.....	1407
SECCION 6.3.2.9. CALOR DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C 186).....	1408
6.3.2.9.1. OBJETO	1408
6.3.2.9.2. DEFINICIONES	1408

6.3.2.9.3. EQUIPO.....	1408
6.3.2.9.4. REACTIVOS	1410
6.3.2.9.5. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD CALORÍFICA DEL SISTEMA	1410
6.3.2.9.6. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CALOR DE HIDRATACIÓN ...	1412
6.3.2.9.7. CÁLCULOS.....	1413
6.3.2.9.8. REENSAYOS.....	1414
6.3.2.9.9. PRECISIÓN	1415
SECCION 6.3.2.10. CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO (ASTM C 187AASHTO T129)	1416
6.3.2.10.1. OBJETO	1416
6.3.2.10.2. EQUIPO.....	1416
6.3.2.10.3. CONDICIONES AMBIENTALES	1417
6.3.2.10.4. PROCEDIMIENTO.....	1417
6.3.2.10.5. CÁLCULOS.....	1417
6.3.2.10.6. PRECISIÓN	1418
SECCION 6.3.2.11. MEZCLA MECÁNICA DE PASTAS DE CEMENTO HIDRÁULICO Y MORTEROS DE CONSISTENCIA PLÁSTICA (ASTM C 305 AASHTO T162)	1419
6.3.2.11.1. OBJETO	1419
6.3.2.11.2. EQUIPO.....	1419
6.3.2.11.3. TEMPERATURA Y HUMEDAD	1420
6.3.2.11.4. MATERIALES	1420
6.3.2.11.5. PROCEDIMIENTO.....	1420
6.3.2.11.6. ADVERTENCIA	1421
SECCION 6.3.2.12. EXUDACIÓN DE PASTAS Y MORTEROS DE CEMENTO (ASTM C 243)	1422
6.3.2.12.1. OBJETO	1422
6.3.2.12.2. EQUIPOS.....	1422
6.3.2.12.3. CONDICIONES AMBIENTALES	1423
6.3.2.12.4. ENSAYO SOBRE PASTAS.....	1423
6.3.2.12.5. ENSAYO SOBRE MORTEROS	1424
6.3.2.12.6. CÁLCULOS.....	1424
6.3.2.12.7. INFORME	1425
6.3.2.12.8. PRECAUCIÓN	1425
SECCION 6.3.2.13. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C 109)	1426
6.3.2.13.1. OBJETO	1426
6.3.2.13.2. EQUIPO.....	1426
6.3.2.13.3. MATERIALES - ARENA	1427
6.3.2.13.4. CONDICIONES DE ENSAYO	1427
6.3.2.13.5. PROCEDIMIENTO.....	1428
6.3.2.13.6. CÁLCULOS E INFORME.....	1429
SECCION 6.3.2.14. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C 348)	1430
6.3.2.14.1. OBJETO	1430
6.3.2.14.2. EQUIPO.....	1430
6.3.2.14.3. MUESTRAS.....	1431
6.3.2.14.4. PREPARACIÓN Y LLENADO DE LOS MOLDES	1431
6.3.2.14.5. ENSAYO.....	1432
6.3.2.14.6. CÁLCULOS.....	1432

SECCION 6.3.2.15 FLUIDEZ DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C 230 AASHTO M152)	1436
6.3.2.15.1.OBJETO	1436
6.3.2.15.2. EQUIPO.....	1436
6.3.2.15.3. PROCEDIMIENTO.....	1437
SECCION 6.3.2.16. CONTRACCIÓN POR SECADO DE MORTEROS DE CEMENTO PÓRTLAND (ASTM C 596)	1440
6.3.2.16.1. OBJETO	1440
6.3.2.16.2. DEFINICIÓN	1440
6.3.2.16.3. USO Y SIGNIFICADO	1440
6.3.2.16.4. EQUIPO.....	1440
6.3.2.16.5. TEMPERATURA Y HUMEDAD	1441
6.3.2.16.6. TOMA DE MUESTRAS	1441
6.3.2.16.7. PREPARACIÓN DE LOS ESPECIMENES DE ENSAYO	1441
6.3.2.16.8. PROCEDIMIENTO.....	1442
6.3.2.16.9. CÁLCULOS.....	1442
6.3.2.16.10. PRECISIÓN	1443
SECCION 6.3.2.17. RESISTENCIA A LA TENSIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C 190 AASHTO T132)	1444
6.3.2.17.1. OBJETO	1444
6.3.2.17.2. EQUIPO Y MATERIALES.....	1444
6.3.2.17.3. CONDICIONES AMBIENTALES	1445
6.3.2.17.4. MUESTRAS PARA ENSAYO.....	1445
6.3.2.17.5. PROCEDIMIENTO.....	1446
6.3.2.17.6. ENSAYO.....	1447
6.3.2.17.7. CÁLCULOS.....	1447
SECCION 6.3.2.18. CONTENIDO DE AIRE EN MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C 185 AASHTO T137).....	1449
6.3.2.18.1. OBJETO	1449
6.3.2.18.2. CONDICIONES GENERALES.....	1449
6.3.2.18.3. EQUIPOS Y MATERIALES.....	1449
6.3.2.18.4. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	1450
6.3.2.18.5. PROCEDIMIENTO.....	1451
6.3.2.18.6. CÁLCULOS.....	1452
6.3.2.18.7. INFORME.....	1452
6.3.2.18.8. PRECISIÓN Y TOLERANCIAS	1452
SECCION 6.3.2.19. EXPANSIÓN POTENCIAL DE MORTEROS DE CEMENTO PORTLAND EXPUESTOS A LA ACCIÓN DE SULFATOS (ASTM C452)	1453
6.3.2.19.1. OBJETO	1453
6.3.2.19.2. EQUIPO.....	1453
6.3.2.19.3. MATERIALES	1453
6.3.2.19.4. TEMPERATURA Y HUMEDAD	1454
6.3.2.19.5. NÚMERO Y DIMENSIONES DE LOS ESPECÍMENES DE ENSAYO	1454
6.3.2.19.6. PREPARACIÓN DE LOS MOLDES.....	1454
6.3.2.19.7. PROPORCIONES, CONSISTENCIA Y MEZCLA DEL MORTERO	1455
6.3.2.19.8. LLENADO DE MOLDES	1455
6.3.2.19.9. ALMACENAMIENTO DE LOS ESPECÍMENES DE ENSAYO	1455
6.3.2.19.10. MEDIDA DE LONGITUD.....	1455
6.3.2.19.11. CÁLCULOS.....	1456
6.3.2.19.12. PRECISIÓN	1456

CAPITULO 6.3.3. ENSAYOS DEL HORMIGÓN 1457

SECCION 6.3.3.1. MÉTODO PARA EXTRAER MUESTRAS DEL HORMIGÓN FRESCO (ASTM C 172 AASHTO T141).....	1458
6.3.3.1.1. OBJETO	1458
6.3.3.1.2. DEFINICIONES	1458
6.3.3.1.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1458
6.3.3.1.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRAS	1459
6.3.3.1.5. PROCEDIMIENTO	1460
SECCION 6.3.3.2. ELABORACIÓN Y CURADO EN EL LABORATORIO DE MUESTRAS DE HORMIGÓN PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN Y FLEXIÓN (ASTM 192 AASHTO T126).....	1461
6.3.3.2.1. OBJETO	1461
6.3.3.2.2. DEFINICIONES	1461
6.3.3.2.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1461
6.3.3.2.4. CONDICIONES GENERALES	1462
6.3.3.2.5. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA PROBETAS	1465
6.3.3.2.6. PROCEDIMIENTO	1465
6.3.3.2.7. CURADO	1469
6.3.3.2.8. INFORME	1469
SECCION 6.3.3.3. MÉTODO PARA REFRENTAR PROBETAS (ASTM 617 AASHTO T231).....	1470
6.3.3.3.1. OBJETO	1470
6.3.3.3.2. DEFINICIONES	1470
6.3.3.3.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1470
6.3.3.3.4. CONDICIONES GENERALES	1471
6.3.3.3.5. PROCEDIMIENTO	1472
SECCION 6.3.3.4. MÉTODO PARA DETERMINAR LA DOCILIDAD MEDIANTE EL CONO DE ABRAMS (ASTM C 143 AASHTO T119).....	1477
6.3.3.4.1. OBJETO	1477
6.3.3.4.2. DEFINICIONES	1477
6.3.3.4.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1477
6.3.3.4.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS	1478
6.3.3.4.5. CÁLCULOS.....	1479
6.3.3.4.6. INFORME	1479
SECCION 6.3.3.5. MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD APARENTE, EL RENDIMIENTO Y LOS CONTENIDOS DE CEMENTO Y AIRE EN EL HORMIGÓN FRESCO (ASTM C 138 AASHTO T121).....	1483
6.3.3.5.1. OBJETO	1483
6.3.3.5.2. DEFINICIONES	1483
6.3.3.5.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1483
6.3.3.5.4. PROCEDIMIENTO	1484
6.3.3.5.5. CÁLCULOS	1486
6.3.3.5.6. INFORME	1489
SECCION 6.3.3.6. TIEMPO DE FLUJO DEL HORMIGÓN A TRAVÉS DEL CONO DE ASENTAMIENTO INVERTIDO (ASTM C 1611).....	1490
6.3.3.6.1. ALCANCE	1490
6.3.3.6.2. PROCESOS DEL ENSAYO	1490
6.3.3.6.3. SIGNIFICADO Y USO	1490
6.3.3.6.4. EQUIPOS Y MATERIALES	1490
6.3.3.6.5. MUESTRA	1491
6.3.3.6.6. PROCEDIMIENTO	1491
6.3.3.6.7. CÁLCULO.....	1492
6.3.3.6.8. PRECISIÓN	1492

6.3.3.6.9. INFORMES	1493
SECCION 6.3.3.7. MÉTODO DE ENSAYO A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CÚBICAS Y CILÍNDRICAS (ASTM C 39 AASHTO T22).....	1496
6.3.3.7.1. OBJETO	1496
6.3.3.7.2. EQUIPOS Y MATERIALES	1496
6.3.3.7.3. PROCEDIMIENTO	1497
6.3.3.7.4. CÁLCULOS.....	1498
6.3.3.7.5. INFORME	1499
SECCION 6.3.3.8. ENSAYO ACELERADO PARA LA PREDICCIÓN DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN (ASTM C 1073)	1501
6.3.3.8.1. OBJETO	1501
6.3.3.8.2. DEFINICIONES.....	1501
6.3.3.8.3. EQUIPO Y MATERIALES	1502
6.3.3.8.4. PROCEDIMIENTOS	1503
6.3.3.8.5. CÁLCULOS.....	1503
6.3.3.8.6. PRECISIÓN	1504
6.3.3.8.7. INFORME	1505
SECCION 6.3.3.9. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN USANDO UNA PORCIÓN DE VIGA ROTA EN EL ENSAYO DE FLEXIÓN (ASTM C 116 AASHTO T40)	1506
6.3.3.9.1. OBJETO	1506
6.3.3.9.2. DEFINICIONES.....	1506
6.3.3.9.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1506
6.3.3.9.4. CONDICIONES GENERALES	1506
6.3.3.9.5. PROCEDIMIENTO	1507
6.3.3.9.6. CALCULOS	1507
6.3.3.9.7. INFORME	1507
SECCION 6.3.3.10. MÉTODO DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCION DE PROBETAS PRISMÁTICAS (ASTM C 78 Y C293 AASHTO T97 Y T77).....	1509
6.3.3.10.1. OBJETO	1509
6.3.3.10.2. EQUIPOS Y MATERIALES	1509
6.3.3.10.3. PROCEDIMIENTO.....	1510
6.3.3.10.4. CÁLCULOS.....	1511
6.3.3.10.5. INFORME	1512
SECCION 6.3.3.11. MÉTODO DE ENSAYO A LA TRACCIÓN POR HENDIMIENTO DE PROBETAS CILÍNDRICAS (ASTM C 496)	1515
6.3.3.11.1. OBJETO	1515
6.3.3.11.2. EQUIPOS Y MATERIALES	1515
6.3.3.11.3. PROCEDIMIENTO	1515
6.3.3.11.4. CÁLCULOS	1516
6.3.3.11.5. INFORME	1517
SECCION 6.3.3.12. FLUENCIA DEL HORMIGÓN A LA COMPRESIÓN (ASTM C 512)	1520
6.3.3.12.1. OBJETO	1520
6.3.3.12.2. DEFINICIONES.....	1520
6.3.3.12.3. EQUIPOS Y MATERIALES	1521
6.3.3.12.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	1521
6.3.3.12.5. PROCEDIMIENTO	1523
6.3.3.12.6. CÁLCULOS.....	1523
6.3.3.12.7. INFORME	1524

SECCION 6.3.3.13. CALIDAD DEL AGUA PARA HORMIGONES (AASHTO T26)	1525
6.3.3.13.1. OBJETO	1525
6.3.3.13.2. ACIDEZ Y ALCALINIDAD	1525
6.3.3.13.3. SÓLIDOS TOTALES Y MATERIA ORGÁNICA	1526
SECCION 6.3.3.14. TOMA DE NÚCLEOS Y VIGAS EN HORMIGONES ENDURECIDOS (ASTM C 42 AASHTO T24)	1527
6.3.3.14.1. OBJETO	1527
6.3.3.14.2. EQUIPO Y MATERIALES	1527
6.3.3.14.3. CONDICIONES GENERALES	1527
6.3.3.14.4. NÚCLEOS	1528
6.3.3.14.5. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA	1530
6.3.3.14.6. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	1531
6.3.3.14.7. INFORME	1532
SECCION 6.3.3.15. MEDIDA DE LA LONGITUD DE NÚCLEOS DE HORMIGÓN (ASTM C 174 AASHTO T148)	1533
6.3.3.15.1. OBJETO	1533
6.3.3.15.2. EQUIPOS Y MATERIALES	1533
6.3.3.15.3. PROCEDIMIENTO	1533
6.3.3.15.4. INFORME	1534
SECCION 6.3.3.16. ANEXO I	1535
SECCION 6.3.3.17. ANEXO II	1578
BIBLIOGRAFIA	1534

INDICE DE TABLAS

Tabla 6.3_1. Tamaño mínimo de la muestra de ensayo	1254
Tabla 6.3_2. Tamices para separar residuos	1255
Tabla 6.3_3. Serie de tamices escogidos	1257
Tabla 6.3_4. Tamaño de la muestra de ensayo del árido fino	1259
Tabla 6.3_5. Tamaño de la muestra de ensayo del árido grueso	1259
Tabla 6.3_6. Tamaño de la muestra de ensayo	1265
Tabla 6.3_7. Tamaño de muestras de áridos con peso normal	1268
Tabla 6.3_8. Dimensiones de las medidas	1271
Tabla 6.3_9. Cantidad mínima de muestra según tamaño máximo nominal del árido	1277
Tabla 6.3_10. Grados de ensayo (definidos por sus rangos de tamaño, en mm)	1290
Tabla 6.3_11. Cortes de las granulometrías	1292
Tabla 6.3_12. Tamaño de la muestra de ensayo de áridos finos	1303
Tabla 6.3_13. Áridos gruesos	1304
Tabla 6.3_14. Serie de tamices para examen cuantitativo	1306
Tabla 6.3_15. Peso específico de los compuestos de base para los reactivos del ensayo ...	1308
Tabla 6.3_16. Peso mínimo de la muestra de ensayo	1309
Tabla 6.3_17. Tamices requeridos para el ensayo	1328
Tabla 6.3_18. Moldes y pesos de la muestra para el ensayo	1328
Tabla 6.3_19. Tamaños de moldes	1329
Tabla 6.3_20. Tamaño mínimo de la muestra de ensayo	1332
Tabla 6.3_21. Dimensiones de los calibradores para espesor y longitud de tamices	1336
Tabla 6.3_22. Volumen específico del agua a diferentes temperaturas	1343
Tabla 6.3_23. Ejemplo de cálculo de un índice ponderado de las partículas de un árido ...	1344
Tabla 6.3_24. Tamaño mínimo de la muestra y aforo	1346
Tabla 6.3_25.	1350
Tabla 6.3_26. Número de muestras para ensayo	1370
Tabla 6.3_27. Peso específico del mercurio, viscosidad del aire (n) y v_n a algunas temperaturas	1378
Tabla 6.3_28. Porosidad de la capa de cemento	1378
Tabla 6.3_29. Valores de h, d y h/d^2 empleados en la calibración del turbidímetro	1382
Tabla 6.3_30. Dimensiones de la bureta	1383
Tabla 6.3_31. Ejemplo de anotación de datos	1387
Tabla 6.3_32. Ejemplo de cálculo de distribución del tamaño de partículas	1389
Tabla 6.3_33. Ejemplo de cálculo de distribución del tamaño de partículas	1389
Tabla 6.3_34. Molde doble	1395
Tabla 6.3_35. Tamices para normalización y gradación de arena	1427
Tabla 6.3_36. Orden de apisonado de las capas	1432
Tabla 6.3_37. Tolerancias	1432
Tabla 6.3_38. Porcentaje de agua para morteros estándar	1445
Tabla 6.3_39. Tolerancias	1447
Tabla 6.3_40. Granulometría para el yeso a ser usado	1453
Tabla 6.3_42. Número de capas requeridas en la elaboración de las muestras	1467
Tabla 6.3_43. Diámetro de varilla y número de golpes por capa	1468
Tabla 6.3_44. Dimensiones de las medidas volumétricas	1484
Tabla 6.3_45. Procedimiento para compactar en función del asentamiento	1485
Tabla 6.3_46. Valores de índice de estabilidad visual	1493

INDICE DE FIGURAS

Figura 6.3_1. Cuarteo de muestras	1251
Figura 6.3_2. Cuarteador	1252
Figura 6.3_3. Máquina de los ángeles	1291
Figura 6.3_4 Fig1. Cilindro de acero para áridos gruesos	1295
Figura 6.3_5. Fig1. Probeta graduada, fig2.Pisón, fig3. Sifón.	1301
Figura 6.3_6. Vaso mecánico de lavado.....	1323
Figura 6.3_7. Ejemplo de determinación del porcentaje de caras fracturadas de un agregado.....	1326
Figura 6.3_8. Dimensiones de los moldes de ensayo	1330
Figura 6.3_9. Calibrador de aplanamiento	1338
Figura 6.3_10. Calibrador de alargamiento	1339
Figura 6.3_11. Molde cilíndrico	1344
Figura 6.3_12. Sacamuestras rasurado	1370
Figura 6.3_13. Tubo sacamuestras	1371
Figura 6.3_14. Aparato blaine	1379
Figura 6.3_15. Turbidímetro	1390
Figura 6.3_16. Molde simple.	1395
Figura 6.3_17. Calzada de los moldes.....	1395
Figura 6.3_18. Hormigón sobre placa de vidrio.....	1400
Figura 6.3_19. Agujas de gillmore	1401
Figura 6.3_20. Frasco patrón de le chatelier	1403
Figura 6.3_21. Calorímetro.....	1415
Figura 6.3_22. Agitador	1415
Figura 6.3_23. Aparato de vicat.....	1418
Figura 6.3_24. Paleta mezcladora.....	1421
Figura 6.3_25. Recipiente de mezcla	1421
Figura 6.3_26. Compactador	1433
Figura 6.3_27. Guía de compactador	1433
Figura 6.3_28. Dispositivos especiales para ensayar prismas de morteros de 40 x 40 x 160 mm	1434
Figura 6.3_29. Dispositivos especiales para ensayar prismas de morteros de 40 x 40 x 160 mm	1435
Figura 6.3_30. Soporte	1438
Figura 6.3_31. Plataforma, leva y árbol.....	1439
Figura 6.3_32. Molde	1439
Figura 6.3_33. Calibrador	1439
Figura 6.3_34. Molde	1448
Figura 6.3_35. Agarraderas.....	1448
Figura 6.3_36. Muestras para ensayos	1448
Figura 6.3_37. Aparato para refrentar probetas.....	1475
Figura 6.3_38. Molde para determinar el asentamiento.....	1480
Figura 6.3_39. Desarrollo del molde – medida de asentamiento.....	1481
Figura 6.3_40. La masa de hormigón es homogénea y no hay evidencia de segregación ..	1494
Figura 6.3_41. El hormigón muestra algo de exudación como brillo en la superficie	1495
Figura 6.3_42. Evidencia de un halo de mortero y brillo de agua	1495
Figura 6.3_43. Concentración de árido grueso al centro de la masa de hormigón y presencia de un halo de mortero	1495
Figura 6.3_44. Determinación de las dimensiones de probetas	1500
Figura 6.3_45. Fig1. Y fig2. Esquema de ensayos de tracción por flexión	1514
Figura 6.3_46. Dispositivo de trazado	1518
Figura 6.3_47. Dispositivo de alineación	1519

INTRODUCCIÓN

El presente Volumen está referido al **Hormigón y sus componentes**, dentro del tomo II de Especificaciones Técnicas de Materiales de Construcción y Mantenimiento, correspondiente a las normas y requisitos esenciales para la determinación de los materiales a incorporar como parte de los diferentes elementos que son utilizados en obras viales encaradas por el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, en la República del Paraguay, así como a los sistemas para diseñar mezclas de materiales para que cumplan con esos requisitos, a los procedimientos a que se debe ajustar la extracción de muestras representativas, a los métodos que se deben seguir para ensayarlas en el laboratorio y a los métodos para determinar “in situ” las propiedades y características de los materiales y de las obras a ser ejecutadas y del glosario de términos más comunes.

El contenido de este volumen está constituido por normas y procedimientos que no deben cambiarse bajo ninguna circunstancia. En especial, los ensayos de laboratorio deben ajustarse exactamente a procedimientos y criterios que se indican. Cualquier alteración de los mismos obliga a anular el resultado obtenido, pues imposibilita su comparación con otras especificaciones y resultados obtenidos de otros ensayos.

Las normas están referidas en capitulas que abarcan todas las condiciones de utilización del hormigón; **ensayos relacionados a los áridos componentes del hormigón, ensayos en cementos y morteros, ensayos de hormigón**. El contenido de este manual es una recopilación de normas ya establecidas y desarrolladas por organismos especializados. En el título de cada método se incluyó el nombre de las normas base.

Cada norma de ensayo correspondiente incluye detalles del **objeto, definición de los procesos, equipos y materiales, extracción y preparación de la muestra, procedimientos, cálculos, presentación de informes y notas**. Algunos ensayos más importantes también cuentan con detalles específicos en la parte final de este volumen.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

A

Abrasión.- Proceso de desgaste producido en una superficie por pérdidas de material causadas por agentes externos.

Absorción de Agua.- Masa de agua necesaria para llevar un material pétreo del estado seco al estado saturado superficialmente seco. Se expresa como porcentaje referido a la masa del pétreo seco.

Aditivos (hormigón).- Materiales, además del cemento, agua y áridos, que se añaden al hormigón o mortero inmediatamente antes o durante el mezclado. Su objetivo es modificar, acentuar o conferir alguna propiedad que de por sí la mezcla no posee y hacerla temporal o permanente durante su estado fresco o endurecido.

Agregado Pétreo.- Árido compuesto de partículas duras, de forma y tamaño estables.

Agua de Amasado.- Agua utilizada para hidratar el cemento en la confección de un hormigón o mortero y que debe cumplir requisitos químicos básicos en cuanto a pH, sólidos en suspensión, sólidos disueltos y materias orgánicas.

Agua Libre (hormigón).- Agua utilizada para otorgar trabajabilidad a la mezcla de hormigón fresco.

Alabeo.- Deformación de curvatura de una losa de hormigón, producida por gradientes de temperatura o por la acción del agua (alabeo hídrico).

Alargamiento de una Partícula.- Es la relación entre el largo y el ancho de una partícula de suelo.

Arena.- Material resultante de la desintegración, molienda o trituración de la roca, cuyas partículas pasan por el tamiz de 5 mm y son retenidas por el de 0,08 mm.

Árido.- Material pétreo compuesto de partículas duras, de forma y tamaño estables.

Árido Combinado.- Árido resultante de la combinación de árido fino y árido grueso en proporciones definidas por el estudio de dosificación y que ha de emplearse en la fabricación de un hormigón.

Árido Fino.- Árido que pasa por el tamiz de abertura nominal 5 mm (hormigón) y 2,5 mm (asfalto) y es retenido en el de 0,08 mm.

Árido Grueso.- Árido retenido en el tamiz de abertura nominal 5 mm cuando se emplea en hormigón y 2,5 mm cuando se utiliza en asfalto.

Árido Integral.- Árido grueso y árido fino mezclados en proporción no definida.

Árido Natural.- Árido procedente de yacimientos pétreos y que no ha sido sometido a tratamiento alguno.

Árido Tratado.- Árido que ha sido sometido a tratamiento de trituración, clasificación por tamaños y/o lavado, en operaciones mecánicas controladas.

Arista de un Pétreo.- Línea que resulta de la intersección de dos superficies fracturadas.

Asentamiento del Hormigón.- Descenso del cono que experimenta una muestra de hormigón fresco ensayada de acuerdo con el Método 6.3.3.4, y que se utiliza como indicador de la docilidad.

B

Bache.- Hoyos de diversos tamaños que se producen en la superficie de rodadura por desintegración local.

Barras de Amarre (pavimento).- Barras de acero redondo con resaltes que se instalan habitualmente en las juntas de construcción, tanto longitudinales como transversales, con el objetivo de impedir la separación entre pistas continuas en el primer caso y asegurar el empotramiento entre el hormigón antiguo y el nuevo, en el segundo. Se colocan de manera que ambos extremos queden empotrados. Si la junta de construcción transversal coincide con la junta de contracción, ésta debería funcionar como barra de traspaso de carga.

Barras de Traspaso de Cargas (pavimento).- Barras de acero redondo que se instalan en las juntas de contracción con el objetivo de transferir (distribuir) parte de la carga que solicita una losa a la vecina; se colocan de manera que un extremo quede empotrado y el otro pueda deslizarse.

Base Abierta Ligada.- Los materiales deberán cumplir con los requisitos establecidos en el presente Manual y con la banda granulométrica TM-40a. Las partículas deben ser 100% chancadas y tener una resistencia al desgaste, medida por el ensayo de Los Ángeles, no mayor que 35%.

Base Granular.- Ver Base no Ligada.

Base no Ligada.- Base conformada exclusivamente por una mezcla de suelos, que habitualmente cumplen con ciertos requisitos en cuanto a granulometría, límites de Atterberg, capacidad de soporte y otros.

Base Tratada con Cemento. - Los materiales para BTC deberán cumplir con lo establecido en el presente Manual, a excepción de las partículas chancadas, cuyo porcentaje deberá ser mayor que 50% y de la resistencia a la compresión, que debe ser de 4,5 MPa, con una dosis mínima de 5% de cemento.

Bloque.-Fragmento de roca mayor a 300mm.

Bolón.-Fragmento de roca entre 80 y 300mm.

C

Calor de Hidratación.- Cantidad de calor liberado durante el proceso exotérmico de reacción del cemento con el agua.

Capa de Rodadura.- Capa superficial de un camino que recibe directamente la acción del tránsito. Debe ser resistente al deslizamiento, a la abrasión y a la desintegración por efectos ambientales.

Carga en Eje Doble.- Fuerza ejercida sobre un dispositivo que la distribuye en un tándem conformado por dos ejes generalmente de doble rueda.

Carga en Eje Simple.- Fuerza ejercida sobre un dispositivo que la distribuye en un eje de rueda doble o simple.

Cemento Pórtland.- Producto obtenido de la pulverización de clínquer, mezclado con sulfato de calcio (yeso) finamente molido. Tiene la propiedad de fraguar por hidratación y obtener gran dureza.

Cemento Pórtland Puzolánico.- Cemento Pórtland al que se le ha añadido puzolanas en una cantidad inferior al 30%. Estas sustancias en sí mismas no tienen propiedades conglomerantes, pero reaccionan con la cal a la temperatura ordinaria para formar compuestos estables insolubles con propiedades conglomerantes.

Cemento Pórtland Siderúrgico.- Cemento Pórtland que contiene menos de 30% de escoria granulada obtenida de la fabricación del hierro en el alto horno.

Cemento Puzolánico.- Cemento Pórtland al que se le ha añadido puzolanas entre un 30% y un 50%.

Cemento Siderúrgico.- Cemento Pórtland que contiene entre 30% y 75 % de escoria granulada obtenida de la fabricación del hierro en el alto horno.

Cepillado (pavimento).- Ranurado superficial de la superficie cuyo objetivo es reducir irregularidades. Se debe ejecutar con una máquina especialmente diseñada para suavizar y dar una textura adecuada a la superficie.

Coeficiente de Capa.- Factor para transformar el espesor de una capa estructural del pavimento en el Número Estructural (Método AASHTO de diseño de pavimentos).

Coeficiente Volumétrico de una Partícula.- Cociente entre el volumen real de una partícula y el volumen de una esfera de diámetro igual a la mayor dimensión de esa partícula.

Coeficiente Volumétrico Medio.- Cociente entre la suma de los volúmenes reales de las partículas que constituyen un pétreo y la suma de los volúmenes de las respectivas esferas circunscritas.

Compactación (hormigón).- Operación mecanizada para dar al hormigón la homogeneidad y densidad convenientes.

Comportamiento Estructural.- Variación de la respuesta estructural de un pavimento con el tiempo.

Cono de Abrams.- Molde tronco-cónico, recto, metálico, abierto por ambos extremos, utilizado en el método para determinar la docilidad (trabajabilidad) del hormigón. Ver Sección 6.3.3.4.

Cordón (En juntas de pavimentos de hormigón).- Elemento ligeramente compresible y normalmente de forma cilíndrica que se coloca al fondo de la caja y que sirve para evitar que el sello de la junta penetre hacia abajo.

Cuarteo.- Procedimiento empleado para reducir el tamaño original de una muestra de suelo o agregado pétreo, cuyo objetivo es obtener una muestra representativa del material y de un tamaño acorde a los requerimientos del ensayo a realizar.

Cuenco de Deflexiones.- Conjunto de deflexiones, que reflejan la deformada de la superficie de un pavimento, registradas por todos los sensores de un deflectómetro de impacto (FWD) en el momento del ensayo.

Chancado.- Partícula pétreo que tiene dos o más caras fracturadas y que por ello posee al menos una arista. No se consideran como chancado aquellas partículas que aún teniendo dos o más caras fracturadas, presenten cantos redondeados.

D

Densidad (hormigones).- Cociente entre la masa del hormigón y su volumen, a una temperatura determinada. Se expresa normalmente en kg/m^3 .

Densidad (pétreos).- Cociente entre la masa y el volumen de un material pétreo a una temperatura determinada. Se expresa normalmente en kg/m^3 .

Densidad Aparente (Hormigones).- Densidad que se calcula considerando el volumen aparente de mezcla (volumen real de la mezcla más el volumen de aire arrastrado o incorporado a ella). Corresponde a la capacidad de la medida que lo contiene.

Densidad Aparente (Densidad a Granel o Densidad Bruta).- Densidad que considera el volumen macizo de las partículas de un pétreo más el volumen de los poros y de los huecos. Corresponde a la capacidad de la medida que lo contiene.

Densidad Aparente Compactada.- Densidad aparente del pétreo compactado en la medida que lo contiene, según procedimientos normalizados.

Densidad Aparente Suelta.- Densidad aparente del pétreo vaciado en la medida que lo contiene, según procedimientos normalizados.

Densidad Neta.- Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material pétreo más el volumen de los poros inaccesibles.

Densidad Real.- Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material pétreo, más el volumen de los poros accesibles e inaccesibles de esas partículas.

Densidad Real Saturada Superficialmente Seca.- Densidad real en que se considera la masa del pétreo seco más la masa del agua que llena los poros accesibles.

Densidad Real Seca.- Densidad real en que se considera solamente la masa del pétreo seco.

Descimbre.- Desencofrado o desmolde. Operación destinada a retirar los moldes y demás piezas de un encofrado o de una cimbra (Encofrado: Molde formado con tableros de madera o chapas de metal, en el que se vacía el hormigón hasta que fragua, y que se desmonta después).

Destilación.- Operación destinada a separar por medio del calor, en alambiques u otros vasos, una sustancia volátil de otras menos volátiles, asada en sus diferentes temperaturas de ebullición.

Dispositivo de Transferencia de Carga.- Elemento que se coloca en una junta de contracción de un pavimento de hormigón destinado a transmitir parte de la carga desde una losa a la adyacente.

Docilidad o Trabajabilidad (hormigón fresco).- Propiedad del hormigón fresco que se manifiesta por la facilidad para ser transportado, colocado y compactado, sin producir segregación. Ver H0304.

Dosímetro.- Aparato o dispositivo que mide dosis de radiactividad, que se usa cuando se emplean métodos nucleares para determinar humedad y densidad.

E

Eje Equivalente (Factor de).- Razón entre el número de ejes de cierto peso que causan una determinada pérdida de serviciabilidad y el número de ejes de 80 kN que causan la misma pérdida de serviciabilidad.

Equivalente de Arena.- Porcentaje de arena propiamente tal, con respecto al total de arena y de impurezas coloidales floculadas, particularmente arcillosas, húmicas y eventualmente ferruginosas, presentes en un pétreo fino (bajo tamiz 5 mm).

Esbeltez.- Cociente entre la altura de ensayo de un testigo cilíndrico de hormigón endurecido y su diámetro.

Escalonamiento de Juntas y Grietas (pavimento).- Diferencia de nivel que se produce entre dos losas separadas por una junta o grieta. Se mide en mm y se determina a 300 y 750 mm del borde exterior del pavimento.

Esclerometría: Ensayo que mide la dureza superficial del hormigón por medio del rebote de una masa proyectada contra su superficie. La medición, denominada índice esclerométrico o de rebote puede relacionarse con la resistencia a compresión del hormigón.

Espécimen (hormigón).- Probeta normalizada moldeada con hormigón de la muestra.

Esponjamiento (arenas).- Aumento parente de un volumen dado de arena cuando aumenta su humedad libre.

Exudación (hormigón).- Fenómeno que se produce durante la colocación del hormigón por sedimentación de las partículas sólidas debido a la acción de la fuerza de gravedad y de la vibración, desplazando el agua hacia la superficie.

F

Factor de Carga Equivalente.- Es un número que convierte las solicitaciones de un eje o configuraciones de ejes, en la sollicitación equivalente de un eje normalizado (80 kN) (Ver Eje Equivalente).

Finisher.- Pavimentadora.

Finura de Blaine.- Finura del cemento determinada mediante el método del permeabilímetro de Blaine, con el cual se mide la superficie específica del cemento por la permeabilidad al aire de una capa de cemento de dimensiones y compacidad normalizadas. Cuanto más fino es el cemento, menos permeable es al paso del aire a través de los huecos que quedan entre los granos.

Fisura (hormigones).- Quiebre o rotura que afecta a las losas del pavimento, de variados orígenes, y cuyo ancho superficial es igual o menor que 3 mm. Las fisuras pueden durante el proceso de construcción o en el hormigón ya endurecido.

Fisuras por Retracción o Tipo Malla (pavimento de hormigón).- Falla superficial caracterizada por una serie de fisuras conectadas entre sí que crean una especie de malla. Se originan en un exceso de acabado final durante la construcción, mala construcción.

Flexotracción.- Ensayo a que se somete una probeta de hormigón endurecido, para determinar su resistencia a la tracción por flexión.

Fraguado (Hormigón).- Proceso exotérmico en el cual la pasta acuosa de un conglomerante adquiere trabazón, consistencia y endurecimiento, merced a las modificaciones físico-químicas que tienen lugar entre el conglomerado y el agua.

G

Granulometría de un Árido.- Distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un árido, determinada de acuerdo con el Método 6.3.1.4.

Grieta (hormigones).- Quiebre o rotura que afecta al pavimento, de variados orígenes, y cuyo ancho superficial es mayor que 3 mm.

Grieta de Borde.- Grieta predominantemente paralela al eje de la calzada y localizada en las inmediaciones del borde externo del pavimento. A veces presenta ramificaciones de grietas transversales hacia la banquina.

Grieta Longitudinal.- Grieta predominantemente paralela al eje de la calzada, que a veces coincide con la junta longitudinal entre dos pistas pavimentadas.

H

Hendimiento.- Ensayo de tracción indirecta por el cual una probeta cilíndrica de hormigón se carga según la generatriz hasta provocar su ruptura.

Hidroplaneo.- Pérdida de fricción entre el neumático y el pavimento causada por una película de agua que se forma bajo el neumático, que evita que entre en contacto con el pavimento.

Hormigón de Prueba.- Hormigón preparado en laboratorio, destinado a verificar principalmente el cumplimiento de los requisitos de densidad y resistencia exigidos en la obra.

Hormigón Endurecido.- Para los efectos de muestreo debe considerarse como endurecido el hormigón que no cumple con la definición de hormigón fresco.

Hormigón Fresco.- Aquel que ha terminado su proceso de mezclado y aún no ha sido colocado, sin sobrepasar un tiempo de dos horas para los cementos de grado corriente y una hora para los cementos de alta resistencia. El tiempo señalado se mide desde el comienzo del amasado.

Hormigón Pobre.- Aquel cuyo contenido en cemento es bajo y su resistencia es, por tanto, reducida.

Huecos.- Espacios vacíos entre las partículas de un pétreo.

Humedad.- Cociente entre la masa de agua presente en un suelo y su masa seca. Se expresa en porcentaje.

I

Índice de Lajas.- Porcentaje en peso de partículas que tienen un espesor (dimensión mínima) inferior a 0,6 veces la dimensión media de la fracción de agregado considerada.

Índice de Serviciabilidad.- Es un número, en una escala de 0 a 5, que indica la condición de un pavimento en un determinado momento, para proveer un manejo seguro y confortable a los usuarios.

Índice de Servicio Actual.- Índice que estima la serviciabilidad en un determinado momento de la vida útil de un pavimento, a partir de medidas de su condición superficial.

J

Junta de Construcción.- Juntas en los pavimentos de hormigón de tipo transversal, cuando la faena de hormigonado se interrumpe por fuerza mayor; o de tipo longitudinal, que son aquellas que separan las distintas fajas del camino, son paralelas al eje y tienen un perfil machihembrado especial para la transmisión de cargas verticales de una faja a otra.

Junta de Contracción.- Corte realizado en una losa para controlar la retracción del hormigón hidráulico por cambios de temperatura u otras causas.

Junta Esviada: Junta transversal que no forma un ángulo recto con el eje del camino (pavimento).

Junta Saltada (pavimento).- Falla en los bordes de una junta que se caracteriza por una serie de fracturas o astillamientos del hormigón. Esta falla es conocida también como desconche.

L

Laja.- Partícula pétreo en que la razón o cociente entre las dimensiones máximas y mínima, referida a un prisma rectangular circunscrito, es mayor que 5.

M

Macrotextura. (Pavimento).- Las microtexturas y macro texturas son irregularidades superficiales deseables por contribuir a la resistencia al deslizamiento y a la prevención de accidentes. Las micro texturas corresponden a longitudes de onda λ entre 0 y 0,5 mm y amplitud A entre 0,01 y 0,5 mm.

Las macrotexturas corresponden a longitudes de onda λ entre 0,5 y 50 mm y amplitud A entre 0,01 y 20 mm.

Madurez: relación entre la temperatura del hormigón y el tiempo transcurrido desde su vertido y colocación. La madurez está relacionada a la resistencia a compresión del hormigón.

Microtextura.- Ver macrotextura.

Módulo de Finura.- Uno de los índices que sirven para clasificar los agregados en función de su granulometría.

Monografía.- (en caminos). Descripción esquemática gráfica de una determinada característica de la obra, indicando la ubicación (kilometraje). Se utiliza para indicar avance físico de la obra, controles realizados, etc.

Mortero.- Mezcla de cemento, arena y agua en proporciones definidas. Puede llevar incorporado un determinado aditivo.

Muestra de Laboratorio.- Cantidad mínima de material necesario para realizar los ensayos de laboratorio requeridos.

Muestra de Obra.- Muestra representativa de un pétreo que se encuentra en una obra, ya sea sobre un vehículo de transporte o almacenado.

Muestra de Producción.- Muestra representativa de un pétreo removido de su depósito natural y sometido a cualquier tratamiento como trituración, lavado o clasificación y que se encuentra sobre cintas transportadoras o almacenado junto al lugar de extracción o tratamiento.

Muestra de Terreno.- Muestra representativa de un pétreo tomada en la obra y reducida por cuarteo hasta alcanzar un tamaño mínimo equivalente al doble de la muestra de laboratorio.

Muestra de Yacimiento.- Muestra representativa del pétreo en su sitio de depósito natural, no sometido a tratamiento alguno.

Muestras Gemelas.- Conjunto de dos o más fracciones de muestras separadas por cuarteo según Método 6.3.1.2. Dichas muestras pueden emplearse para verificar el efecto de los procedimientos de ensayo en la dispersión de resultados.

N

Nido de Piedra.- Acumulación o concentración de agregado pétreo grueso (piedras) no rodeado por suelos finos, en zonas localizadas de extensión variable.

Nivel de Servicio.- Es el grado de comodidad y seguridad que experimentan los usuarios al circular por un pavimento a la velocidad de diseño.

Número Estructural.- Número que evalúa la calidad del paquete estructural de un pavimento. Se determina como la suma ponderada de los espesores por los coeficientes estructurales, determinados experimentalmente. Los coeficientes estructurales son correlacionables con los módulos de las capas estructurales.

O

Obra Básica.- La sección de una carretera comprendida entre la subrasante y el terreno natural, que se prepara como fundación del pavimento. Comprende los movimientos de tierras, las alcantarillas y las obras de drenaje que evitan que las aguas afecten las obras de tierra.

P

Partículas Desmenzables.- Partículas contenidas en los pétreos que pueden desmenzarse con la presión de los dedos.

Pavimento Rígido.- Estructura conformada por losas de hormigón de cemento hidráulico.

Pavimento.- Estructura formada por una o más capas de materiales seleccionados y eventualmente tratados, que se colocan sobre la subrasante con el objetivo de proveer una superficie de rodadura adecuada y segura bajo diferentes condiciones ambientales y que soporta las sollicitaciones que impone el tránsito.

Pedraplén.- Relleno conformado por suelos gruesos con alto contenido de bolones y escaso contenido de finos y que se construye en forma similar a un terraplén.

Péndulo de Fricción.- Equipo portátil de ensayo no destructivo que permite medir la resistencia al deslizamiento de un pavimento. Para ello utiliza un brazo oscilante en cuyo extremo se ubica un patín de goma con amortiguador que se deja oscilar libremente y que toma contacto con la superficie del pavimento mojado en una longitud normalizada. Se mide la pérdida de energía producto del roce, a través de la altura que alcanza después del contacto con el pavimento.

Peso Específico.- Cociente entre la masa de un material y la masa de un volumen igual de agua a 4° C. Es adimensional.

Poros.- Espacios vacíos interiores de una partícula de pétreo.

Probeta de Hormigón.- Muestra de hormigón endurecido de dimensiones predeterminadas y conservada en condiciones preestablecidas, para posteriormente ser sometida a ensayos.

Puente de Adherencia.- Adhesivo para unir hormigón o mortero fresco con hormigón endurecido, mortero endurecido, piedra, acero, fierro, fibrocemento o madera.

R

Ranurado del Pavimento (Grooving).- Cortes sobre la superficie del pavimento, ejecutado mediante discos diamantados en una profundidad de 10 mm aproximadamente y un ancho de 2 mm, con un espaciamiento del orden de los 50 mm a 100 mm. El objetivo es mejorar la macrotextura superficial, facilitando el contacto neumático pavimento en situaciones de pavimento muy sellado que puedan provocar hidropneumático.

Rapidez del Curado.- Tiempo que demora un asfalto líquido (asfalto cortado) en coagular, el que depende de la mayor o menor volatilidad del agente fluidificante del que está compuesto.

Rasante.- Plano que define la superficie de una carretera.

Razón Agua-Cemento.- Cociente entre la cantidad de agua de amasado y la dosis de cemento, utilizados en la confección de un hormigón.

Redondez de una Partícula.- Es la medida de la agudeza de sus vértices y se define como el cociente entre el radio promedio de los vértices y aristas y el radio de la esfera máxima inscrita.

Refrentado (Capa de).- Capa de material, normalmente azufre, aplicado y moldeado para cubrir y nivelar una superficie de carga en una probeta de hormigón.

Rendimiento Funcional.- Variación del Nivel de Servicio con el tiempo.

Reposición de Pavimentos.- Se refiere a cualquiera de las técnicas destinadas a reforzar estructuralmente un pavimento de manera que esté en condiciones de soportar el tránsito previsto.

Resistencia al Deslizamiento (coeficiente de fricción).- La fuerza que se desarrolla en la superficie de contacto entre neumático y pavimento y que resiste el deslizamiento cuando el vehículo frena.

Resistencia Mecánica (hormigón).- Resistencia a la ruptura de probetas de hormigón endurecido.

Restauración de Pavimentos.- Técnicas destinadas al mantenimiento de los pavimentos, es decir, a devolverles su condición original. Aún cuando no están orientadas específicamente a aumentar la capacidad estructural, muchas de ellas alargan la vida útil del pavimento. Estas técnicas integran las denominadas operaciones de restauración.

Retracción (hormigón).- Variación del volumen del hormigón por efecto del fraguado, por su desecación y su humedecimiento. Esta variación se produce en parte antes de fraguar y en parte en el hormigón fraguado y ya endurecido.

Roca Ignea.- Rocas de origen profundo, resultado del enfriamiento y cristalización de la masa fundida, el magma.

Roca Metamórfica.- Tienen su origen en rocas ya existentes que, sometidas a transformaciones químicas o al calor y la presión en el interior de la corteza terrestre, han sufrido una metamorfosis química, mineralógica o física. **Roca Sedimentaria**.- Rocas procedentes de productos de erosión que se han depositado en capas generalmente muy compactas (sedimentos) sobre el suelo o, más comúnmente, en el fondo del mar.

Rugosidad (pavimento).- Irregularidad superficial de una capa de rodadura. Es el parámetro de estado más característico de la condición funcional de ésta y el que incide directamente en los costos de operación de los vehículos. Se mide a través del Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

S

Secado hasta Masa Constante.- Límite de secado en que dos pesadas sucesivas, separadas por 1 hora de secado al horno, difieren en un porcentaje igual o inferior al 0,1% de la menor masa determinada.

Segregación (hormigón).- Separación de la fracción gruesa del mortero durante el transporte o colocación del hormigón fresco.

Serviciabilidad.-La capacidad que tiene en un determinado momento el pavimento para servir al tránsito que lo utilizará.

Singularidades (pavimento).- Cualquier alteración del perfil longitudinal del camino que no provenga de fallas constructivas y que incremente el valor del IRI en el tramo en que se encuentra. Entre ellas se pueden citar puentes, badenes, tapas de alcantarillas, cuñas, vados, cruces de calles y otras, que por diseño geométrico alteren el perfil del camino.

Sobretamaño.- Partículas de un suelo de mayor tamaño que el máximo especificado.

Subbase Granular.- Capa constituida por un material de calidad y espesor determinados y que se coloca entre la subrasante y la base.

Subrasante.- Plano superior del movimiento de tierras, que se ajusta a requerimientos específicos de geometría y que ha sido conformada para resistir los efectos del medio ambiente y las sollicitaciones que genera el tránsito. Sobre la subrasante se construye el pavimento y las banquetas.

Superficie Específica.- Cociente entre el área superficial o superficie externa de un agregado y su volumen; se expresa en m^{-1} .

Surgencia de Finos (Bombeo de finos).- Fenómeno que se manifiesta por la eyección, a través de las juntas, grietas y bordes del pavimento, de material fino húmedo de la base o subbase. Se origina en la succión que provoca el movimiento vertical debido a la carga y descarga de las losas móviles de un pavimento rígido. Como consecuencia de la surgencia se produce una progresiva socavación bajo los bordes de las juntas, grietas y lados del pavimento, provocando su ruptura por falta de apoyo.

T

Talud.- Tangente del ángulo que forma el paramento de un corte con respecto a la vertical .

Tamaño Máximo Absoluto de un Árido.- Corresponde a la abertura del menor tamiz de la serie establecida en el Método 6.3.1.4., que deja pasar el 100% de la masa del árido.

Tamaño Máximo Nominal de un Árido.-Corresponde a la abertura del tamiz inmediatamente menor al Tamaño Máximo Absoluto, cuando por dicho tamiz pasa el 90% o más de la masa del árido.

Cuando pasa menos del 90%, el Tamaño Máximo Nominal se considera igual al Tamaño Máximo Absoluto.

Tamaño Medio (de un agregado pétreo).- Corresponde a la abertura teórica de tamiz (mm) por donde pasa el 50% del material. Se obtiene a partir de la granulometría por interpolación semilogarítmica.

Tamizado.- Operación que consiste en separar por tamaño las partículas.

Tensión Capilar.- Fuerza originada por la tensión superficial de un líquido y que hace que ascienda por un tubo capilar.

Tensión Superficial.- Si sobre la superficie de un líquido se traza una línea cualquiera, la tensión superficial es la fuerza superficial normal a dicha línea por unidad de longitud. La tensión superficial explica el fenómeno de ascensión de un líquido en tubos capilares. Se expresa en dina/cm o erg/cm^2 .

Terraplén.- Obra construida empleando suelos apropiados, debidamente compactados, para establecer la fundación de un pavimento.

Testigo: probetas cilíndricas extraídas de un elemento de hormigón por medio de una sonda rotativa que incorporan coronas diamantadas. Se emplean para la determinación de la resistencia a compresión simple del hormigón

Textura (pavimentos).- El aspecto o característica de la superficie del pavimento que depende del tamaño, forma, disposición y distribución del árido y del agente ligante. Una mezcla densa que da una superficie suave tendrá una textura fina; una superficie abierta tendrá una textura gruesa. Las irregularidades de la superficie, tales como baches, escalonamientos de juntas y otras, no definen la textura, la que se encuentra relacionada con irregularidades de longitudes de onda inferiores que 50 mm.

Textura de una Partícula de Pétreo.- Características secundarias de la superficie de la partícula, independiente de la forma y tamaño. Para su descripción se emplean los términos opaca, brillante, suave, áspera, estriada, etc.

U

Ultrasonido: onda mecánica originada por la vibración de un cuerpo elástico (cristal piezoeléctrico) y propagada por un medio material (elemento de hormigón u otros) cuya frecuencia se ubica por encima de los 20.000 ciclos/segundo ó 20 kHz, superando la del sonido audible por el ser humano. La velocidad de propagación de la onda se relaciona con la resistencia a compresión del hormigón.

V

Viga Benkelman.- Equipo de ensayo no destructivo que se posiciona sobre la superficie del pavimento y que cuenta con un brazo articulado cuyo punto de contacto con el pavimento (palpador) detecta la deformación elástica vertical ante la aproximación de una rueda doble cargada con 40 KN.

Z

Zapata de Traspaso de Carga.- En pavimentos de hormigón. Dispositivo de transferencia de carga en las juntas de contracción.

CAPITULO 6.3.1.

ÁRIDOS COMPONENTES DEL HORMIGÓN

SECCION 6.3.1.1. | MÉTODO PARA EXTRAER Y PREPARAR MUESTRAS (ASTM C 75 AASHTO T2)

6.3.1.1.1. OBJETO

Este método de ensayo establece los procedimientos para extraer y preparar las muestras representativas de áridos finos, gruesos e integrales para fines de ensayo. Se aplicará a los áridos naturales y triturados.

6.3.1.1.2. DEFINICIONES

A. MUESTRAS DEL YACIMIENTO

Muestra representativa de áridos en su sitio de depósito natural, no sometido a tratamiento alguno.

B. MUESTRA DE PRODUCCIÓN

Muestra representativa de áridos removido de su depósito natural y sometido a cualquier tratamiento como trituración, lavado o clasificación y que se encuentra sobre cintas transportadoras, o almacenado junto al lugar de extracción o tratamiento.

C. MUESTRA DE OBRA

Muestra representativa de áridos que se encuentra en una obra, ya sea sobre vehículos o almacenado.

D. MUESTRA GEMELA

Conjunto de dos o más fracciones de muestra, separadas por cuarteo según Sección 6.3.1.2. Dichas muestras pueden emplearse para verificar el efecto de los procedimientos de ensayo (operador, equipo, etc.) en la dispersión de los resultados.

6.3.1.1.3. EQUIPOS Y MATERIALES

Las herramientas y accesorios mínimos necesarios para las operaciones de muestreo incluyen pala, bolsas o sacos, cajas o recipientes y otros que sean necesarios considerar para los procedimientos que se establecen en el presente método.

6.3.1.1.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. ASPECTOS GENERALES

Dado que el muestreo es tan importante como los ensayos mismos, el muestreador debe tomar todas las precauciones necesarias para obtener muestras que sean representativas del material que se va a analizar.

Para ello, personal debidamente experimentado debe inspeccionar el material por muestrear en superficie o a través de pozos de prueba o sondajes, según corresponda, a fin de determinar su homogeneidad con un adecuado nivel de confiabilidad

B. TAMAÑO DE LA MUESTRA

B.1. Muestra de terreno.

La cantidad de muestra tomada en terreno debe ser tal que represente la naturaleza y condición de los áridos. Redúzcala por cuarteo según Sección 6.3.1.2 hasta obtener una cantidad de al menos el doble de la requerida como muestra de laboratorio, conservando el material restante de la reducción como contramuestra ante cualquier eventualidad.

Nota 1: La contramuestra se conservará en el lugar de extracción debidamente identificada y almacenada en bolsas, cajas o recipientes, de modo de evitar contaminaciones, pérdidas o alteraciones del material.

B.2. Muestra de laboratorio.

La cantidad de muestra necesaria para ser enviada al laboratorio depende del tipo y número de ensayos a los cuales será sometido el material. Generalmente las cantidades mínimas requeridas para los ensayos básicos de calidad son las siguientes:

- Áridos fino: 30 kg.
- Áridos gruesos: Una cantidad en Kg equivalente a 2 veces el tamaño máximo absoluto de los áridos grueso, expresado este último en mm.
- Áridos integral: En este caso se cumplirá simultáneamente con las cantidades mínimas requeridas para los distintos tipos de áridos antes mencionados.

Nota 2: Para ensayos adicionales y/o especiales se aumentarán los tamaños indicados en 6 b) en la cantidad requerida para ellos.

6.3.1.1.5. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS PARA RECONOCIMIENTO DE YACIMIEN- TOS

A. PROCEDIMIENTOS DE EXTRACCIÓN

a) Yacimiento con frente descubierto. Inspeccione la(s) cara(s) del yacimiento, para determinar variaciones importantes o existencia de estratos. Extraiga muestras por fajas verticales del frente de explotación, de acuerdo con la homogeneidad del material, la forma de explotación y la facilidad de acceso. Registre el ancho de la faja, la profundidad horizontal y las cotas verticales de extracción de muestras si ello es procedente, además registre las diferencias observables en el color y la estructura.

b) Yacimiento sin frente descubierto. Extraiga muestras representativas de los diferentes estratos, identificados en cada pozo de prueba o sondaje, tomando tres o más porciones de cada uno de ellos. Registre la profundidad relativa de extracción de la muestra y el espesor del (de los) estrato (s).

B. FRECUENCIA DE MUESTREO

a) En yacimientos con frente descubierto, extraiga muestras de fajas verticales ubicadas a distancias inferiores a 30 m.

b) En yacimientos sin frente descubierto, ejecute al menos un pozo de prueba o sondeo cada 5.000 m², uniformemente distribuidos y cubriendo el área de estudio.

6.3.1.1.6. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DE PRODUCCIÓN

De preferencia las muestras de material procesado se extraerán de cintas transportadoras. Si esto no es aplicable, se extraerán muestras desde silos, tolvas o depósitos, o bien desde acopios.

A. PROCEDIMIENTOS DE EXTRACCIÓN

a) Cintas transportadoras. Detenga la cinta a intervalos regulares de tiempo y extraiga porciones de áridos, que correspondan a todo material comprendido entre dos secciones transversales a la cinta, distanciadas en aproximadamente 1 m. Extraiga tres o más porciones de áridos hasta completar la muestra.

b) Silos, tolvas o depósitos. Extraiga porciones de áridos en el flujo de la descarga sin incluir el primer y último 10% de ésta. Tome tres o más porciones de material hasta completar la muestra. Emplee, en lo posible, un recipiente que abarque todo el flujo del material.

c) Acopios. Utilizando un cargador frontal, extraiga porciones de áridos en distintos niveles y ubicaciones rodeando el acopio, evitando sacar material de las zonas inferior y superior de éste.

Con las porciones extraídas forme un pequeño acopio debidamente homogeneizado, aplanando su parte superior. Desde éste extraiga manualmente las porciones necesarias para conformar la muestra.

B. FRECUENCIA DE MUESTREO

Adopte como frecuencia mínima de muestreo la correspondiente al menor volumen indicado en los siguientes puntos:

a) Extraiga una muestra cada 1.000 m³ de cada tipo de áridos producido.

b) Extraiga una muestra correspondiente al volumen de cada tipo de áridos producido en un mes.

6.3.1.1.7. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS DE OBRA

Las muestras se extraerán desde vehículos o desde el material almacenado. Establezca un control de calidad durante la recepción del material y disponga los acopios según las diferencias que se observen.

Nota 3: El control del material almacenado tiene por objetivo cuantificar los efectos de las manipulaciones realizadas y proporcionar antecedentes para el uso de los áridos.

A. PROCEDIMIENTOS DE EXTRACCIÓN

a) Vehículos. Extraiga porciones de áridos en tres o más puntos, profundizando aproximadamente hasta la mitad de la altura de la carga o a intervalos regulares de tiempo durante la descarga.

b) Silos, tolvas o depósitos. Proceda de acuerdo con 9 b).

c) Acopios. Proceda de acuerdo con 9 c).

B. FRECUENCIA DE MUESTREO

a) Control de recepción

Extraiga al menos una muestra de cada tipo de áridos por cada 500 m³ recepcionados.

Extraiga una muestra cada vez que se cambie de fuente de abastecimiento o se aprecien cambios de calidad del material.

El profesional a cargo podrá disminuir la frecuencia mínima establecida hasta en un 50%, cuando se verifique que no hay cambios significativos en las características del material.

c) Control para el uso

Extraiga una o más muestras de cada tipo de pétreo por cada 250 m³ por emplear.

Extraiga una muestra cada vez que se aprecien cambios de calidad del material, debido a tiempo prolongado de almacenamiento en obra, contaminaciones, segregaciones, etc.

El profesional a cargo podrá disminuir la frecuencia mínima establecida hasta en un 50%, cuando se verifique que no hay cambios significativos en las características del material.

6.3.1.1.8. PREPARACIÓN DE MUESTRAS

A. MEZCLADO

Mezcle con pala, sobre una superficie horizontal y limpia, las porciones de áridos obtenidas del muestreo hasta obtener una muestra homogénea, asegurando la incorporación de todas las partículas más finas que la componen. Si se requiere determinar el grado de variabilidad de un acopio, las porciones extraídas de las distintas zonas de éste no deben mezclarse entre sí.

B. REDUCCIÓN

Reduzca por cuarteo según Sección 6.3.1.2 el tamaño de la muestra extraída, para obtener el tamaño de muestra de laboratorio especificado en 6 b).

C. TRANSPORTE A LABORATORIO

Transporte las muestras en bolsas, cajas o recipientes confeccionados de tal manera de evitar pérdidas de material. Identifíquelas claramente, de acuerdo a lo indicado en "Registro", con marcas indelebles protegidas de cualquier eventual deterioro.

6.3.1.1.9. REGISTRO

Cada muestra para laboratorio llevará un registro en que se indicarán los siguientes datos:

A. INFORMACIÓN MÍNIMA.

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Identificación del muestreador (nombre, entidad y/o laboratorio).
- c) Tipo de material.
- d) Procedencia del material.
- e) Tamaño aproximado de la muestra (kg/m³).
- f) Cantidad de material que representa la muestra (m³).
- g) Procedimiento de extracción utilizado.

h) Empleo propuesto.

i) Ensayos requeridos.

j) Fecha de extracción.

Información Optativa

a) Ubicación y nombre del yacimiento, depósito, planta de manufacturado u obra.

b) Capacidad de producción o consumo diario estimado.

c) Procedimientos de explotación y/o manufacturado.

d) Radio de alcance (zona que abastece).

e) Cualquier información específica relativa a las características del árido o a los requisitos de empleo.

SECCION 6.3.1.2. | MÉTODO PARA EL CUARTEO DE MUESTRAS (ASTM C 702 AASHTO T248)

6.3.1.2.1. OBJETO

Los diferentes tipos y tamaños de áridos requieren que la muestra sea representativa para los varios ensayos a los que será sometida. El material obtenido en terreno debe ser siempre mayor que la cantidad de la muestra requerida para el ensayo.

El material debe ser reducido en cantidad de acuerdo al ensayo que se le va a practicar. Este método establece dos procedimientos, uno manual y otro mecánico, para la reducción de muestras de suelos y áridos en general. Los mejores resultados se obtienen usando un cuarteador metálico de un tamaño adecuado.

6.3.1.2.2. PROCEDIMIENTO MANUAL

A continuación se describe un método para reducir la cantidad del material, cuarteándola manualmente, para obtener muestras menores que 100 kg.

- a) Para llevar a cabo el cuarteo, el material debe estar húmedo; si está seco, humedézcalo añadiendo agua limpia con un rociador. Mezcle bien el material hasta formar una pila en forma de cono; revuelva de nuevo hasta formar un nuevo cono; repita esta operación tres veces.
- b) Distribuya una palada llena del material tan uniformemente como sea posible sobre una lona u otra superficie lisa, plana y ancha. Una lona de 150 x 150 cm. será suficiente. Cuando la cantidad del material es pequeña, se puede usar una plana de albañil.

Continúe colocando material en capas, una sobre la otra, hasta que se haya distribuido todo el material formando un montón plano y ancho, cuyo espesor y distribución de los tamaños de áridos sea razonablemente uniforme. No permita la conicidad de áridos.

- c) Divida el montón en cuatro partes iguales, con una pala de borde recto o una plancha de metal.
- d) Cuando emplee una lona, el cuarteo puede hacerse convenientemente insertando un palo delgado o varilla por debajo de la lona y levantándola para así dividir la muestra en partes iguales, primero en dos mitades iguales y luego en cuartas partes. (Ver Figura 6.3_1).
- e) Remueva dos cuartas partes opuestas y colóquelas a un lado, cuidando de retirar todo el material fino limpiando los espacios despejados con una brocha o escoba.
- f) Repita el procedimiento indicado desde a) a d) con la porción restante de áridos, hasta que obtenga una muestra de ensayo del tamaño deseado.

- g) Si lo desea, puede guardar la porción que colocó a un lado para luego hacer un posible ensayo de comprobación.

6.3.1.2.3. PROCEDIMIENTO CON CUARTEADOR METÁLICO O MECÁNICO

El método para reducir a muestras menores que 100 kg mediante un cuarteador metálico es el siguiente: **(Ver Figura 6.3_2).**

- a) Coloque la muestra en uno de los recipientes del cuarteador.
- b) Vacíe la muestra en el cuarteador.
- c) Separe el material correspondiente a uno de los recipientes.
- d) Repita el procedimiento con el material del recipiente restante hasta obtener el tamaño de muestra requerido.

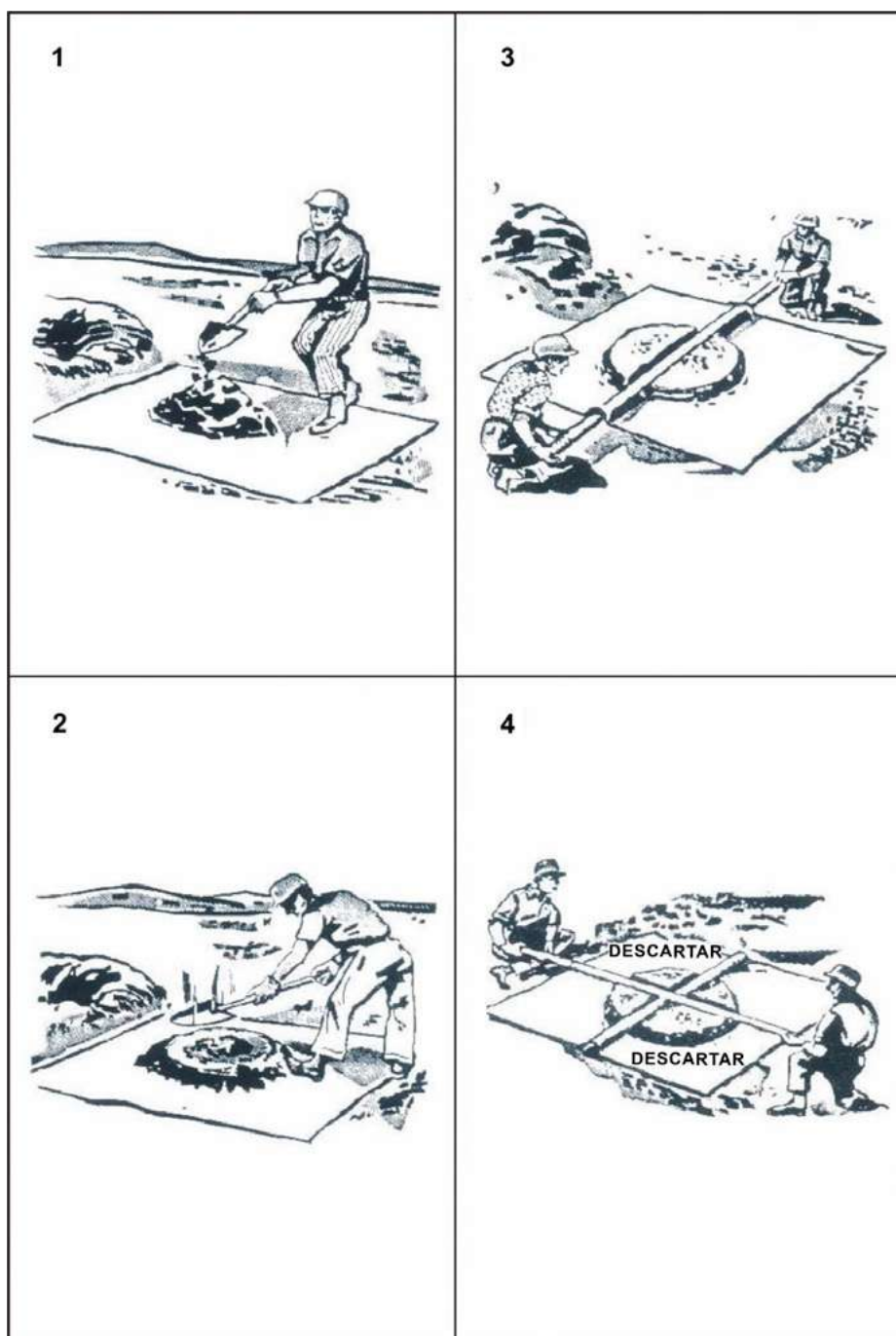


Figura 6.3_1. CUARTEO DE MUESTRAS

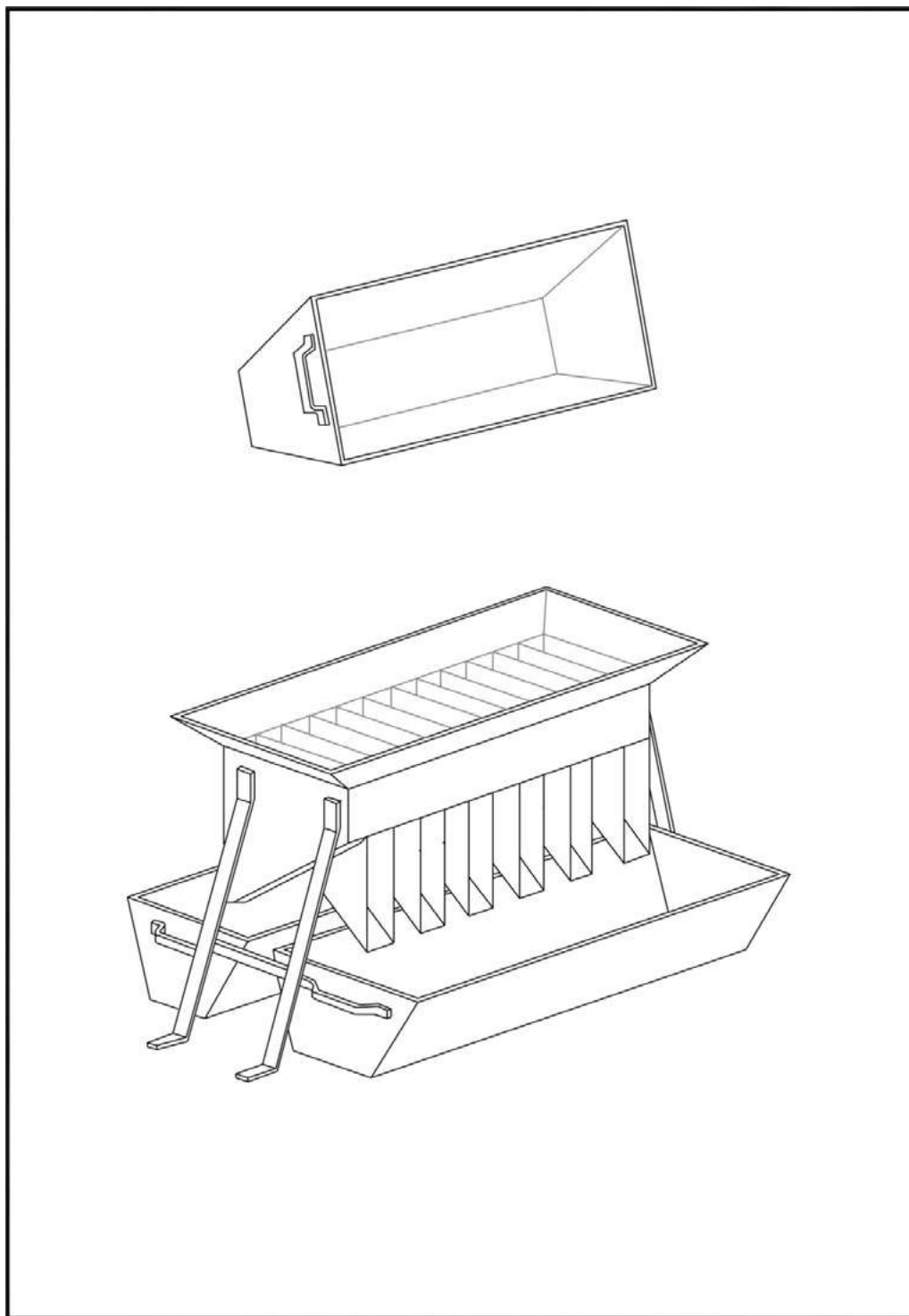


Figura 6.3_2. CUARTEADOR

SECCION 6.3.1.3.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE PARTÍCULAS DESMENU- ZABLES (ASTM C 142 AASHTO T112)

6.3.1.3.1. OBJETO

Este método establece un procedimiento para determinar el contenido de partículas desmenuzables en los áridos. Se aplica a los áridos que se utilizan en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

6.3.1.3.2. DEFINICIONES

A. PARTÍCULAS DESMENUZABLES

Son aquellas partículas contenidas en los áridos que pueden desmenuzarse con la presión de los dedos.

6.3.1.3.3. EQUIPOS Y MATERIALES

A. BALANZA

De capacidad superior a la masa de la muestra de ensayo y una precisión de 0,1 g.

B. RECIPIENTES

De material resistente, no absorbente y químicamente inerte con los áridos y el agua, estancos y de capacidad tal que permitan distribuir toda la muestra de ensayo en una capa delgada.

C. TAMICES

De malla de alambre y abertura cuadrada que cumplan con la Sección 6.3.1.4. Emplee la serie de aberturas nominales de: 37,5mm (1 1/2"), 19mm (3/4"), 9,5mm (3/8"), 4,75mm (Nº 4), 2,36mm (Nº 8), 1,18mm (Nº 16), 0,6mm (Nº 30) y 0,3mm (Nº 50).

D. HORNO

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

6.3.1.3.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con las **Secciones 6.3.1.1 y 6.3.1.2.**

B. ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Emplee material previamente lavado o bien material proveniente del ensayo de determinación de material fino inferior a 0,075mm (Nº 200), según **Sección 6.3.1.6.**

En el caso de materiales integrales o mal harneados, deje constancia en el informe y separe el material en áridos fino y áridos grueso mediante el tamiz de 4,75mm (Nº 4) o 2,36mm (Nº 8),

según corresponda a hormigón o asfalto respectivamente. Determine y registre el porcentaje en masa de ambas fracciones.

Nota 1: Se consideran mal harneados los áridos finos que retienen más de 5% sobre el tamiz de referencia y los áridos gruesos que dejan pasar más de 5 % por el mismo tamiz.

- a. Seque la muestra hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 10^{\circ}\text{F}$).

C. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

C.1.Árido fino.

Debe tener el tamaño especificado en la **Tabla 6.3_ 1**

C.2.Árido Grueso.

Debe tener un tamaño tal, que permita obtener las fracciones de muestra especificadas en **Tabla 6.3_ 1**

Tabla 6.3_1. TAMAÑO MÍNIMO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Árido fino

Tamaño de partículas (mm)	Masa mínima de la muestra (g)
Hormigón 1,18 – 4,75	100
Asfalto 0,6 – 2,36	100

Árido grueso

* Fracción	Tamaño de partículas (mm)	Masa mínima de la fracción (g)
1	37,5	5.000
2	19 - 37,5	3.000
3	9,5 - 19	2.000
4	4,75 - 9,5	1.000
5	2,36 - 4,75	500

* Fracción 1, 2, 3 y 4 para hormigón.

Fracción 1, 2, 3, 4 y 5 para asfalto.

- b. Los tamaños de muestra del árido grueso, se deben tomar considerando el porcentaje parcial retenido (Ppr) de cada fracción, determinado mediante tamizado según **Sección 6.3.1.4**, en la forma siguiente:

- a) Ensaye las fracciones indicadas siempre que el Ppr sea igual o mayor que 5 %.
- b) No ensaye las fracciones que tengan un Ppr menor que 5% (ver 19).

6.3.1.3.5. PROCEDIMIENTO

- a. Pese la muestra o fracción de muestra de ensayo en estado seco y registre su masa inicial (mi), aproximando a 0,1 g en el pétreo fino y a 1 g en el pétreo grueso.
- b. Esparza el material de cada muestra o fracción de muestra en una capa delgada sobre el

fondo de un recipiente, cúbrala con agua destilada y déjela remojando durante 24 ± 4 h.

- c. Finalizado el plazo de inmersión, deshaga las partículas desmenuzables, comprimiéndolas y frotándolas entre los dedos.

Nota 2: Las partículas no deben deshacerse empleando las uñas ni comprimiéndolas contra superficies duras.

- d. Después de deshacer todas las partículas desmenuzables, separe el residuo mediante tamizado húmedo, empleando el tamiz que corresponda de acuerdo con la **Tabla 6.3_2**, según el tamaño de las partículas ensayadas.

Tabla 6.3_2. tAMICES PARA SEPARAR RESIDUOS

Árido fino

Tamaño de partículas (mm)	Abertura nominal del tamiz (mm)
Hormigón 1,18 – 4,75	0,630
Asfalto 0,6 – 2,36	0,315

Árido grueso

* Fracción	Tamaño de partículas (mm)	Abertura nominal del tamiz (mm)
1	37,5	4,75 (Nº 4)
2	19 - 37,5	4,75 (Nº 4)
3	9,5 - 19	4,75 (Nº 4)
4	4,75 - 9,5	2,36 (Nº 8)
5	2,36 - 4,75	1,18 (Nº 16)

*Fracción 1, 2, 3 y 4 para hormigón

Fracción 1, 2, 3, 4 y 5 para asfalto

- e. Efectúe el lavado dejando caer agua corriente sobre la muestra o fracción de muestra colocada en el tamiz correspondiente, agite manualmente hasta eliminar todos los residuos de partículas desmenuzables.
- f. Retire las partículas retenidas y séquelas hasta masa constante en horno a temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 10^\circ \text{F}$). Luego deje enfriar a temperatura ambiente.
- g. Mida y registre la masa del material retenido como masa final de la fracción correspondiente (m_f), aproximando a 0,1 g en el árido fino y a 1 g en el árido grueso.

6.3.1.3.6. CÁLCULOS

A.ÁRIDO FINO

Calcule el contenido de partículas desmenuzables del árido fino como la pérdida de masa de la muestra de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 0,1%:

$$P (\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100$$

Donde:

- P: Pérdida de masa del árido fino (%).
 m_i : Masa inicial de la muestra del árido fino (g).
 m_f : Masa final de la muestra del árido fino (g).

B.ÁRIDO GRUESO

- a) Calcule el porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción de muestra de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 0,1 %:

$$P_n (\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times P_{pr}$$

Donde:

- P_n : Porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción de muestra de árido grueso (%)
 m_i : Masa inicial de la fracción (g)
 m_f : Masa final de la fracción (g)
 P_{pr} : Porcentaje parcial retenido correspondiente a la fracción el análisis granulométrico (%).
- b) Considere que las fracciones no ensayadas de acuerdo con lo especificado en el punto 10, tienen una pérdida de masa igual a la media aritmética de las pérdidas de las dos fracciones inmediatamente superior e inferior. Si se trata de una fracción extrema, considere que tiene una pérdida igual a la de la fracción más próxima.
- c) Calcule el contenido de partículas desmenuzables del árido grueso como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra, de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a 0,1 %:

$$P(\%) = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4)$$

Nota 3: para Asfalto, considerar además P_5 .

6.3.1.3.7. INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- Nombre del contrato y contratista.
- Procedencia de la muestra.
- Resultado del ensayo.
- Fecha de ensayo.
- Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al pétreo (por ejemplo serie de tamices empleada).
- Referencia a este método.

SECCION 6.3.1.4. MÉTODO PARA TAMIZAR Y DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA (ASTM C 136 AASHTO T27)

6.3.1.4.1. OBJETO

Este método establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

6.3.1.4.2. DEFINICIONES

A. GRANULOMETRÍA

Distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un árido.

B. PORCENTAJE PARCIAL RETENIDO EN UN TAMIZ

Porcentaje en masa correspondiente a la fracción directamente retenida en un determinado tamiz.

C. PORCENTAJE ACUMULADO RETENIDO EN UN TAMIZ

Porcentaje en masa de todas las partículas de mayor tamaño que la abertura de un determinado tamiz. Se calcula como la suma del porcentaje parcial retenido en ese tamiz, más todos los porcentajes parciales retenidos en los tamices de mayor abertura.

D. PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA POR UN TAMIZ

Porcentaje en masa de todas las partículas de menor tamaño que la abertura de un determinado tamiz. Se calcula como la diferencia entre el 100% y el porcentaje acumulado retenido en ese tamiz.

6.3.1.4.3. EQUIPOS Y MATERIALES

1. Balanza

Debe tener una capacidad superior a la masa de la muestra más el recipiente de pesaje y una precisión de 0,1 g.

2. Tamices

Son tejidos, de alambre y abertura cuadrada, y sus tamaños nominales de abertura pertenecen a las series que se indican en la **Tabla 6.3_3**, esta serie de tamaños numerales esta normada por IBNORCA.

Tabla 6.3_3. SERIE DE TAMICES ESCOGIDOS

Tamaños nominales de abertura	mm	75	63	50	37,5	25	19	12,5	9,5	6,3
ASTM		(3")	(2 ½")	(2")	(1 ½")	(3/8")	(3/4")	(1/2")	(3/8")	(¼")

Tamaños nominales de abertura	mm	4,75	2,36	2,0	1,18	0,6	0,3	0,15	0,075
	ASTM	(Nº4)	(Nº8)	(Nº10)	(Nº 16)	(Nº 30)	(Nº50)	(Nº100)	(Nº200)

Nota 1: Cuando no se cuente con tamices de aberturas nominales en mm, los tamaños nominales de los tamices podrán ser los correspondientes a ASTM.

- Los marcos de los tamices deben ser metálicos y suficientemente rígidos y firmes para fijar y ajustar las telas de alambre, a fin de evitar pérdidas de material durante el tamizado y alteraciones en la abertura de las mallas. Deben ser circulares, con diámetros de 200 mm y 300 mm, preferentemente para los gruesos.
- Cada juego de tamices debe contar con un depósito que ajuste perfectamente, para la recepción del residuo más fino.
- Cada juego de tamices debe contar con una tapa que ajuste perfectamente para evitar pérdidas de material.

3. Horno

Provisto de circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

4. Herramientas y accesorios

Espátulas, brochas, recipientes para secado, recipientes para pesaje, etc.

6.3.1.4.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con las Secciones 6.3.1.1 y 6.3.1.2

Nota 2: Las muestras de áridos finos o áridos mezclados deben humedecerse antes de la reducción para evitar segregaciones y pérdida de polvo.

B. ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

- Homogenice cuidadosamente el total de la muestra de laboratorio en estado húmedo y redúzcala por cuarteo, de acuerdo con la Sección 6.3.1.2 hasta que obtenga, cuando esté seca, un tamaño de muestra ligeramente superior a los valores que se indican en el punto "Tamaño de la muestra de ensayo".
- No se debe reducir la muestra de laboratorio en estado seco, ni tampoco reducirla a una masa exacta predeterminada.
- Seque la muestra hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$.

C. TAMAÑO DE A MUESTRA DE ENSAYO

C.1. Para el árido fino

- Cuando se emplean los tamices de 200 mm de diámetro, la muestra de ensayo en estado seco debe tener una masa ligeramente superior a los valores que se indican en **Tabla 6.3_4**.

Tabla 6.3_4. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO DEL ÁRIDO FINO

Tamiz (mm)	% Retenido	Masa mínima de la muestra (g)
4,75	≤ 5	500
2,36	≤ 5	100

- b) Los tamaños de muestra indicados en la **Tabla 6.3_4** podrán aumentarse proporcionalmente cuando se empleen tamices de mayor tamaño, siempre que se cumpla lo establecido en 9 c).
- c) La masa máxima de la muestra será tal que la fracción retenida en cualquiera de los tamices al terminar la operación de tamizado sea inferior a 0,6 g por cm³ de superficie de tamizado. En tamices de 200 mm de diámetro dicha fracción debe ser inferior a 200 g.

C.2. Para los áridos gruesos.

- a) Cuando se emplean tamices de 300 mm de diámetro, la muestra de ensayo en estado seco debe tener una masa ligeramente superior a los valores que se indican en **Tabla 6.3_5**

Tabla 6.3_5. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO DEL ÁRIDO GRUESO

Tamaño máximo absoluto (mm)	Masa mínima de la muestra (KG)
75	32
63	25
50	20
37,5	16
25,0	10
19	8
12,5	5
9,5	4

- b) Cuando una muestra contenga una fracción de árido fino superior al 15%, el material debe separarse por el tamiz de 4,75 mm o 2,36 mm, según corresponda a hormigón o asfalto, respectivamente, debiéndose determinar y registrar el porcentaje en masa de ambas fracciones. Trate las fracciones de árido fino y árido grueso de acuerdo con 9 y 10, respectivamente.
- c) Los tamaños de muestra indicados en la **Tabla 6.3_5** podrán aumentarse proporcionalmente cuando se empleen tamices de mayor tamaño, siempre que se cumpla lo que establece el 10 d).
- d) La masa máxima de la muestra debe ser tal que la fracción retenida en cualquiera de los tamices al terminar la operación de tamizado pueda distribuirse en una sola capa sobre la malla de tejido de alambre.

6.3.1.4.5. PROCEDIMIENTO

A. PREPARACIÓN DE TAMICES

Seleccione un juego de tamices de acuerdo con la especificación correspondiente al material por ensayar. Dispóngalos según aberturas decrecientes, montados sobre el depósito receptor y provisto de su tapa. Todos estos elementos deben estar limpios y secos. Verifique los tamaños de abertura de las mallas, a lo menos una vez cada seis meses.

B. TAMIZADO

Efectúelo en dos etapas:

- Un tamizado inicial que puede ser manual o mecánico
- Un tamizado final que debe ser manual.

Nota 3: Se recomienda efectuar primero un tamizado húmedo por el tamiz de 0,075 mm de acuerdo con la Sección 6.3.1.6, y después efectuar el tamizado de acuerdo con el presente método. Para el cálculo de la granulometría tome como base 100%, la pesada de la muestra de ensayo en estado seco previa al tamizado húmedo.

C. TAMIZADO INICIAL

- Determine la masa de la muestra de ensayo en estado seco, registre aproximando a 1 g para áridos finos y a 10 g para áridos gruesos; vacíela sobre el tamiz superior y cubra con la tapa.
- Agite el conjunto de tamices por un período suficiente para aproximarse a la condición que se establece en 14 g).

D. TAMIZADO FINAL

- Retire el primer tamiz, provisto de depósito y tapa.
- Sosténgalo de un costado con una mano, manteniéndolo ligeramente inclinado.
- Golpee firmemente el costado libre hacia arriba con la palma de la otra mano a un ritmo de 150 golpes/min.
- Gire el tamiz cada 25 golpes en 1/6 de vuelta. Al completar cada ciclo de 150 golpes, pese separadamente el material retenido sobre el tamiz y el material que pasa, recogido en el depósito.
- Traslade el material que pasa en cada ciclo al tamiz siguiente.
- Repita el ciclo en el mismo tamiz con el material retenido hasta que se recoja en el depósito una masa inferior al 1% de la masa retenida, con lo cual dé por terminado el tamizado de esa fracción.
- Retire el tamiz siguiente provisto de depósito y tapa para efectuar con dicho tamiz los ciclos necesarios, y así sucesivamente hasta completar todos los tamices.

Nota 4: Si resulta difícil el tamizado manual de gravas con tamices de 300 mm de diámetro, se recomienda efectuar los ciclos en tamices de 200 mm de diámetro, cuidando que el material pueda distribuirse formando una sola capa.

E. DETERMINACIÓN DE LA MASA

- Determine la masa final del material retenido en cada tamiz y del material que pasa por el tamiz de menor abertura, recogido en el depósito. Registre con la aproximación que sea mayor entre 1 g y 0,1% de la pesada.

6.3.1.4.6. CÁLCULOS

- a. Sume y registre la masa total (100%) de las fracciones retenidas en todos los tamices y en el depósito receptor. Esta suma no debe diferir de la masa inicial registrada en 13, en más de 3% para los áridos finos y de 0,5% para los áridos gruesos.
- b. Cuando no se cumpla con lo especificado en 16, rechace el ensayo y efectúe otro con una muestra gemela.
- c. Calcule el porcentaje parcial retenido en cada tamiz, referido a la masa total de las fracciones retenidas, aproximando al 1%.
- d. Exprese la granulometría como porcentaje acumulado que pasa, indicando como primer resultado el del menor tamiz en que pasa el 100% y como último resultado, el del primer tamiz en que el porcentaje sea 0%.
- e. Adicionalmente la granulometría se puede expresar de acuerdo con cualquiera de las siguientes formas:
 - Como porcentaje acumulado retenido, indicando como primer resultado el del menor tamiz en que queda retenido un porcentaje igual a 0%, y como último resultado el del primer tamiz en que el porcentaje acumulado retenido sea 100%.
 - Como porcentaje parcial retenido.

6.3.1.4.7. EXPRESIÓN GRÁFICA

La expresión gráfica de la granulometría de los áridos, se debe hacer en un sistema de coordenadas ortogonales, cuya abscisa, a escala logarítmica, indica las aberturas nominales y cuya ordenada, a escala lineal, indica los valores de la granulometría en las formas señaladas en 19 y 20.

SECCION 6.3.1.5. CONTENIDO APROXIMADO DE MATERIA ORGÁNICA EN ARENAS USADAS EN LA PREPARACIÓN DE MORTEROS Y HORMIGONES (ASTM C 40 AASHTO T21)

6.3.1.5.1. OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar, por comparación de coloraciones, la presencia de impurezas orgánicas en las arenas. Las prescripciones de este método se aplican a las arenas para hormigones.

6.3.1.5.2. DEFINICIONES

E.1. Índice de Coloración

En términos de ácido tánico, superior a 500 partes por millón, es la característica de una solución que tiene una intensidad de color superior a la solución tipo preparada de acuerdo con el punto 5.

6.3.1.5.3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Extraiga y prepare las muestras de arena en conformidad con la Sección 6.3.1.1 y 6.3.1.2.

6.3.1.5.4. REACTIVOS

E.1. Solución de Ácido Tánico al 2%.

Se prepara disolviendo 2 g de ácido tánico en una mezcla de 10 ml de alcohol de 95% y 90 ml de agua destilada.

E.2. Solución de Hidróxido de Sodio al 3%.

Se prepara disolviendo 30 g de hidróxido de sodio en 970 g de agua destilada.

E.3. Solución Tipo de Ácido Tánico, de 500 partes por millón.

Se prepara agregando 2,5 ml de la solución de ácido tánico al 2% a 97,5 ml de la solución de hidróxido de sodio al 3%. Agite y deje en reposo durante 24 h.

E.4. Ácido Tánico

El ácido tánico empleado en la preparación de la solución tipo indicada en el punto 5, debe cumplir con las siguientes condiciones:

- a) Al adicionar un volumen igual de alcohol a una solución acuosa de ácido tánico al 20%, no deberá producirse turbidez.
- b) Al agitar una solución acuosa al 20% con la mitad de su volumen de éter, éste debe permanecer límpido.

- c) La pérdida en peso del ácido tánico, determinada por calentamiento de éste a 100°C, no debe exceder del 10%.
- d) El peso de las cenizas obtenidas por calcinación de una muestra de ácido tánico, no debe exceder del 0,2 % del peso de ésta.

6.3.1.5.5. PROCEDIMIENTO

- a) Coloque en un frasco, de vidrio blanco transparente, 200 g de la muestra de arena junto con 100 ml de la solución de hidróxido de sodio al 3%, o un múltiplo de esas cantidades. Agite vigorosamente el frasco y deje en reposo durante 24 h.
- b) Compare por colorimetría la solución tipo, colocada en un vaso de dimensiones y calidad igual al especificado en el párrafo anterior, con la solución indicada en el punto a). Ambas soluciones deberán prepararse simultáneamente.
- c) Como resultado de la determinación colorimétrica, informe la coloración de la solución en estudio, indicando si es más o menos intensa o de igual color que la solución tipo. Si la coloración es más intensa se considera que la muestra puede contener materia orgánica perjudicial.

SECCION 6.3.1.6.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL MATERIAL FINO MENOR QUE 0,075 MM (ASTM C 117 AASHTO T11)

6.3.1.6.1. OBJETO

El método establece el procedimiento mediante el tamizado húmedo para determinar el contenido de material fino compuesto por partículas inferiores a 0,075mm (Nº 200) en los áridos.

Este método se aplica al ensayo de áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, mezclas asfálticas y tratamientos superficiales. Es aplicable a materiales cuyo material fino no experimente alteraciones físicas o se aglomere por efecto del secado.

6.3.1.6.2. EQUIPOS Y MATERIALES

E.1. Balanza

Debe tener una capacidad superior a la masa de la muestra de ensayo más el recipiente de pesaje y una precisión de 0,1 g.

E.2. Tamices

Serán dos tamices, el superior de 1,18mm (Nº 16) y el inferior de 0,075mm (Nº 200).

E.3. Recipiente para lavado

Debe ser impermeable, estanco y de forma y tamaño tales que permitan contener la muestra de ensayo completamente cubierta por agua, y agitarla sin pérdida de partes de la muestra o del agua.

E.4. Horno

Provisto de circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

E.5. Herramientas y accesorios

Espátula, brocha, recipiente para pesaje, recipiente para secado, etc.

6.3.1.6.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

E.1. Extracción de muestras

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con las **Secciones 6.3.1.1** y **6.3.1.2**

E.2. Acondicionamiento de la muestra de ensayo

a. Homogenice cuidadosamente el total de la muestra de laboratorio en estado húmedo y redúzcala por cuarteo de acuerdo con la Sección 6.3.1.2, hasta obtener, cuando esté seca, el tamaño de muestra de ensayo que se indica en el punto "Tamaño de la muestra de ensayo". No se debe reducir cuando la muestra esté en estado seco, ni tampoco reducir hasta una masa exacta predeterminada.

b. Seque la muestra hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

Tamaño de la muestra de ensayo

- c. La muestra de ensayo en estado seco debe tener una masa ligeramente superior a los valores indicados en **Tabla 6.3_6**, de acuerdo al tamaño máximo nominal del árido.

Tabla 6.3_6. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Tamaño máximo de los áridos	Masa mínima de la muestra seca
37,5	5.000
19	2.500
9,5	2.000
4,75	500
2,36	100

6.3.1.6.4. PROCEDIMIENTO

- Determine y registre la masa inicial de la muestra de ensayo en estado seco (B), aproximando a 0,1 g para los áridos finos y a 1 g para los áridos gruesos o integral.
- Coloque la muestra de ensayo en el recipiente de lavado y agregue agua potable en cantidad suficiente para cubrirla.

Nota 1: Al agua no deben agregarse detergentes, agentes diluyentes o floculantes ni otras sustancias.
- Agite la muestra con agua, de modo de separar el material más fino, dejándolo en suspensión o en disolución.
- Vacíe inmediatamente el agua con el material más fino en suspensión y en disolución, a través de los tamices dispuestos de mayor a menor.
- Agregue nuevas cargas de agua y repita la operación hasta que el agua agitada con la muestra permanezca limpia y clara.
- Reúna el material retenido en ambos tamices con el material decantado en el recipiente de lavado.
- Seque el material reunido hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Pese y registre la masa de la muestra de ensayo lavado y seco (C), aproximando a 0,1 g para los áridos finos y a 1 g para los áridos gruesos e integral.

6.3.1.6.5. CÁLCULOS

- Calcule el contenido de material fino inferior que 0,075mm (Nº 200) aproximando a 0,1%, según la fórmula siguiente:

$$A(\%) = \frac{B - C}{B} \times 100$$

Donde:

A: Contenido de material fino inferior que 0,075 (%)

- B: Masa inicial de la muestra de ensayo seca (g).
- C: Masa de la muestra de ensayo lavada y seca.
- b. Cuando el árido contenga sales solubles, determine previamente su contenido según el Método correspondiente y descuéntelo del resultado obtenido en 17.

6.3.1.6.6. INFORME

El informe incluirá lo siguiente:

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Clase de áridos.
- c) Procedencia de la muestra.
- d) Resultado del ensayo.
- e) Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al árido.
- f) Referencia a este método.

SECCION 6.3.1.7. | CONTENIDO TOTAL DE AGUA DE LOS ÁRIDOS POR SECADO (ASTM C 566)

6.3.1.7.1. OBJETO

Este método se aplica para determinar, por secado, el porcentaje de humedad evaporable, en una muestra de áridos.

6.3.1.7.2. USO Y SIGNIFICADO

- a. Este método es suficientemente exacto para propósitos normales, tales como el reajuste del peso de tongadas, durante la preparación de mezclas de hormigón. Generalmente, con él se mide la humedad en la muestra de ensayo, lo más confiablemente que puede hacerse, para representar un suministro de áridos.
- b. En raras ocasiones, cuando el árido mismo es afectado por la acción del calor, o cuando se necesitan medidas más refinadas, este ensayo puede no ser aplicable, o requerir modificaciones.
- c. En el caso de áridos gruesos, las partículas más grandes, especialmente las mayores de 50 mm (2"), requerirán de tiempos más prolongados para que el agua viaje del interior de la partícula hasta la superficie. El usuario del método deberá determinar por tanteos, si existen formas más rápidas y confiables para ejecutar este ensayo, con las partículas grandes.

6.3.1.7.3. EQUIPOS Y MATERIALES

E.1. Balanza

Una balanza o báscula exacta, legible y con precisión dentro del 0,1% de la carga de ensayo, en cualquier punto del intervalo de utilización. Dentro de cualquier intervalo igual al 10% de la capacidad del aparato de pesaje, la indicación del peso será exacta dentro del 0,1%, para las diferentes pesadas.

- Horno ventilado capaz de mantener la temperatura alrededor de la muestra, en $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$).
- Recipientes para muestras, que no se afecten por el calor; de un tamaño suficiente para contener la muestra, sin peligro de derramamiento, y con una forma tal, que el espesor de la muestra depositada, no exceda de un quinto de la menor dimensión lateral.

Precaución: Cuando se utilice horno microondas, el recipiente no deberá ser metálico.

- Agitador, cuchara metálica o espátula, de tamaño adecuado.

6.3.1.7.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

E.1. Muestreo

- a. El muestreo se hará generalmente de acuerdo a lo establecido en las **Secciones 6.3.1.1 y 6.3.1.2.**

E.2. Características de la muestra

- a. Obténgase una muestra representativa de áridos, con el contenido de agua que tiene, cuando se reciba de la fuente de suministro que está siendo ensayada, y que en el caso de áridos con peso normal, tengan el tamaño indicado en la **Tabla 6.3_7**.

Tabla 6.3_7. TAMAÑO DE MUESTRAS DE ÁRIDOS CON PESO NORMAL

Tamaño máximo nominal del agregado (A)		Peso mínimo de la muestra (B) (kg)
Normal (mm)	Alternativo (pulg)	
4,75	(Nº4)	0,5
9,5	(3/8")	1,5
12,5	(1/2")	2
19	(3/4")	3
25,0	(1")	4
37,5	(1 ½")	6
50,0	(2")	8
63,0	(2 ½")	10
75,0	(3")	13
90,0	(3 ½")	16
100,0	(4")	25
150,0	(6")	50

Basado en tamices de malla cuadrada.

Para determinar el peso mínimo de muestras de áridos livianos, multiplíquese el valor señalado, por la disminución aproximada de peso unitario seco en kg/m³ y divídase por 1600.

6.3.1.7.5. PROCEDIMIENTO

- Pésese la muestra con precisión del 0,1%, evitando pérdidas de humedad, por posibles demoras.
- Séquese enteramente la muestra en el recipiente, utilizando el horno, cuidando mucho que no se pierdan partículas de áridos. Un calentamiento demasiado rápido, puede ocasionar la explosión de algunas partículas, con la pérdida consecuente.
- La muestra estará enteramente seca, cuando un calentamiento posterior cause menos del 0,1% de pérdida de peso.
- Pésese la muestra seca con precisión del 0,1%, después de que se ha enfriado suficientemente, para no dañar la balanza.

6.3.1.7.6. CÁLCULOS

Calcúlese el contenido total de agua como sigue:

$$w_p = \frac{100 (W - D)}{D}$$

Donde:

- w_p : Humedad de la muestra (%).
- W: Peso original de la muestra (g).
- D: Peso de la muestra seca (g).

La humedad superficial es igual a la diferencia entre el contenido total de agua y la absorción, con todos los valores basados, en el peso seco. La absorción puede determinarse a partir de los ensayos **H0110**, para áridos finos y **H0109**, para áridos gruesos.

6.3.1.7.7. PRECISIÓN Y EXACTITUD

No hay datos suficientes para establecer un planteamiento sobre precisión y exactitud. Puesto que cualquier tamaño de muestra que supere las cantidades mínimas de la **Tabla 6.3_7** es admitido, se cree que no es posible establecer un planteamiento prefijado.

Puede desarrollarse, para cada aplicación particular de este método de ensayo, un señalamiento de precisión asociado con el tamaño real de la muestra y el equipo utilizado, (1) haciendo ensayos duplicados sobre porciones iguales de la misma muestra; (2) tomando muestras duplicadas, representativas del mismo árido. También, se podrían sacar datos de precisión de los procedimientos aplicados, añadiendo una cantidad conocida de agua, al árido seco, cuidando que no se pierda agua antes del ensayo.

SECCION 6.3.1.8.

MÉTODOS PARA DETERMINAR LA DENSIDAD APARENTE (ASTM E 30 ASTM C 29)

6.3.1.8.1. OBJETO

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad aparente de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

6.3.1.8.2. DEFINICIONES

E.1. Huecos

Espacios vacíos entre las partículas de un árido.

E.2. Poros

Espacios vacíos interiores de una partícula de áridos.

- a) Poro accesible: poro permeable o abierto.
- b) Poro inaccesible: poro impermeable o cerrado.

E.3. Densidad

Es la tasa entre la masa (m) de una sustancia y su volumen (v) a una temperatura especificada.

Se expresa en kilogramos por metro cúbico (kg/m³).

- a) Densidad aparente (densidad a granel; densidad bruta) (a). Densidad que considera el volumen macizo de las partículas de un árido más el volumen de los poros y de los huecos. Corresponde a la capacidad de la medida que lo contiene.
- b) Densidad aparente compactada (ac). Densidad aparente del árido compactado en la medida que lo contiene, según los procedimientos indicados en este método.
- c) Densidad aparente suelta (as). Densidad aparente de áridos vaciado en la medida que lo contiene, según el procedimiento indicado en este método.

E.4. Medida

Recipiente de capacidad volumétrica normal.

E.5. Secado hasta masa constante

Límite de secado en que dos pesadas sucesivas, separadas por una hora de secado en horno, difieren en un porcentaje igual o inferior al 0,1 % de la menor masa determinada.

6.3.1.8.3. EQUIPOS Y MATERIALES

E.1. Balanza

De capacidad superior a la masa de la medida llena con un árido de densidad aparente de 2.000 kg/m³ y una precisión de 0,1 g.

E.2. Horno

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

E.3. Varilla pisón

Barra cilíndrica de acero liso de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud, con sus extremos terminados en semiesferas de 16 mm de diámetro.

E.4. Medidas

Metálicas, impermeables y provistas de dos asas. Su forma interior debe ser un cilindro recto abierto por una de sus caras planas y rectificado para asegurar sus dimensiones.

- a) Dimensiones. Las dimensiones son las que se indican en la **Tabla 6.3_8** y podrán emplearse para áridos de tamaño máximo nominal igual o inferior a los señalados en la primera columna.

Tabla 6.3_8. DIMENSIONES DE LAS MEDIDAS

Tamaño máximo nominal de áridos (mm)	Capacidad volumétrica		Diámetro interior (mm)	Altura interior (mm)	Espesor mínimo del metal	
	m ³	L			Base (mm)	Pared (mm)
16	0,003	3	155±2	160±2	5	2,5
25	0,010	10	205±2	305±2	5	2,5
50	0,015	15	255±2	295±2	5	3,0
100	0,030	30	355±2	305±2	5	3,0

* Basado en tamices de abertura cuadrada de acuerdo con la **Sección 6.3.1.4**.

- b) Refuerzos. Además de cumplir con los espesores mínimos indicados en la **Tabla 6.3_8**, las medidas de 15 y 30 litros serán reforzadas en sus bordes por una plequina de 3 a 5 mm de espesor y 40 mm de ancho, a fin de conservar su forma y dimensiones interiores en el trabajo brusco que requiera este ensayo.
- c) Determinación de la capacidad volumétrica de la medida. Determine el volumen de la medida con una precisión de 0,1%, pesando la masa de agua que llena la medida y dividiendo esta masa por la densidad del agua a la temperatura en que se encuentra.

E.5. Herramientas y accesorios

Palas, brocha, caja para secado, etc., necesarias para los procedimientos establecidos en el presente método.

6.3.1.8.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con las **Secciones 6.3.1.2 y 6.3.1.2**.

B. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Será un volumen de áridos aproximadamente igual al doble de la capacidad volumétrica de la medida correspondiente.

C. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Pueden emplearse áridos provenientes del ensayo de tamizado, debidamente homogeneizados.

Seque la muestra de ensayo hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ y homogenícela cuidadosamente, asegurando la incorporación de todas las partículas más finas que la componen.

6.3.1.8.5. PROCEDIMIENTO

A. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE COMPACTADA

A.1. Procedimiento por apisonado

Se aplica a áridos de tamaño nominal igual o menor que 50mm (2").

- a) Llene la medida en tres capas de espesores aproximadamente iguales, teniendo la última capa un exceso de áridos por sobre el borde de la medida.
- b) Empareje cada capa y compacte mediante 25 golpes de pisón uniformemente repartidos.
- c) Apisone la capa inferior en todo su espesor evitando dañar el fondo de la medida.
- d) Apisone las capas superiores haciendo penetrar el pisón en la capa inmediatamente inferior.
- e) Elimine el exceso de áridos empleando la varilla pisón como regla de enrase, sin presionar (Nota 1).
- f) Determine y registre la masa (kg/m^3) de áridos compactado que llena la medida, aproximando al 0,1 %.

Nota 1: En los áridos gruesos se considera que las pequeñas salientes de algunas partículas se compensan con los huecos que quedan hacia el interior en relación al plano del borde de la medida, por lo tanto evite rellenar dichos huecos agregando partículas menores.

A.2. Procedimiento por percusión

Se aplica a los áridos de tamaño máximo nominal o superior que 50mm (2") e igual o inferior que 100mm (4").

- a) Llene la medida en tres capas de espesores aproximadamente iguales, teniendo la última capa un exceso de áridos por sobre el borde de la medida.
- b) Empareje cada capa.
- c) Compacte cada capa levantando la medida alternativamente por sus asas opuestas, a una altura aproximada de 5 cm. y dejándola caer contra una base firme (por ejemplo un pavimento de hormigón).
- d) Repita hasta completar 50 percusiones dejando caer la medida 25 veces de cada asa.

- e) Elimine el exceso de áridos empleando la varilla pisón como regla de enrase, sin presionar (**Nota 1**).
- f) Determine y registre la masa (kg/m^3) de áridos compactado que llena la medida, aproximando al 0,1%.

B. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE SUELTA

B.1. Procedimiento por simple vaciado

Se aplica a los áridos de tamaño máximo nominal igual o inferior que 100 mm.

Nota 2: Este procedimiento es también aplicable a los áridos finos en estado húmedo.

- a) Llene la medida con una pala, descargándola desde una altura de aproximadamente 5 cm sobre el borde superior de la medida.
- b) Desplace la pala o poruña alrededor del borde, distribuyendo uniformemente el vaciado.
- c) Elimine el exceso de pétreo empleando la varilla pisón como regla de enrase, sin presionar
- d) (**Nota 1**).
- e) Determine y registre la masa (kg/m^3) de áridos suelto que llena la medida aproximando al 0,1%.

C. DETERMINACIÓN DE HUECOS

Efectué la determinación de densidad real seca de acuerdo con la **Sección 6.3.1.9** para los áridos gruesos y con la **Sección 6.3.1.10** para los áridos finos.

Efectúe la determinación de densidad aparente como se hizo anteriormente.

6.3.1.8.6. CÁLCULOS

A. DENSIDAD APARENTE COMPACTADA (P_{AC})

Calcule la densidad aparente compactada para cada ensayo según la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m^3 :

$$\rho_{ac}(\text{kg/m}^3) = \frac{m_c}{V}$$

Donde:

m_c : masa de áridos compactado que llena la medida (kg/m^3).

V: Capacidad volumétrica de la medida (m^3).

B. DENSIDAD APARENTE SUELTA (P_{AS})

Calcule la densidad aparente suelta (**Nota 3**) para cada ensayo según la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m^3 .

$$\rho_{as}(\text{kg/m}^3) = \frac{m_s}{V}$$

Donde:

m_s : masa de áridos compactado que llena la medida (kg/m^3).

V: Capacidad volumétrica de la medida (m^3).

Calcule la densidad aparente como el promedio aritmético de dos ensayos sobre muestras gemelas, aproximando a $10 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Calcule el contenido de huecos de acuerdo con la formula siguiente, aproximando al 1%.

$$H(\%) = \frac{\rho_{RS} - \rho_a}{\rho_{RS}} \times 1.000$$

Donde:

H: Contenido de huecos (%)

ρ_{RS} : Densidad real seca de áridos, determinado en el punto 15b del método H0109 (Kg/m^3).

ρ_a : Densidad aparente de áridos determinado en el punto 18 (Kg/m^3).

C. ACEPTACIÓN DE RESULTADOS

Acepte la determinación de cada densidad aparente, cuando la diferencia entre los resultados obtenidos por un mismo operador, en ensayos sobre muestras gemelas, sea igual o inferior que $30 \text{ (kg}/\text{m}^3)$.

Ensaye dos nuevas muestras gemelas cuando no se cumpla con lo especificado en el párrafo Anterior.

Nota 3: Para el uso de los áridos finos en estado húmedo, calcule la densidad aparente suelta según la fórmula siguiente:

$$\rho_{as\text{húmeda}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{m_s\text{húmeda}}{V}$$

Para aceptar la determinación, la diferencia entre resultados de ensayo sobre muestras gemelas, deberá ser igual o inferior que $50 \text{ Kg.} / \text{m}^3$.

Cuando se realice este ensayo, en el Informe deberá indicarse también el contenido de humedad de áridos expresado como porcentaje de la masa de áridos seco.

6.3.1.8.7. INFORME

El informe incluirá lo siguiente:

- Nombre del contrato y contratista.
- Clase de áridos.
- Procedencia de la muestra.
- Procedimiento del ensayo empleado.

- e) Resultado del ensayo.
- f) Fecha de ensayo.
- g) Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al árido analizado.

SECCION 6.3.1.9. MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL, LA DENSIDAD NETA Y LA ABSORCIÓN DE AGUA EN ÁRIDOS GRUESOS (ASTM C 127 AASHTO T85)

6.3.1.9.1. OBJETO

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos.

Es aplicable a los áridos gruesos que se emplean en el análisis de suelos, elaboración de hormigones y obras asfálticas.

6.3.1.9.2. DEFINICIONES

C.1. Áridos grueso

Material árido retenido en el tamiz de 4,75 mm (Nº 4) en el caso de suelos y hormigones, y en el tamiz de 2,36 mm (Nº 8) cuando se utiliza en asfaltos.

C.2. Huecos

Espacios vacíos entre las partículas de un material árido.

C.3. Poros

Espacios vacíos interiores de una partícula de material árido.

- a) Poro accesible: poro permeable o abierto.
- b) Poro inaccesible: poro impermeable o cerrado.

C.4. Densidad (ρ)

Es la tasa entre la masa (m) y el volumen (v) de un material árido a una temperatura específica. Se expresa en kg/m^3 .

- a) Densidad real (ρ_R). Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material árido, más el volumen de los poros accesibles e inaccesibles de esas partículas.
 - Densidad real de áridos seco (ρ_{RS}). Densidad real en que se considera solamente la masa de áridos seco.
 - Densidad real de áridos saturado superficialmente seco (ρ_{RT}). Densidad real en que se considera la masa de áridos seco más la masa del agua que llena los poros accesibles.
- b) Densidad neta (ρ_N). Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material árido más el volumen de los poros inaccesibles.

C.5. Absorción de agua (α)

Masa de agua necesaria para llevar un material árido del estado seco al estado saturado superficialmente seco. Se expresa como porcentaje referido a la masa de áridos seco.

C.6. Áridos seco

Material secado en horno hasta masa constante. Esta condición se obtiene cuando dos pesadas sucesivas, separadas por 1 h de secado a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 10^\circ \text{F}$), difieren en un porcentaje igual o inferior al 0,1 % de la menor masa determinada.

6.3.1.9.3. EQUIPOS Y MATERIALES

C.1. Balanza

De capacidad superior a la masa del canastillo portamuestra más la masa de la muestra de ensayo y una precisión mínima de 1 g.

C.2. Horno

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

C.3. Canastillo porta muestra

De alambre de acero inoxidable lo suficientemente resistente para soportar el peso de la muestra, con malla de abertura igual o inferior que 2 mm y de capacidad igual o superior a 4l.

Además, debe estar provisto de un dispositivo que permita suspenderlo del platillo de la balanza.

C.4. Estanque

Impermeable, inoxidable, de forma y capacidad tal, que permita contener totalmente y con holgura el canastillo porta muestra, de acuerdo con el procedimiento especificado en este método.

C.5. Recipientes

Deben estar limpios, de material resistente, estancos y de capacidad suficiente para contener la muestra de ensayo.

6.3.1.9.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS

A. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con las **Secciones 6.3.1.2 y 6.3.1.1.**

B. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

La cantidad mínima de muestra para el ensayo se determina según la **Tabla 6.3_9**, en función del tamaño máximo nominal del árido.

Tabla 6.3_9. cANTIDAD MÍNIMA DE MUESTRA SEGÚN TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL ÁRIDO

Tamaño máximo nominal (mm)	Cantidad mínima de muestra (g)
12,5	2.000
19	3.000
25,0	4.000
37,5	5.000
50	8.000

Preparación de la muestra de ensayo

- a) Puede emplear el material proveniente del ensayo de tamizado, debidamente homogeneizado.
- b) Elimine por tamizado las partículas inferiores a 4,75mm (Nº 4), en el caso de hormigones y suelos y las partículas inferiores a 2,36mm (Nº 8), en el caso de asfaltos.
- c) Lave la muestra hasta remover el polvo superficial o cualquier materia extraña adherida a las partículas.
- d) Seque la muestra hasta masa constante en un horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 10^{\circ}\text{F}$).
- e) Enfríe la muestra al aire a temperatura ambiente por un período de 24 ± 4 h.
- f) Sumerja la muestra en agua a temperatura ambiente por un período de 24 ± 4 h.

Nota 1: Se debe tener presente que existen áridos cuya saturación no se completa en 24 h. En ese caso es necesario continuar el control de absorción hasta que dos pesadas sucesivas, separadas por una hora de inmersión, difieran en un porcentaje igual o inferior que el 0,1 % de la menor masa determinada.

6.3.1.9.5. PROCEDIMIENTO

Efectúe las siguientes pesadas a la muestra de ensayo:

A. PESADA AL AIRE AMBIENTE DEL PÉTREO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO

- Retire la muestra del agua y seque superficialmente las partículas, haciéndolas rodar sobre un paño absorbente húmedo hasta que desaparezca la película visible de agua adherida. Seque individualmente las partículas mayores manteniendo el árido, ya secado superficialmente, cubierto por un paño húmedo hasta el momento de pesar. Efectúe toda la operación en el menor tiempo posible.
- Determine inmediatamente la masa de áridos saturado superficialmente seco, por pesada al aire ambiente, aproximando a 1 g. Registre su valor como MSSS.

B. PESADA SUMERGIDA

- Coloque la muestra inmediatamente en el canastillo portamuestra.
- Sumerja el canastillo en agua a $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ($68 \pm 5^{\circ}\text{F}$), por un período de al menos 3 min.
- Determine la masa sumergida, aproximando a 1 g. Registre su valor como MSUM.

Nota 2: Mantenga el canastillo y su contenido totalmente sumergidos durante la operación. Debe procurarse que el elemento de suspensión del canastillo tenga la menor dimensión posible, a fin de minimizar su efecto sobre los resultados.

C. PESADA AL AIRE AMBIENTE DE ÁRIDOS SECO

- Retire la muestra del canastillo y vacíela completamente del recipiente, cuidando de no dejar partículas atrapadas.
- Seque la muestra hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 10^{\circ}\text{F}$).
- Enfríe la muestra hasta temperatura ambiente, en lo posible dentro de un recipiente protegido, para evitar la absorción de humedad del aire.

- Determine la masa de la muestra seca, por pesada al aire ambiente, aproximando a 1 g. Registre su valor como MS.

6.3.1.9.6. CÁLCULOS

A. DENSIDAD REAL (P_R).

- Densidad real del áridos saturado superficialmente seco (ρ_{RT}). Calcule la densidad real de áridos saturado superficialmente seco según la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m³.

$$\rho_{RT} (kg/m^3) = \frac{M_{SSS}}{M_{SSS} - M_{SUM}} \times 1.000 (kg/m^3)$$

- Densidad real de áridos seco (ρ_{RS}). Calcule la densidad real de áridos seco según la fórmula siguiente, aproximando a 1 Kg/m³:

$$\rho_{RS} (kg/m^3) = \frac{M_S}{M_{SSS} - M_{SUM}} \times 1.000 (kg/m^3)$$

B. DENSIDAD NETA (P_N)

Calcule la densidad neta según la fórmula siguiente, aproximado a 1 kg/m³:

$$\alpha (\%) = \frac{M_{SSS} - M_S}{M_S} \times 100$$

Donde:

ρ : Densidad (kg/m³)

α : Absorción (%)

M_{SUM} : Masa del árido sumergido (g).

M_{SSS} : Masa del árido saturado superficialmente seco (g).

M_S : Masa del árido seco

Nota 3: para efectos prácticos se considerará la densidad del agua como 1.000 kg/m³ en lugar del valor real a 20 °C (68 °F) que es 998,20 kg/m³.

C. ABSORCIÓN DE AGUA

Calcule la absorción de agua según la fórmula siguiente, aproximando a la centésima en porcentaje.

D. EXPRESIÓN DE RESULTADOS

- Determine la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de un árido, como el promedio aritmético de dos ensayos sobre muestras gemelas.
- Expresar las densidades en kg/m³, aproximando a 1 kg/m³. Expresar la absorción en porcentaje, aproximando a la centésima.

6.3.1.9.7. PRECISIÓN

Acepte la determinación de densidad real, densidad neta y absorción de agua de los áridos gruesos, cuando la diferencia entre los valores obtenidos de los dos ensayos realizados por uno o más laboratoristas, sea:

- a) Igual o inferior que 20 kg/m^3 en la determinación de densidades.
- b) Igual o inferior que 3 décimas porcentuales en la determinación de la absorción de agua.

6.3.1.9.8. INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Identificación y procedencia de la muestra.
- c) Fecha de muestreo.
- d) Resultado del ensayo.
- e) Fecha de ensayo.
- f) Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al árido analizado.
- g) Referencia a este método.

SECCION 6.3.1.10. MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL, LA DENSIDAD NETA Y LA ABSORCIÓN DE AGUA EN ÁRIDOS FINOS (ASTM C 128 AASHTO T84)

6.3.1.10.1. OBJETO

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los áridos finos.

Es aplicable a los áridos finos, que se emplean en la elaboración de hormigones y obras asfálticas.

6.3.1.10.2. DEFINICIONES

D.1. Áridos Fino

Material árido que pasa el tamiz de 4,75 mm (Nº 4) en el caso de hormigones, y que pasa el tamiz de 2,36 mm (Nº 8) cuando se utiliza en asfaltos.

D.2. Huecos

Espacios vacíos entre las partículas de un material árido.

D.3. Poros

Espacios vacíos interiores de una partícula de material árido.

- a) Poro Accesible: poro permeable o abierto.
- b) Poro Inaccesible: poro impermeable o cerrado.

D.4. Densidad

Es el cociente entre la masa (m) y el volumen (v) de un material árido a una temperatura especificada. Se expresa en kg/m^3 .

- a) Densidad real (ρ_R). Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material árido, más el volumen de los poros accesibles e inaccesibles de esas partículas.
 - Densidad real del árido seco (ρ_{RS}). Densidad real en que se considera solamente la masa del pétreo seco.
 - Densidad real del árido saturado superficialmente seco (ρ_{RT}).
 - Densidad real en que se considera la masa de áridos seco más la masa del agua que llena los poros accesibles.
- b) Densidad neta (ρ_N). Densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de material árido más el volumen de los poros inaccesibles.

D.5. Absorción de agua

Masa de agua necesaria para llevar un material árido del estado seco al estado saturado superficialmente seco. Se expresa como porcentaje referido a la masa de áridos seco.

D.6. Áridos seco

Material secado en horno hasta masa constante. Esta condición se obtiene cuando dos pesadas sucesivas, separadas por 1 hora de secado a 110 ± 5 °C (230 ± 10 ° F), difieren en un porcentaje igual o inferior al 0,1 % de la menor masa determinada.

6.3.1.10.3. EQUIPOS Y MATERIALES

D.1. Balanza

De capacidad superior a 1 kg y una precisión mínima de 0,1 g.

D.2. Horno

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

D.3. Recipientes

Limpios, de material resistente, estancos y de capacidad suficiente para contener la muestra del ensayo.

D.4. Matraz

Es un matraz aforado en el que se pueda introducir fácilmente la muestra de ensayo. Debe llevar una marca de calibración que indique el volumen contenido con una precisión de $\pm 0,1$ ml.

Dicho volumen excederá a lo menos en un 50 % al volumen aparente de la muestra de áridos fino. Se recomienda emplear un matraz de 500 cm³ de capacidad. También puede emplearse un picnómetro.

D.5. Molde

Con forma tronco - cónica, de 40 ± 3 mm de diámetro en la parte superior, 90 ± 3 mm de diámetro en la parte inferior y 75 ± 3 mm de altura. Confeccionado con una plancha metálica de un espesor igual o superior que 0,8 mm.

D.6. Pisón

Es una varilla metálica, con uno de sus extremos de sección plana y circular, de 25 ± 3 mm de diámetro. Debe tener una masa de 340 ± 15 g.

6.3.1.10.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

D.1. Extracción de muestras

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con las **Secciones 6.3.1.2 y 6.3.1.1**.

D.2. Tamaño de la muestra de ensayo

Para cada ensayo se usará una cantidad de áridos fino superior a 50 g e inferior a 500 g.

D.3. Preparación de la muestra de ensayo

- a) Corte el material retenido en tamiz de referencia (4,75mm (Nº 4) para hormigón o 2,36mm (Nº 8) para asfalto).
- b) Si la muestra de laboratorio contiene un porcentaje superior al 15 % de material

retenido sobre el tamiz de referencia, considérela como un integral y determine los porcentajes de la fracción retenida y de la fracción que pasa respecto del total de dicha muestra.

Ensaye la fracción retenida de acuerdo con la **Sección 6.3.1.9** y la fracción que pasa de acuerdo con este Método de ensayo.

- c) Reduzca por cuarteo, de acuerdo con la **Sección 102**, la muestra de terreno o la fracción que pasa indicada en “Preparación de la muestra de ensayo” punto b), a una cantidad de áridos de aproximadamente el doble del tamaño de muestra de laboratorio requerido.

Nota 1: La muestra debe humedecerse antes de efectuar la reducción para evitar la segregación y pérdidas de polvo.

- d) Seque el árido en horno a una temperatura de 110 ± 5 ° C (230 ± 10 ° F)
- e) Cubra el árido en su totalidad con el mínimo de agua a temperatura ambiente, necesaria para asegurar su saturación en un período de 24 ± 4 h.

6.3.1.10.5. PROCEDIMIENTO

- a) Elimine paulatinamente el exceso de agua, evitando la pérdida de finos. Revuelva la muestra frecuentemente para asegurar un secado uniforme, hasta llevarla a su condición suelta.

Nota 2: La eliminación del exceso de agua de la muestra no se debe realizar a fuego directo, ni tampoco utilizar para ello fuertes corrientes de aire.

- b) Coloque el molde cónico sujeto firmemente contra una superficie lisa, plana y no absorbente, con su diámetro mayor hacia abajo, llénelo con el árido en condición suelta en una capa y enrase.
- c) Compacte suavemente con 25 golpes de pisón uniformemente distribuidos sobre la superficie. En cada golpe deje caer el pisón libremente desde una altura de 5 mm sobre la superficie del áridos. Dicha altura debe conservarse, ajustándola a la nueva elevación de la muestra después de cada golpe.
- d) Remueva cuidadosamente todo material sobrante en la superficie. Levante el molde verticalmente. Si hay humedad libre la muestra conservará la forma del cono. En este caso elimine el exceso de humedad, repitiendo el procedimiento, a intervalos frecuentes, desde a).

Cuando, al retirar el molde, el árido caiga suavemente según su talud natural, será indicación que éste ha alcanzado la condición saturada superficialmente seca.

Nota 3: La primera verificación de humedad mediante el moldeo del cono debe hacerse cuando aún permanece un mínimo de agua libre, por lo tanto, si el cono se asienta en esta primera verificación, mezcle unos pocos cm^3 de agua con el árido y déjelo en un recipiente cubierto durante 30 min y proceda desde a).

- e) Inmediatamente que el árido alcance la condición de saturado superficialmente seco, obtenga el tamaño de muestra de ensayo requerido, pese y registre su masa.
- f) Coloque la muestra en el matraz y cúbrala con agua a una temperatura de 20 ± 3 ° C (68 ± 5 ° F), hasta alcanzar aproximadamente 2/3 del volumen del matraz.

- g) Agite el matraz a fin de eliminar burbujas de aire golpeándolo ligeramente contra la palma de la mano. En caso de áridos muy finos, se debe utilizar una bomba de vacío.
- h) Deje reposar durante 1 h manteniendo una temperatura de 20 ± 3 ° C (68 ± 5 ° F).
- i) Llene con agua a 20 ± 3 ° C (68 ± 5 ° F) hasta la marca de calibración, agite y deje reposar un instante.
- j) Mida y registre la masa total del matraz con la muestra de ensayo y el agua (M_a).
- k) Saque la muestra del matraz, evitando pérdidas de material, y séquela hasta masa constante en horno a una temperatura de 110 ± 5 ° C (230 ± 10 ° F). Déjela enfriar a temperatura ambiente. Determine y registre la masa de la muestra de ensayo en condición seca (M_s).
- l) Llene el matraz solamente con agua a una temperatura de 20 ± 3 ° C marca de calibración. Mida y registre la masa del matraz con agua (M_a).

6.3.1.10.6. CÁLCULOS

A. DENSIDAD REAL

- Densidad Real de áridos saturado superficialmente seco (ρ_{RT}). Calcule la densidad real de áridos saturado superficialmente seco, según la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m^3 :

$$\rho_{RT}(\text{kg/m}^3) = \frac{M_{SSS}}{M_a + M_{SSS} + M_m} \times 1.000 (\text{kg/m}^3)$$

$$\rho_{RS}(\text{kg/m}^3) = \frac{M_s}{M_a + M_{SSS} - M_m} \times 1.000 (\text{kg/m}^3)$$

- Densidad Real de áridos Seco (ρ_{RS}). Calcule la densidad real del áridos seco, según la fórmula siguiente, aproximando a 1 Kg/m^3 :

B. DENSIDAD NETA (P_N).

Calcule la densidad neta, según la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m^3 :

$$\rho_N(\text{kg/m}^3) = \frac{M_s}{M_a + M_s - M_m} \times 1.000 (\text{kg/m}^3)$$

C. ABSORCIÓN DE AGUA (A)

Calcule la absorción de agua, según la fórmula siguiente, aproximando a la centésima, en porcentaje:

$$\alpha(\%) = \frac{M_{SSS} - M_s}{M_s} \times 100$$

Donde:

- ρ : Densidad (kg/m^3)
- α : Absorción (%)
- M_s : Masa de la muestra seca (g).

- M_{SSS} : Masa de la muestra saturada superficialmente seca (g).
- M_a : Masa del matraz con agua hasta la marca de calibración (g)
- M_a : Masa del matraz con la muestra más agua hasta la marca de calibración (g).

D. EXPRESIÓN DE RESULTADOS

- La densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de un árido fino, se determinan como el promedio aritmético de dos ensayos sobre muestras gemelas.
- En el caso de un integral, la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los áridos, se calculan como el promedio ponderado de la densidad real, densidad neta y la absorción de agua, respectivamente, obtenidas mediante el ensayo por separado de sus dos fracciones, de acuerdo con las siguientes fórmulas:

$$\rho(\text{kg/m}^3) = \frac{1}{100} \times (\rho_r \cdot P_r + \rho_p \cdot P_p)$$

$$\alpha(\%) = \frac{1}{100} \times (\alpha_r \cdot P_r + \alpha_p \cdot P_p)$$

Donde:

- ρ : Densidad (real o neta) del integral (kg/m^3)
- ρ_r : Densidad (real o neta) de la fracción retenida (kg/m^3)
- ρ_p : Densidad (real o neta) de la fracción que pasa (kg/m^3).
- P_r : Porcentaje en masa de la fracción retenida (%).
- α : Absorción de agua del integral (%).
- α_r : Absorción de agua de la fracción retenida (%).
- α_p : Absorción de agua de la fracción que pasa (%).
- Exprese las densidades en kg/m^3 aproximando a 1 kg/m^3 , y la absorción en porcentaje, aproximando a la centésima.

6.3.1.10.7. PRECISIÓN

Acepte la determinación de densidad real, densidad neta y absorción de agua de los áridos finos, cuando la diferencia entre los valores obtenidos de los dos ensayos realizados por uno o más laboratoristas sea:

- a) Igual o inferior que 20 kg/m^3 en la determinación de densidades.
- b) Igual o inferior que 4 décimas porcentuales en la determinación de la absorción de agua.

6.3.1.10.8. INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Identificación y procedencia de la muestra.
- c) Fecha de muestreo.
- d) Resultado del ensayo.
- e) Fecha de ensayo.
- f) Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al árido analizado.
- g) Referencia a este método.

SECCION 6.3.1.11.

MÉTODO PARA DETERMINACIÓN DEL DESGASTE MEDIANTE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (ASTM C 131 AASHTO T96)

6.3.1.11.1. OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de los áridos mayores a 2,5 mm, mediante la Máquina de Los Ángeles.

6.3.1.11.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A. MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (VER FIGURA 6.3_3)

- a) Tambor de acero de 710 ± 6 mm de diámetro interior y de 510 ± 6 mm de longitud interior montado horizontalmente por sus vástagos axiales con una tolerancia de inclinación de 1 en 100, uno de los cuales debe tener un dispositivo de polea o similar, para acoplar un motor. En su manto cilíndrico debe tener una abertura para introducir la muestra, con una tapa provista de dispositivos para fijarla firmemente en su lugar y que asegure la estanqueidad del material sobre tamiz 0,3 mm (Nº 50).
- b) Debe llevar en su superficie interior una aleta consistente en una plancha de acero desmontable, fijada rígida y firmemente a todo lo largo de una generatriz del cilindro, de modo que se proyecte radialmente hacia el interior en 90 ± 3 mm. La distancia entre la aleta y la abertura, medida a lo largo de la circunferencia exterior del cilindro y en la dirección de rotación, debe ser igual o mayor que 1,25 m.

Nota 1: Es preferible utilizar una aleta de acero de sección rectangular montada independientemente de la tapa. Sin embargo, puede emplearse como aleta una de las alas de un perfil L de acero laminado montado en el interior de la tapa, de modo que la carga se reciba por la cara externa del ángulo. Cuando la aleta se deforma debe ser reparada o reemplazada.

- c) La rotación debe estar comprendida entre 30 y 33 rpm, ser contrapesada e impulsada de modo de mantener una velocidad periférica uniforme y tener incorporado un dispositivo contador de revoluciones con detención automática.

Nota 2: Cualquier deslizamiento o punto muerto en el mecanismo de impulsión puede alterar los resultados de ensayo, lo que los hace no comparables con resultados obtenidos en una máquina que produzca una velocidad periférica uniforme.

B. BALANZA

Con una capacidad superior a 10 kg. y una precisión de 1 g.

C. TAMICES

Deben cumplir con lo especificado en la **Sección 6.3.1.4** numeral 2.

D. HORNO

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

E. ESFERAS (CARGA ABRASIVA)

Un juego de esferas de acero de aproximadamente 47 mm de diámetro y de masas diferentes, distribuidas en un rango entre 390 y 445 g.

6.3.1.11.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. MUESTREO Y PREPARACIÓN

Extraiga y prepare la muestra de acuerdo con las **Secciones 6.3.1.2 y 6.3.1.1**.

Determine la granulometría de la muestra de acuerdo con la **Sección 6.3.1.4**.

B. TAMAÑO DE LA MUESTRA

El tamaño de la muestra (en kg) debe ser igual o mayor que $2 D_n$, en que D_n es el tamaño máximo nominal expresado en mm, y no menor que 50 kg. para los grados 1 al 5 y 25 kg. para los grados 6 y 7.

C. ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Lave la muestra y séquela hasta masa constante en horno a una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 10 ° F).

Tamice la muestra obtenida, de acuerdo con la **Sección 6.3.1.4**, empleando la serie de tamices de aberturas nominales siguientes: 75mm (3"), 63mm (2½"), 50mm (2"), 37,5mm (1½"), 25,0mm (1") 19mm (¾"), 12,5mm (½"), 9,5mm (3/8"), 6,3mm (¼"), 4,75mm (Nº 4) y 2,36mm (Nº 8). Deje el material separado en las fracciones resultantes de este tamizado.

Elija de la **Tabla 6.3_ 10** el grado de ensayo que mejor represente la granulometría de la muestra. Para ello, sume los porcentajes parciales retenidos en los tamices correspondientes a cada uno de los grados y elija para el ensayo el que entregue una mayor suma.

Nota 3: En caso que alguna de las fracciones del grado elegido tenga un porcentaje parcial retenido muy bajo, que requiera tamizar una cantidad de material muy alta para componerlo, se considerará como grado de ensayo aquel que entregue la suma de parciales retenidos inmediatamente inferior a la del grado elegido. En el caso del grado 4 se entenderá como porcentaje parcial retenido muy bajo un valor igual o inferior que 4%.

Cuando se trate de áridos sin tratamiento ni selección, debe procesar la muestra a fin de componer la banda granulométrica adecuada al uso propuesto y elegir de la tabla el grado de ensayo correspondiente a dicha banda granulométrica.

6.3.1.11.4. PROCEDIMIENTO

- Pese los tamaños de las fracciones correspondientes al grado elegido, de acuerdo con la **Tabla 6.3_10**. Registre la masa del total de material por ensayar como masa inicial de la muestra (m_i), aproximando a 1 g.
- Coloque la masa inicial de material en la Máquina de Los Ángeles y ensaye de acuerdo con el grado elegido (número y masa de esferas, y número de revoluciones), según **Tabla 6.3_10**.

Nota 4: Seleccione las esferas de manera tal, que la suma de sus masas individuales cumpla con los valores estipulados en la **Tabla 6.3_ 10**.

- c. Una vez completado el número de revoluciones correspondiente, saque el material de la máquina evitando pérdidas y contaminaciones.
- d. Separe la carga abrasiva.
- e. Efectúe un primer tamizado en un tamiz de 2,36 mm o superior, a fin de evitar dañar el tamiz de corte (1,7 mm).
- f. Tamice manualmente el material bajo 2,36 mm por tamiz de 1,7 mm (N° 12), según procedimiento de tamizado final descrito en el punto 14 de la Sección 6.3.1.4.
- g. Reúna todo el material retenido en ambos tamices, lávelo, séquelo hasta masa constante en horno a 110 ± 5 ° C (230 ± 10 ° F) y deje enfriar a temperatura ambiente.
- h. Pese y registre la masa del material retenido como masa final de la muestra (mf), aproximando a 1 g.

6.3.1.11.5. CÁLCULOS

Calcule el desgaste de áridos, como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra, aproximando a un decimal, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$P(\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100$$

Donde:

P: Pérdida de masas de la muestra

m_i : Masa inicial de la muestra (g)

m_f : Masa final de la muestra (g)

Nota 5: Los resultados de ensayo de los grados 1, 2 y 3 con 1.000 revoluciones, no tienen relación consistente con los resultados de los grados 4, 5, 6 y 7 con 500 revoluciones y, por lo tanto, no son comparables.

6.3.1.11.6. INFORME

El Informe debe incluir al menos los siguientes antecedentes:

C.1. Nombre del contrato y empresa contratista.

- a) Identificación de la muestra (tipo de material, procedencia, lugar y fecha de muestreo).
- b) Grado de ensayo elegido.
- c) Resultado del ensayo.
- d) Fecha del ensayo.
- e) Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al pétreo analizado.
- f) La referencia a este método.

Tabla 6.3_10. GRADOS DE ENSAYO (DEFINIDOS POR SUS RANGOS DE TAMAÑO, EN MM)

Tamaño de partículas (mm)		1	2	3	4	5	6	7
(75-37,5)		(50-2,36)	(37,5-19)	(37,5-9,5)	(19-9,5)	(9,5-4,75)	(4,75-32,36)	
(3"-1 ½")		(2"- N°8)	(1 ½"-3/4")	(1 ½"-3/8")	(3/4"-3/8")	(3/8"-N°4)	(N°-1 ½")	
(mm)	ASTM	Tamaño de las fracciones (g)						
75-63	3" - 2 ½"	2.500±50						
63-50	2 ½"-2"	2.500±50						
50-37,5	2"-1 ½"	5.000±50	5.000±25					
37,5-25,0	1 ½"-1"		5.000±50	5.000±25	1.250±10			
25,0-0,19	1"-¾"			5.000±25	1.250±25			
19-12,5	¾" - ½"				1.250±10	2.500±10		
12,5-9,5	½"-3/8"				1.250±25	2.500±10		
9,5-6,3	3/8"-1/4"						2.500±10	
6,3-4,75	¼"-N°4						2.500±10	
4,75-2,36	N°4-N°8							5.000±10
Masa inicial de muestra (M)		10.000±100	10.000±75	10.000±50	5.000±10	5.000±10	5.000±10	5.000±10
Esferas								
Número masa (g)		12			12	11	8	6
		5.000±25		5.000±25	4.584±25	3.330±25	2.500±25	
Número de revoluciones		1.000			500			

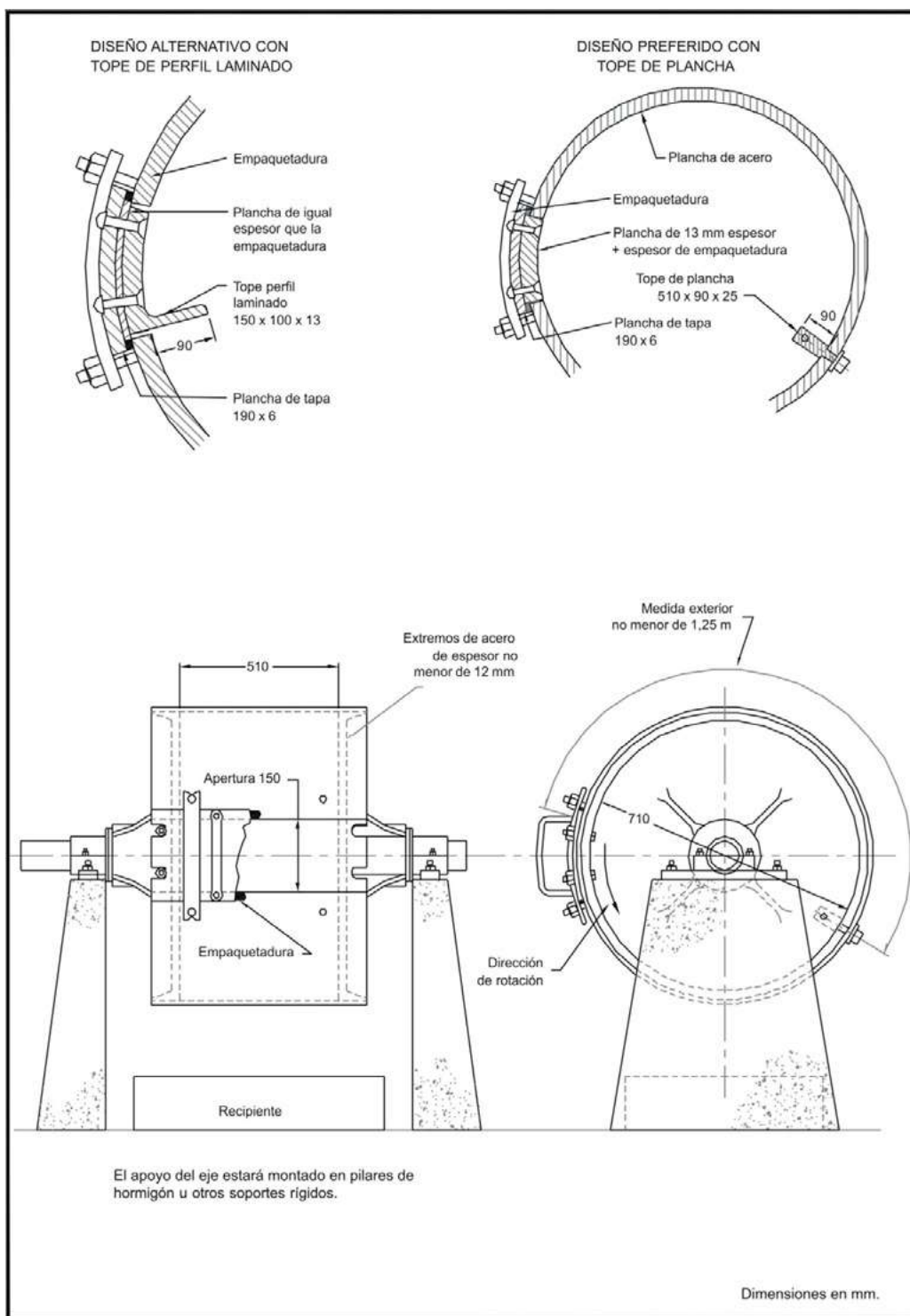


Figura 6.3_3. MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

SECCION 6.3.1.12.

MÉTODO PARA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE TRITURACIÓN (BS-812-75)

6.3.1.12.1. INTRODUCCIÓN

El método es una adaptación parcial de los aspectos pertinentes de la norma británica BS-812-75; pretende medir la resistencia a la desintegración física de los áridos gruesos (37,5(1 1/2")–9,5(3/8") mm) y finos (9,5(3/8")–0,6(Nº 30) mm) de acuerdo a los cortes granulométricos y métodos que se indican en **Tabla 6.3_11**

Tabla 6.3_11. CORTES DE LAS GRANULOMETRÍAS

Métodos de ensayo	Material		Tamices en mm para			
	Tipo	Grado	Corte		Finos producidos	
			mm	ASTM	mm	ASTM
Compresión	Grueso	37,5	37,5-19	1 1/2"-3/4"	4,75	Nº 4
		19	19-9,5	3/4"-3/8"	2,36	Nº 8
		9,5	9,5-4,75	3/8"-Nº 4	1,18	Nº 16
Impacto	Fino	4,75	4,75-2,36	Nº4-Nº8	0,6	Nº30
		2,36	2,36-1,18	Nº8-Nº16	0,3	Nº50
		1,18	1,18-0,6	Nº16-Nº30	0,15	Nº100

6.3.1.12.2. ÍNDICE DE TRITURACIÓN DE LOS ÁRIDOS GRUESOS

C.1. Objeto

Se define un procedimiento para determinar el valor del "Índice de Trituración" por compresión de un árido grueso, confinado en un molde y sometido a la acción de una carga gradual de compresión. Se utiliza tanto como complemento del ensayo de Desgaste de Los Ángeles o para sustituirlo cuando no se disponga de éste.

C.2. Equipos y materiales

Para el ensayo se requiere el siguiente equipo:

- Un cilindro de acero de pared gruesa, abierto en sus dos extremos, de 150 mm de diámetro interno y 100 mm de alto, con un plato de acero liso para base y un émbolo de la forma y dimensiones que se señalan en la **Figura 6.3_4, Fig1**.
- Una varilla de acero de 16 mm de diámetro por 600 mm de largo, con un extremo redondeado.
- Una balanza de 5 kg, con precisión de 1 g.
- Tamices de 37.5 mm (1 1/2"), 19mm (3/4"), 9,5 mm (3/8), 4,75 mm (Nº 4), 2,36 (Nº 8).
- Una máquina de compresión, de 400 kN o más de capacidad y velocidad regulable.

C.3. Preparación de la muestra

El material por ensayar, aproximadamente 20 kg, deberá estar seco. Si no lo estuviera, séquelo al horno a una temperatura de 110 ± 5° C hasta masa constante. Una vez seco déjelo enfriar

hasta temperatura ambiente. Tamice y corte el material en los tamices indicados en la **Tabla 6.3_ 11**.

C.4. Procedimiento

- a) Por cada corte de material se efectúan dos ensayos, según el procedimiento que se describe. Los resultados obtenidos se promedian.
- b) Llene el molde por terceras partes, compactando cada una con 25 golpes de la varilla compactadora dados desde 50 mm de altura, en caída libre. Luego enrase y pese, determinando el peso de la muestra (A).
- c) Enseguida, coloque el molde con su base en la máquina de ensayo. Sobre la carga confinada coloque el pistón en posición horizontal.
- d) Aplique la carga de compresión en forma lenta y gradual, de modo de alcanzar el total de la carga de 400 kN en 10 min.
- e) Finalizado el ensayo, levante la carga y tamice el material ensayado para separar el fino, por los tamices indicados en la **Tabla 6.3_ 11**.
- f) Pese cuidadosamente el material retenido (C) y el material fino que pasó (B).

6.3.1.12.3. ÍNDICE DE TRITURACIÓN DE LOS ÁRIDOS FINOS

C.1. Objeto

Se define un procedimiento para determinar el valor del “Índice de Trituración” de un árido fino sometido a la acción de impactos repetidos, en situación de confinamiento, ensayo que equivaldría al de Desgaste Los Ángeles para las graduaciones menores que el grado 7.

C.2. Equipos y materiales

Para este ensayo se requiere del siguiente equipo:

- a) Una máquina para impacto, con un martinete de $14 \pm 0,2$ kg., como se indica en la **Figura 6.3_ 4, Fig2**.
- b) Un molde de acero, con base soldada, de 102 mm de diámetro interno, 51 mm de alto y 6,5 mm de espesor de pared.
- c) Una varilla de acero de 10 mm de diámetro por 230 mm de largo, redondeada en un extremo.
- d) Tamices de (9,5 mm (3/8), 4,75 mm (Nº 4), 2,36 (Nº 8), 1,18 mm (Nº 16), 0,6 mm (Nº 30), 0,3 mm (Nº 50) y 0,15 mm (Nº 100).

C.3. Preparación de la muestra

Para el ensayo, el material debe encontrarse seco; si no lo estuviera, séquelo a $110 \pm 5^\circ$ C hasta masa constante.

El material por ensayar, aproximadamente 12 kg., debe tamizarse y cortarse en los tamices indicados en la **Tabla 6.3_ 11** para los grados 2,36 y 1,18 mm, que son obligatorios. El ensayo para los grados 9,5 y 4,75 mm es optativo, y debe hacerse cuando los valores del Índice de Trituración obtenidos en los grados obligatorios difieran mucho entre sí.

C.4. Procedimiento

- Por cada corte de material se efectúan dos ensayos, según el procedimiento que se describe. Los resultados obtenidos se promedian.
- Llene el molde por terceras partes, compactando cada una con 25 golpes de la varilla compactadora dados desde 50 mm de altura, en caída libre. Luego, enrase y pese.
- Enseguida, asegure el molde en la base de la máquina y dé 15 golpes con el martinete, en caída libre desde 380 mm de altura, espaciados en un tiempo total de 15 seg.
- Pese de nuevo la muestra determinando el peso de la muestra (A) y luego separe los finos por el tamiz que corresponda al grado, de acuerdo a la **Tabla 6.3_ 11**.
- Pese cuidadosamente el material retenido (C) y el material que pasó por el tamiz correspondiente (B).

Nota 1: Se considera el peso de muestra inicial después de aplicar los golpes con el martinete, debido a las pérdidas de material que se producen producto de los golpes.

6.3.1.12.4. CÁLCULOS

A. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE TRITURACIÓN PARCIAL (IT_p)

Con los datos:

A: Peso de la muestra por ensayar (g).

B: Peso del material que pasó por el tamiz de finos producidos (g).

Calcule el IT_p de acuerdo a la expresión:

$$IT_p (\%) = \frac{B}{A} \times 100$$

B. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE TRITURACIÓN TOTAL (IT_t)

Conocidos los valores de IT_p de cada grado, calcule los IT_t del árido grueso y del árido fino, ponderando los IT_{pi} según los porcentajes que cada fracción retenida (n) representa de la muestra ensayada.

$$IT_t (\%) = \sum IT_{pi} \times \frac{n_i}{100}$$

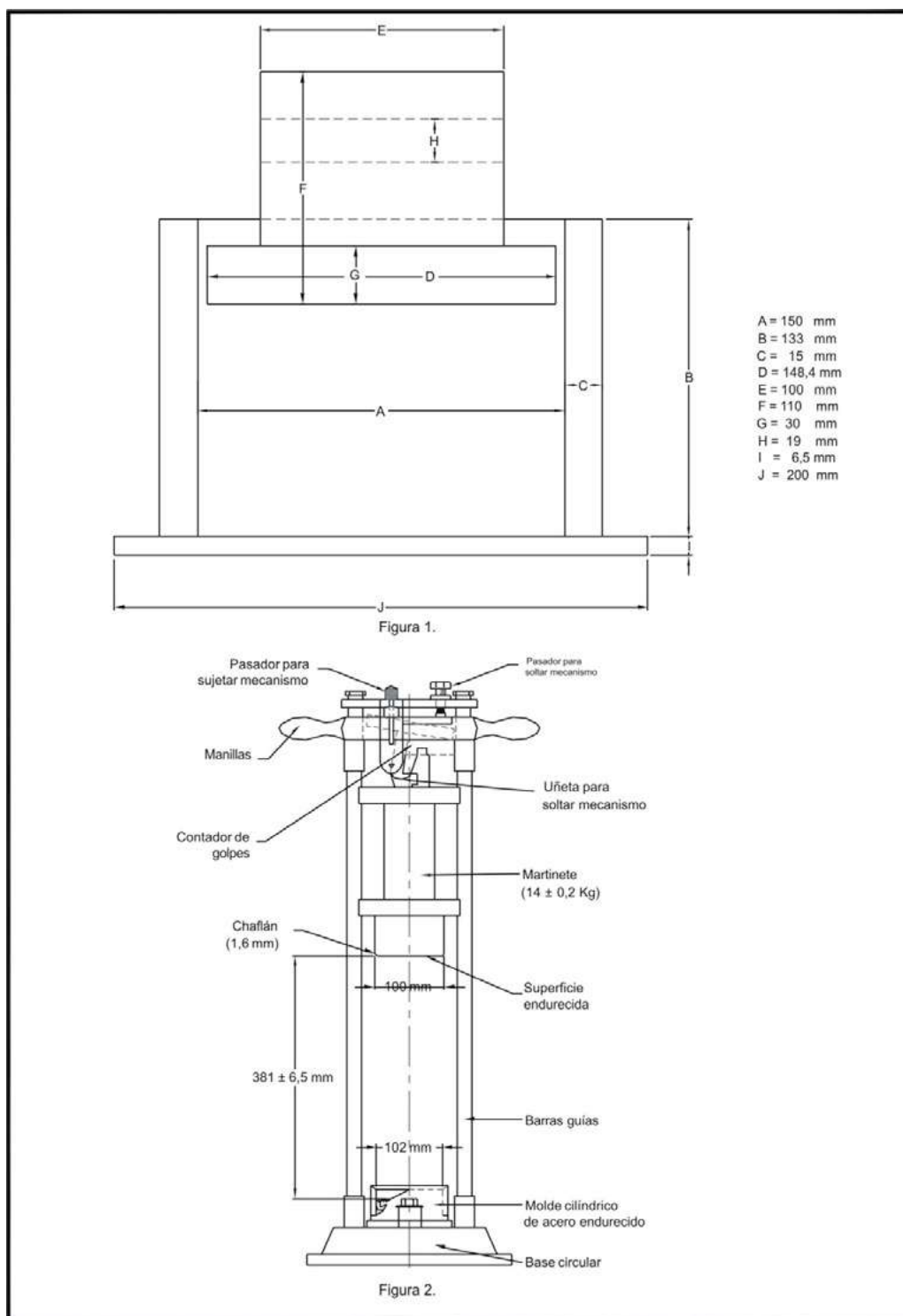


Figura 6.3_4.

FIG1. CILINDRO DE ACERO PARA ÁRIDOS GRUESOS.

FIG2. MÁQUINA PARA IMPACTO PARA ÁRIDOS FINOS

SECCION 6.3.1.13.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL EQUIVALENTE DE ARENA (ASTM D2419)

6.3.1.13.1. OBJETO

Este método establece un procedimiento rápido para determinar las proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los áridos que pasan por tamiz de 4,75 mm (Nº 4).

6.3.1.13.2. DEFINICIONES

B.1. Equivalente de arena

Porcentaje de arena propiamente tal con respecto al total de arena y de impurezas coloidales floculadas, particularmente arcillosas, húmicas y eventualmente ferruginosas.

6.3.1.13.3. EQUIPOS Y MATERIALES

B.1. Probeta graduada

De 30 ± 1 mm de diámetro interior y aproximadamente 400 mm de alto, graduado en milímetros hasta una altura de 380 mm (o graduada en mililitros hasta una capacidad de 270 ml) y provisto de un tapón hermético de caucho (*ver Figura 6.3_5, Figura 1*).

B.2. Pisón

Compuesto por los siguientes elementos (*ver Figura 6.3_5, Figura 2*).

- a) Una varilla de bronce de 6 mm de diámetro y 450 mm de largo, con hilo en ambos extremos.
- b) Un pie de bronce troncocónico, de 25 mm de diámetro basal y 20 mm de altura, con una perforación central con hilo para conectarlo a la varilla.
- c) Un par de guías que mantengan centrada la varilla en el eje de la probeta.
- d) Una sobrecarga cilíndrica de acero laminado en frío de 50 mm de diámetro y 53 mm de altura, con una perforación central con hilo para conectarla a la varilla. Esta sobrecarga debe ser rectificadas de modo que el conjunto de varilla, pie, guías y sobrecarga tenga una masa de 1.5 kg.
- e) Sifón, compuesto por los siguientes elementos (*ver Figura 6.3_5*):
 - Una botella de aproximadamente 4 ± 1 l, provista de un tapón de caucho con dos perforaciones, a través de las cuales se dispondrán dos tuberías de metal, vidrio, caucho o plástico.
 - Una tubería de entrada de aire que penetre al interior de la botella, sin tomar contacto con la solución y cuyo tramo exterior debe estar doblado en L.
 - Una tubería de irrigación cuyo tramo interior penetre hasta 20 mm del fondo de

la botella y cuyo tramo exterior sea una manguera de caucho o plástico de una longitud igual o mayor que 1,5m, provista de un sistema que regule el flujo de la solución (por ejemplo, una pinza con tornillo).

- Un tubo irrigador conectado al extremo exterior de la tubería de irrigación, de acero inoxidable de aproximadamente 500 mm de largo, 4 ± 1 mm de diámetro interior y con su extremo libre cerrado en forma de cuña. Debe tener dos perforaciones de $0,5 \pm 0,1$ mm de diámetro, una en cada cara plana de la cuña.

B.3. Medida

Un recipiente de 85 ± 5 ml de capacidad.

B.4. Tamiz

De tela de alambre y abertura cuadrada, de 4,75mm (Nº 4) de abertura nominal de acuerdo con la **Sección 6.3.1.4.**

B.5. Recipiente

Estanco y de capacidad igual o mayor que 4l para preparar el reactivo y la solución de ensayo.

B.6. Agitador mecánico.

Con un desplazamiento horizontal de 200 ± 2 mm y una velocidad de agitación de 175 ± 2 ciclos/min.

B.7. Herramientas y accesorios

Embudos, botellas para reactivos, regla de enrase, etc.

6.3.1.13.4. REACTIVOS

B.1. Solución base

a) Componentes. Emplee los siguientes materiales en las cantidades que se indican:

- a. 240 g de cloruro de calcio anhidro, grado técnico.
- b. 1.085 g de glicerina farmacéutica.
- c. 25 g de formaldehído (solución 40% de volumen / volumen).

b) Preparación. Disuelva el cloruro de calcio en 1l de agua destilada y filtre. Agregue la glicerina y el formaldehído a la solución, mezcle bien y diluya a 2l con agua destilada.

B.2. Solución de ensayo

Tome 22,5 ml de la solución base y diluya a 1l con agua destilada. Se debe mantener la temperatura de la solución a $22 \pm 3^\circ$ C durante todo el ensayo.

6.3.1.13.5. CONDICIONES GENERALES

B.1. Lugar del ensayo

Debe estar libre de golpes o vibraciones que puedan alterar el período de decantación. Cuando se empleen probetas de acrílico deben protegerse de la luz solar directa.

6.3.1.13.6. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. MUESTREO

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con las **Secciones 6.3.1.1 y 6.3.1.2**

B. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

- La muestra original debe tener un tamaño igual o mayor que 2.000 g de material bajo 4,75mm.
- La muestra para cada ensayo debe ser igual a una medida llena enrasada (85 ± 5 ml).

C. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO

C.1. Tamizado

Pase la muestra original en estado húmedo por el tamiz de 4,75 mm; disgregue manualmente los terrones de material arcilloso. Si el material retenido tiene adheridas capas de material arcilloso, remuévalas secando el material retenido y frotándolo entre las manos sobre un recipiente. El polvo resultante debe incorporarse a la muestra y el material retenido debe desecharse.

C.2. Reducción.

Reduzca nuevamente por cuarteo hasta obtener material suficiente para llenar cuatro medidas.

C.3. Secado.

Seque hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ$ C; deje enfriar a temperatura ambiente.

6.3.1.13.7. PROCEDIMIENTO

- a. Coloque la botella del sifón con la solución de ensayo a aproximadamente 1 m sobre la superficie de trabajo.
- b. Sifonee la solución de ensayo en la probeta hasta que alcance un nivel de 100 ± 5 mm.
- c. Obtenga por cuarteo el material suficiente para llenar una medida.
- d. Llene una medida; asiente el material golpeando el fondo de la medida contra la mesa de trabajo a lo menos 4 veces, enrase y vierta en la probeta.
- e. Golpee firmemente el fondo de la probeta contra la palma de la mano hasta desalojar las burbujas de aire.
- f. Deje la probeta en reposo por un período de 10 min.
- g. Coloque el tapón y suelte la arena del fondo inclinando y sacudiendo el tubo.
- h. Agite la probeta y su contenido mediante uno de los siguientes procedimientos:
 - **Agitación manual.**

Sujete la probeta en posición horizontal y agite vigorosamente en un movimien-

to lineal horizontal con un desplazamiento de 230 ± 25 mm. Agite 90 ciclos en aproximadamente 30 seg.

Nota 1: Un ciclo corresponde a un movimiento completo de ida y vuelta. Se recomienda agitar sólo con los antebrazos, manteniendo relajados el cuerpo y los hombros.

Nota 2: Antes de autorizar a un operador para realizar el ensayo de equivalente de arena, debe ser capaz de obtener resultados consistentes sobre muestras representativas de cualquier material ensayado de acuerdo con el procedimiento normal. Los resultados se consideran consistentes si los valores individuales de tres ensayos realizados por el mismo operador sobre muestras gemelas no varían en más de ± 4 puntos respecto al promedio de esos ensayos. Si un operador no es capaz de obtener resultados consistentes, no debe autorizarse a efectuar este ensayo hasta que perfeccione su técnica y obtenga resultados que cumplan con los límites especificados.

- **Agitación mecánica**

Fije la probeta en el agitador mecánico y agite durante un período de 45 ± 1 seg.

- Coloque la probeta sobre la mesa de trabajo, destápela y lave sus paredes interiores mediante el irrigador.
- Introduzca el irrigador hasta el fondo de la probeta con un movimiento lento de penetración y torsión para remover todo el material.
- Retire el irrigador en forma similar, regulando el flujo de la solución de modo de ajustar el nivel final a 380 mm.
- Deje sedimentar por un periodo de $20 \text{ min} \pm 15 \text{ seg}$.
- Al final del período de sedimentación, lea y registre el nivel superior de la arcilla N_t aproximando al milímetro.

Nota 3: Si después de 20 min no se ha formado una clara línea de sedimentación, deje reposar el tiempo necesario, registrándolo en el informe.

Cuando el tiempo total exceda de 30 min, repita 3 veces el ensayo con muestras del mismo material. Registrar el N_t que requiera el período de sedimentación más breve.

- Introduzca el pisón en la probeta y hágalo descender suavemente hasta que quede apoyado en la arena. Registre el nivel superior de la arena (N_a) aproximando al milímetro.

Nota 4: Cuando el nivel superior de la arcilla o de la arena quede entre graduaciones, registre la graduación superior como N_t o N_a , según corresponda.

6.3.1.13.8. CÁLCULOS

- Calcule el equivalente de arena de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 1%.

$$EA(\%) = (N_a/N_t) \times 100$$

Donde:

EA: Equivalente de arena (%).

- N_a : Nivel superior de arena (mm).
 N_t : Nivel superior de la arcilla (mm).

- b. Calcule el equivalente de arena de cada muestra como el promedio aritmético de los resultados de dos ensayos paralelos, con aproximación al 1 % superior.

6.3.1.13.9. PRECISIÓN

- a. Debe aceptarse la determinación del equivalente de arena, solamente cuando la diferencia entre dos resultados obtenidos por el mismo operador, en ensayos paralelos sobre muestras gemelas, sea igual o inferior a 4 puntos.
- b. Debe ensayar dos nuevas muestras gemelas cuando no se cumpla con lo especificado en 30.

6.3.1.13.10. INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Procedencia de la muestra.
- c) Procedimiento de agitación.
- d) Resultado del ensayo.
- e) Fecha del ensayo.
- f) Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al árido.
- g) La referencia a este método.

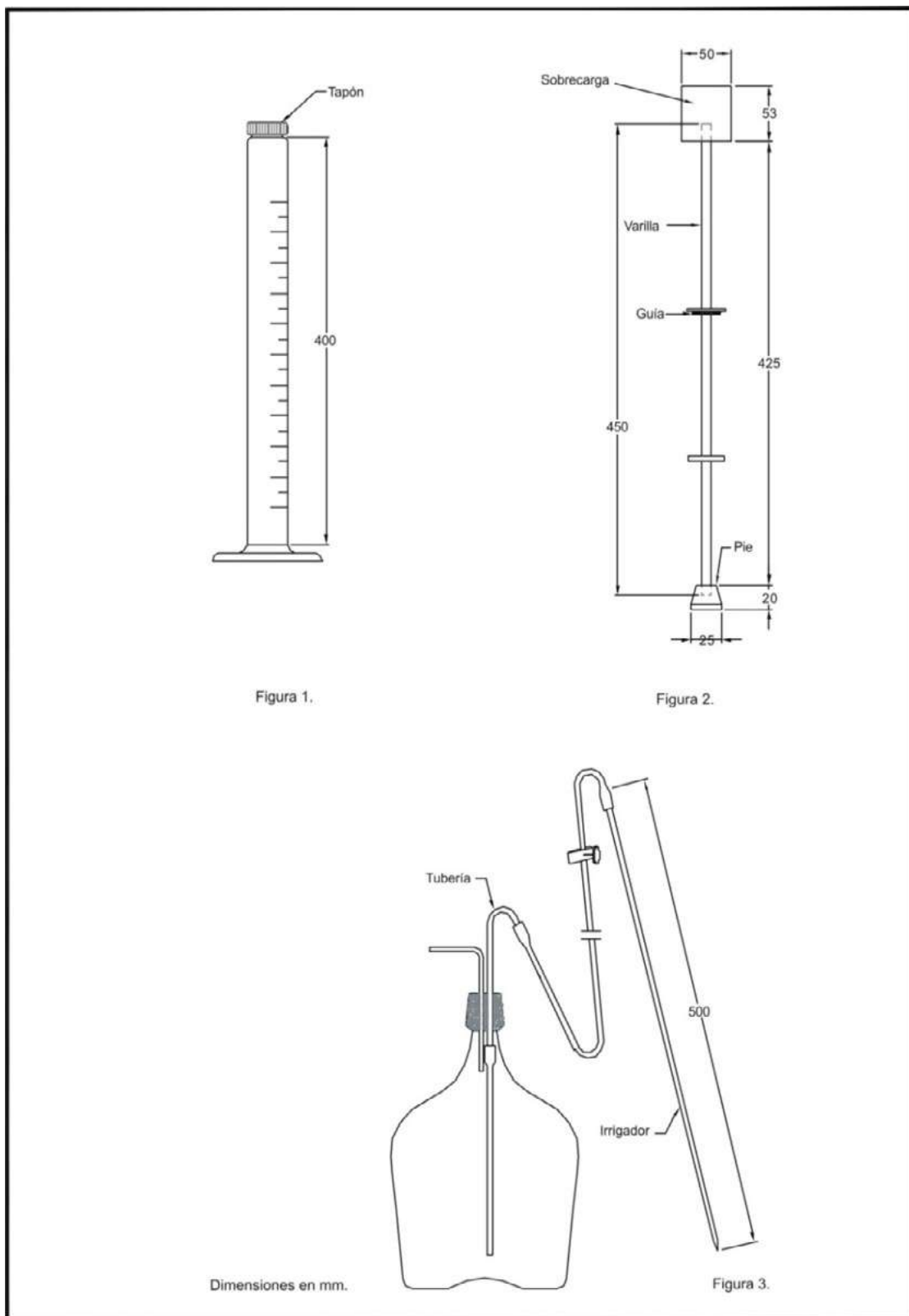


Figura 6.3_5. FIG1. PROBETA GRADUADA, FIG2.PISÓN, FIG3. SIFÓN.

SECCION 6.3.1.14.

MÉTODO DE LOS SULFATOS PARA DETERMINAR LA DESINTEGRACIÓN (ASTM C 88 AASHTO T104)

6.3.1.14.1. OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar la desintegración de los áridos, mediante soluciones de sulfato de sodio o sulfato de magnesio. El uso de una u otra sal es alternativo, pero sus resultados no son comparables.

Este método se aplica a los áridos que se utilizan en la elaboración de morteros, hormigones y mezclas asfálticas.

6.3.1.14.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A. BALANZAS

- a) Balanza para áridos finos de capacidad superior a 500 g y una precisión de 0,1 g.
- b) Balanza para áridos gruesos de capacidad superior a 5.000 g y una precisión de 0,1 g.

B. HORNO

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

C. TAMICES

Emplee la misma serie de tamices especificados en la **Sección 6.3.1.4.**

D. RECIPIENTES

- a) Canastillos rígidos y químicamente inertes con las soluciones de ensayo. Las perforaciones deben permitir el libre acceso y drenaje de la solución sin pérdidas de material de la muestra.

Nota 1: Se recomienda emplear canastillos fabricados con tela metálica de aberturas adecuadas a las fracciones de áridos en ensayo.

- b) Recipientes para solución, rígidos, estancos y químicamente inertes con las soluciones de ensayo. Serán de forma y tamaño tales que permitan contener los canastillos completamente sumergidos en la solución. Deben tener un dispositivo para regular la temperatura de la solución durante la inmersión.

E. REACTIVOS

- a) Para cada operación se debe disponer de un volumen de solución igual o mayor a 5 veces el volumen aparente de la muestra.
- b) Solución de sulfato de sodio. Disuelva aproximadamente 350g de sulfato de sodio anhidro (Na_2SO_4) o aproximadamente 750g de sulfato de sodio deshidratado ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) por litro de agua a una temperatura mayor a 25°C y menor a 0°C. Revuelva completamente durante la adición de la sal y a intervalos regulares hasta su uso. Enfríe y mantenga a una temperatura de $20 \pm 3^\circ\text{C}$ durante un período igual o mayor a 48 h previas al uso.

Al momento del empleo, la solución debe tener una densidad (g/ml) comprendida entre 1,151 y 1,174 a $20 \pm 3^\circ\text{C}$.

Nota 2: Es recomendable usar el producto comercial anhidro por tener mayor solubilidad que el producto hidratado.

Nota 3: El ajuste de la densidad se logra diluyendo o disolviendo más sal, según corresponda.

- c) Solución de sulfato de magnesio. Disuelva 350 g de sulfato de magnesio anhidro (MgSO_4) o 1.400 g de sulfato de magnesio heptahidratado $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ por litro de agua a una temperatura mayor que 25°C y menor que 30°C . Revuelva completamente durante la adición de la sal y a intervalos regulares hasta su uso. Enfríe y mantenga a una temperatura de $20 \pm 3^\circ\text{C}$ durante un período igual o mayor a 48 h previas al uso.

Al momento de empleo la solución debe tener una densidad (g/ml) comprendida entre 1,295 y 1,308 a $20 \pm 3^\circ\text{C}$.

6.3.1.14.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A. EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con las **Secciones 6.3.1.2 y 6.3.1.1**. Deben haberse ensayado previamente según **Sección 6.3.1.4** a fin de determinar la granulometría.

B. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

B.1. Áridos fino

- a) Pase previamente por el tamiz de 9,5mm (3/8") para hormigón y 4,75mm (Nº 4) para asfalto.

Cuando el material retenido exceda el 5% de la muestra, ensaye de acuerdo con 7.

- b) Prepare la muestra con el material que pasa por el tamiz de 9,5mm (3/8") para hormigón y 4,75 mm (Nº 4) para asfalto; debe tener un tamaño tal, que permita obtener las fracciones de muestra especificadas en la **Tabla 6.3_ 12**.

B.2. Áridos grueso

- a) Pase previamente por el tamiz de 4,75mm (Nº 4) para hormigón y 2,36mm (Nº 8) para asfalto. Cuando el material que pasa exceda el 5 % de la muestra, ensaye de acuerdo con 6.

- b) Prepare la muestra con el material retenido en el tamiz de 4,75mm (Nº 4) para hormigón y 2,36 mm (Nº 8) para asfalto; debe tener un tamaño tal, que permita obtener las fracciones de muestra especificadas en la **Tabla 6.3_ 13**.

Tabla 6.3_12. TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO DE ÁRIDOS FINOS

Fracción	Tamaño de partículas (mm)	Masa mínima de la fracción (mm)
1	4,75-9,5	100
2	2,36-4,75	100

3	1,18-2,36	100
4	0,6-1,18	100
5	0,3-0,6	100

Nota 4: Fracción 1, 2, 3, 4 y 5 para hormigón, Fracción 2, 3, 4 y 5 para asfalto.

Tabla 6.3_13. ÁRIDOS GRUESOS

Fracción	Tamaño de partículas (mm)	Masa de sub-fracción (g)	Masa de Fracción (g)
1	50-63	3.000±300	5.000±300
	37,5-50	2.000±200	
2	25,0-37,5	1.000±50	1.500±50
	19-25,0	500±30	
3	12,5-19	670±30	1.000±10
	9,5-12,5	330 ±5	
4	4,75-9,5	300±5	300±5
5	2,36-4,75	100±5	100±5

Nota 5: Para tamaños mayores a 63 mm constituir fracciones de 7.000 ± 1.000 g por cada incremento del tamaño en 25 mm. La fracción 5 es sólo para asfalto.

- c) Tome los tamaños de muestra indicados en la **Tabla 6.3_12**, considerando el porcentaje parcial retenido (Ppr) de cada fracción, determinado mediante tamizado según **Sección 6.3.1.4**, en la forma siguiente:
- Ensaye las fracciones indicadas siempre que el Ppr sea igual o mayor que 5%.
 - No ensaye las fracciones que tengan un Ppr menor que 5% (ver 19).
 - Si una subfracción de áridos grueso tiene un Ppr menor que 3%, componga la fracción con la subfracción que exista, siempre que ella tenga un Ppr igual o mayor a 3%.

C. ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

C.1. Árido Fino

- Lave la muestra de ensayo sobre un tamiz de 0,3mm (Nº50) o 0,15mm (Nº100), para hormigón o asfalto, respectivamente.
- Seque hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Tamice de modo de obtener las fracciones de muestra especificadas en la **Tabla 6.3_12**.
- Pese los tamaños de muestra requeridos para cada fracción y registre la masa inicial (mi) de cada una de ellas, aproximando a 0,1 g.

- e) Coloque cada fracción en su canastillo.

C.2. Árido grueso

- a) Lave la muestra de ensayo sobre un tamiz de 4,75mm (Nº4) o 2,36mm (Nº 8), según corresponda.
- b) Seque hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- c) Tamice de modo de obtener las subfracciones de muestra especificada en la **Tabla 6.3_ 13**.
- d) Pese los tamaños de muestra requeridos para cada subfracción.
- e) Componga y pese las fracciones requeridas y registre la masa inicial (mi) de cada una de ellas, aproximando a 1 g.
- f) Cuente y registre el número inicial de partículas (ni) de tamaño mayor a 19mm (3/4).
- g) Coloque cada fracción en su canastillo.

6.3.1.14.4. CICLOS DE INMERSIÓN Y SECADO

- a. Sumerja los canastillos con las fracciones de muestra en la solución de sulfato de sodio o sulfato de magnesio a una temperatura de $20 \pm 3^\circ\text{C}$ por un período de 17 ± 1 h, de modo que los áridos queden cubiertos por una capa de solución superior a 1,5 cm. Cubra los recipientes para reducir la evaporación y evitar contaminaciones.
- b. Retire los canastillos con las fracciones de muestra de la solución; deje escurrir durante 15 ± 5 min y seque hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Deje enfriar a temperatura ambiente.
- c. Repita 5 veces el ciclo de inmersión y secado.
- d. Terminado el número de ciclos y una vez enfriada la muestra, lave hasta eliminar totalmente el sulfato.

Nota 6: Para determinar el término del lavado se recomienda comprobar el agua de lavado mediante solución de cloruro de bario al 10%. No debe formarse precipitado blanco.

- e. Seque hasta masa constante en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$; deje enfriar a temperatura ambiente. Cubra los canastillos para evitar absorciones o contaminaciones.
- f. Determine la masa final de las fracciones de acuerdo con el siguiente procedimiento:
- g. Áridos fino
- a) Tamice cada fracción de áridos fino en el tamiz en que fue retenida al iniciar el ensayo.
- b) Pese y registre la masa del material retenido como masa final de la fracción correspondiente (mf), aproximando a 0,1 g.
- h. Áridos grueso

- Tamice cada fracción de áridos grueso por el tamiz correspondiente de acuerdo con la **Tabla 6.3_14**.

Tabla 6.3_14. SERIE DE TAMICES PARA EXAMEN CUANTITATIVO

Fracción	Tamaño de partículas de la fracción original	Tamices, tamaños nominales de abertura	
		ASTM	mm
1	37,5-68	1"	25,0
2	19-37,5	½"	12,5
3	9,5-19	¼"	6,3
4	4,75-9,5	Nº 8	2,36
5	2,36-4,75	Nº 10	2,0

Nota7: La fracción 5 es sólo para asfalto.

- Pese y registre la masa del material retenido como masa final de la fracción correspondiente (mf), aproximando a 1g.
- i. Examine cualitativamente y cuantitativamente las partículas mayores que 19mm (3/4") como sigue:
- Observe y registre el efecto de la acción del sulfato (desintegración, agrietamiento, hendidura, exfoliación, desmoronamiento, etc.).
 - Cuente y registre el número final de partículas (nf).

6.3.1.14.5. CÁLCULOS

- a. Calcule el porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción de muestra de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 0,1 %.

$$P_n = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times ppr$$

Donde:

P_n : Porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción de muestra (%).

m_i : Masa inicial de la fracción (g).

m_f : Masa final de la fracción (g).

ppr: Porcentaje parcial retenido correspondiente a la fracción según el análisis granulométrico (%).

- b. Para las fracciones no ensayadas de acuerdo con lo especificado en 7 c), considere que tienen una pérdida de masa igual a la media aritmética de las pérdidas de las dos fracciones inmediatamente superior e inferior. Si se trata de una fracción extrema considere que tiene una pérdida igual a la de la fracción más próxima.
- c. Calcule la desintegración del árido fino o grueso, según corresponda, como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 0,1%.

$$P(\%) = (P_1 + P_2 + \dots P_n)$$

Donde:

P: Porcentaje de pérdida de masa de la muestra (%).

P_n : Porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción de muestra
(%).

- d. Calcule el porcentaje de partículas mayores que 19mm (3/8) afectadas por la acción del sulfato, según la fórmula siguiente, aproximando al 1%.

$$A(\%) = \frac{n_i - n_f}{n_i} \times 100$$

Donde:

A: Porcentaje de partículas mayores que 19 mm afectadas por la acción del sulfato (%).

n_i : Numero de partículas mayores que 19 mm.

n_f : número final de partículas mayores que 19 mm.

6.3.1.14.6. INFORME

El informe debe incluir los siguientes datos:

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Procedencia de la muestra.
- c) Sal con que se efectuó el ensayo.
- d) Resultado del ensayo.
- e) Fecha de ensayo.
- f) Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al árido.
- g) La referencia a este método.

SECCION 6.3.1.15.

CANTIDAD DE PARTÍCULAS LIVIANAS EN LOS ÁRIDOS (ASTM C 123 AASHTO T113)

6.3.1.15.1. OBJETO

Este método tiene por objeto establecer el método para determinar el porcentaje de partículas livianas en los áridos, mediante separación por suspensión, en un líquido de peso específico elevado.

6.3.1.15.2. EQUIPO

- Balanzas, una con capacidad de 500 g y precisión de 0,1g, para áridos finos, y otra con capacidad mínima de 5000 g y precisión de 1 g, para áridos gruesos.
- Recipientes, adecuados para secar las muestras y contener el líquido de alta densidad, durante la separación por suspensión.
- Tamices, con abertura de 4,75 mm (No.4) 300 μ m (No.50) y demás según Sección 6.3.1.4.
- Horno con regulación de aire y temperatura regulada, capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$).
- Colador, dispositivo hecho de malla de alambre, de tejido cuadrado correspondiente al tamiz de 300 μ m (No.50), con forma y tamaño adaptados para separar las partículas flotantes del líquido pesado.
- Reactivos.**

Líquido de elevado peso específico, el cual debe consistir en una mezcla de tetracloruro de carbono y tetrabromoetano; o bromoformo y monobromobenceno; o bromoformo y benceno, en tal proporción, que su peso específico sea de 2,00; puede usarse bromotriclorometano si su peso específico es de 2,00. El peso específico no debe variar durante el ensayo en $\pm 0,01$ del valor especificado.

Los volúmenes de los compuestos, que deben mezclarse para obtener el líquido del peso específico requerido, pueden ser calculados mediante la **Tabla 6.3_15**.

Tabla 6.3_15. PESO ESPECÍFICO DE LOS COMPUESTOS DE BASE PARA LOS REACTIVOS DEL ENSAYO

Reactivo	Peso Especifico
Tetrabromoetano	2,97
Benceno	0,88
Bromoformo	2,88
Tetracloruro de Carbono	1,58
Monobromobenceno	1,49

6.3.1.15.3. PREPARACION DE LA MUESTRA

- a. Dispóngase una cantidad de muestra para ensayo, cuyo peso esté de acuerdo con la Tabla 6.3_16.

Tabla 6.3_16. PESO MINIMO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Tamaño máximo de áridos	Peso mínimo de la muestra
4,75 mm (Nº4) ⁽¹⁾	200 g
19,00 mm (3/4")	3.000 g
37,50 mm (1 ½")	5.000 g
75,00 mm (3")	10.000 g

⁽¹⁾ Árido fino

- b. Séquese la muestra, a una temperatura entre $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$), hasta peso constante.
- c. **Árido fino.**

Déjese enfriar la muestra a la temperatura ambiente, y pásese por el tamiz de $300\ \mu\text{m}$ (No.50), hasta cuando menos del 1% del material retenido pase, después de un minuto de tamizado continuo.

Pésese el material retenido en el tamiz de $300\ \mu\text{m}$ (No.50), con una precisión de 0,1 g y sométase al proceso descrito en la **Sección 6.3.1.10**, hasta cuando el árido alcance la condición de saturado con superficie seca (S.S.S).

- d. **Árido Grueso.**

Déjese enfriar la muestra a la temperatura ambiente y pásese sobre el tamiz de 4,75 mm (No.4).

Pésese el material retenido en el tamiz de 4,75 mm (No.4), con una precisión de 1 g y sométase al proceso descrito en la Sección 6.3.1.9, hasta cuando el agregado alcance la condición de saturado con superficie seca (S.S.S).

6.3.1.15.4. PROCEDIMIENTO

A. ÁRIDO FINO

Colóquese la muestra dentro del recipiente con el líquido de peso específico alto, cuyo volumen mínimo debe ser tres veces el del árido.

Viértase el líquido que rebosa en un segundo recipiente, pasándolo a través del tamiz, y teniendo el cuidado de que solamente las partículas que floten, se viertan en el tamiz. Devuélvase el líquido recogido en el segundo recipiente al primero; después de agitar la muestra vigorosamente, repítase la operación anterior, hasta cuando la muestra esté libre de partículas flotantes.

Lávense con tetracloruro de carbono, las partículas retenidas en el tamiz, hasta remover de ellas el líquido de peso específico alto, y déjense secar. Por sí solas, las partículas se secan rápidamente, pero si se desea, se pueden colocar dentro de un horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$) por unos pocos minutos. Pésese el material retenido en el colador, con una precisión de 0,1 g.

B. ÁRIDO GRUESO

Colóquese la muestra dentro del recipiente con el líquido de peso específico alto, cuyo volumen mínimo debe ser tres veces el del árido.

Retírense las partículas que suban a la superficie, usando el colador y colóquense en otro recipiente. Agítense la muestra repetidamente y retírense las partículas que flotan, hasta cuando ninguna suba a la superficie del líquido. Lávense las partículas retiradas con tetracloruro de carbono, hasta remover de ellas el líquido de peso específico alto; déjense secar y pénsense con una precisión de 1 g.

6.3.1.15.5. CÁLCULOS

El porcentaje de partículas livianas en los áridos se calcula mediante las siguientes fórmulas:

A. ÁRIDO FINO

$$L = \frac{M_1}{M_2} \times 100$$

Donde:

- L: Porcentaje de partículas livianas
- M₁: Peso de las partículas retenidas en el colador
- M₂: Peso de la muestra seca retenida en el tamiz de 300 µm (Nº 50)

B. ÁRIDO GRUESO

$$L = \frac{M_1}{M_3} \times 100$$

Donde:

- L: Porcentaje de partículas livianas
- M₁: Peso de las partículas retenidas en el colador
- M₃: Peso de la muestra seca retenida en el tamiz de 4,75 mm (Nº 4)

6.3.1.15.6. PRECAUCIONES

Los reactivos indicados en el **Tabla 6.3_ 15**, son altamente tóxicos por inhalación y por absorción a través de la piel. Por lo tanto, deberá evitarse la inhalación de sus vapores o el contacto de ellos con la piel.

6.3.1.15.7. INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Identificación de la fuente, tipo y tamaño máximo nominal del árido.
- b) Tipo y peso específico del reactivo usado.
- c) Porcentaje de partículas livianas aproximadas al 0,1 %.

SECCION 6.3.1.16.

HUMEDAD SUPERFICIAL EN ÁRIDOS FINOS (ASTM C 70 AASHTO T142)

6.3.1.16.1. OBJETO

Este método de ensayo cubre la determinación en el terreno de la humedad superficial en áridos finos, mediante desplazamiento de agua.

6.3.1.16.2. USO Y SIGNIFICADO

- a. Este método de ensayo no es muy usado. Sin embargo, es un procedimiento conveniente para la determinación en el terreno de la humedad superficial en áridos finos, si los valores de peso específico son conocidos y no están disponibles otros métodos de secado. Puede ser usado para ajustar los pesos de los áridos en su humedad y para determinar la contribución de la humedad superficial al agua de mezcla en hormigón de cemento Portland.
- b. La exactitud de este método depende de la exactitud de la información sobre el peso específico de la muestra en una condición saturada con superficie seca.

6.3.1.16.3. EQUIPOS Y MATERIALES

- a. Balanza, con capacidad de 2 kg o más, y precisión de 0,5 g o menos.
- b. Recipiente, preferiblemente de vidrio o de metal no corrosivo, como un picnómetro, un matraz volumétrico, u otro recipiente de medida apropiado. Su volumen debe ser de dos a tres veces el volumen suelto de la muestra. Debe ser diseñado de tal manera que pueda ser llenado hasta una marca o que el volumen pueda ser leído con precisión de 0,5 ml o menos.

6.3.1.16.4. PREPARACION DE LA MUESTRA

Escójase una muestra representativa de árido fino para ser ensayada, que no pese menos de 200 gr. Muestras más grandes darán resultados más exactos.

6.3.1.16.5. PROCEDIMIENTO

La humedad superficial puede ser determinada tanto por peso como por volumen. En ambos casos, el ensayo deberá efectuarse a una temperatura comprendida entre 18°C y 29°C (65 a 85°F).

A. DETERMINACIÓN POR PESO

Determinese el peso en gramos del recipiente, lleno con agua hasta la marca. Antes de colocar la muestra en el recipiente, ajústese el nivel del agua de tal forma que sea suficiente para cubrir la muestra, pero sin rebasar la marca original. Introdúzcase la muestra de árido fino de peso conocido dentro del recipiente y remuévase el aire atrapado. Llé-

nese el recipiente hasta la marca original y determínese su peso en gramos. Calcúlese la cantidad de agua desplazada por la muestra así:

$$W_w = W_c + W_s - W$$

Donde:

- W_w : Peso del agua desplazada por la muestra (g).
- W_c : Peso del recipiente lleno únicamente con agua hasta la marca (g).
- W_s : Peso de la muestra (g).
- W : Peso del recipiente con la muestra, lleno hasta la marca (g).

B. DETERMINACIÓN POR VOLUMEN

Mídase un volumen de agua, en mililitros, suficiente para cubrir la muestra, y póngase en el recipiente. Introdúzcase la muestra de árido fino de peso conocido dentro del recipiente y remuévase el aire atrapado. Determínese el volumen combinado de muestra y agua, leyendo directamente cuando se use un matraz graduado. Cuando se use un picnómetro o un matraz no graduado, termínese de llenar el recipiente con agua hasta la marca. El volumen del matraz o del picnómetro es igual al volumen combinado de agua y muestra. Calcúlese la cantidad de agua desplazada por la muestra como sigue:

$$V_s = V_2 - V_1$$

Donde:

- V_s : Volumen del agua desplazada por la muestra (ml).
- V_2 : Volumen combinado de muestra y agua (ml).
- V_1 : Volumen total de agua en el recipiente, requerida para cubrir la muestra y dar el nivel hasta la marca de volumen (ml).

6.3.1.16.6. CÁLCULOS

- a. Calcúlese el porcentaje de humedad superficial en términos del árido fino saturado y con superficie seca, de la manera siguiente:

$$P_d = P \left[1 + \frac{P_a}{100} \right]$$

Donde:

- P_d : Humedad superficial en términos del árido fino seco (%).
- P_a : Porcentaje de absorción del árido fino, determinado según la **Sección 6.3.1.10.**

La humedad total, en términos de árido seco, es la suma de la humedad superficial, P_d y la absorción P_a .

- b. Desarrollo de las ecuaciones anteriores:

Estas ecuaciones son derivadas de relaciones básicas. Por conveniencia, P se expresa en términos de la razón r, que es la relación entre el peso de la humedad superficial y el peso del árido fino saturado con superficie seca. Entonces:

$$r = \frac{W_S \left[\frac{W_S}{1+r} \right]}{\frac{W_S}{1+r}} \quad (1)$$

Si G es el peso específico aparente del árido fino saturado con superficie seca, entonces:

$$W_w = \frac{W_S}{G(1+r)} + \left(W_S - \frac{W_S}{1+r} \right) \quad (2)$$

Donde el primer término da el agua desplazada por el árido saturado con superficie seca y el segundo da la que es desplazada por la humedad superficial.

De la ecuación (2)

$$\frac{W_S}{1+r} = \frac{W_w - W_S}{\frac{1}{G} - 1}$$

SECCION 6.3.1.17. | ÍNDICE DE DURABILIDAD DE ÁRIDOS (ASTM D 3744 AASHTO T210)

6.3.1.17.1. OBJETO

Este método describe el procedimiento para determinar la durabilidad de áridos. El índice de durabilidad es un valor que muestra la resistencia relativa de un árido para producir finos dañinos, del tipo arcilloso, cuando se somete a los métodos de degradación mecánica que se describen.

6.3.1.17.2. USO Y SIGNIFICADO

1. Este ensayo asigna un valor empírico a la cantidad relativa, finura, y comportamiento arcilloso del material que puede ser generado en un árido cuando se somete a degradación mecánica.
2. Un índice de durabilidad mínimo ha sido especificado para prohibir el uso de un árido, en varias aplicaciones de construcción, propensas a degradación y consecuente generación de finos de comportamiento arcilloso.
3. Este método provee un ensayo rápido de evaluaciones de la calidad de una nueva fuente de áridos. Investigaciones han indicado que puede también usarse, en cambio del ensayo de sanidad frente a la acción de una solución de sulfato de sodio, para evaluar la durabilidad del árido fino de uso en el hormigón, reduciendo así el consumo de tiempo y los costos incurridos en el ensayo de sanidad.
4. Aunque la aplicación de este método se ha restringido a áridos para usos específicos de construcción, puede expandirse a otras áreas, como mezclas bituminosas de pavimento y hormigón.

6.3.1.17.3. EQUIPOS Y MATERIALES

5. Vaso mecánico de lavado, cilíndrico, de paredes rectas y fondo plano, conforme con las especificaciones y dimensiones de la **Figura 6.3_6**.
6. Recipiente colector, circular, de al menos 254 mm (10") de diámetro y de aproximadamente 102 mm (4") de profundidad, para recoger el agua resultante del lavado de la muestra. Tiene paredes verticales o casi verticales y está equipado con lo necesario para acoplar un tamiz, de tal forma que la malla del tamiz quede por lo menos a 76,2 mm (3") del fondo del recipiente. Puede usarse un adaptador, que evite la pérdida de finos y de agua de lavado, anidando el tamiz y el recipiente, o puede colocarse un tamiz en blanco (sin malla) bajo el otro tamiz, que repose directamente en el fondo del recipiente.
7. Agitador portátil tipo Tyler de tamices, modificado y ajustado para operar a 285 ± 10 ciclos completos por minuto. Los dos períodos de agitación, especificados en los numerales posteriores, se llevan a cabo con este agitador modificado.

Nota 1: Otros tipos de agitadores de tamices pueden ser usados, siempre y cuando todos sus factores sean ajustados para obtener los mismos resultados que con el agitador de Tyler.

8. Todo el equipo utilizado en la **Sección 6.3.1.13** (Equivalente de Arena).
9. Tamices
10. Balanza, con capacidad mínima de 500 g y precisión de 1 g.

6.3.1.17.4. MATERIALES Y REACTIVOS

11. Soluciones, base y de trabajo, de cloruro de calcio, con los requisitos de la **Sección 6.3.1.13** "Equivalente de Arena".
12. Agua destilada y/o agua desmineralizada, pues los resultados del ensayo pueden ser afectados por ciertos minerales disueltos en el agua. Sin embargo, si se demuestra que el agua usualmente disponible no afecta los resultados, se puede utilizar dicha agua, excepto en aquellas partes del procedimiento en los que se ordene usar expresamente agua destilada o desmineralizada. Para ensayos con propósitos de referencia, en todos los pasos del ensayo se debe usar agua destilada o desmineralizada.

6.3.1.17.5. CONTROL DE TEMPERATURA

13. Este ensayo puede efectuarse normalmente sin control de temperatura; sin embargo, para propósitos de referencia, ensáyese de nuevo el material, con la temperatura del agua destilada o desmineralizada y de la solución de trabajo de cloruro de calcio a $22 \pm 3^\circ\text{C}$ ($72 \pm 5^\circ\text{F}$).

6.3.1.17.6. MUESTREO

14. Obténganse las muestras del árido a ser ensayado de acuerdo con la **Sección 6.3.1.1**.

6.3.1.17.7. PREPARACION INICIAL DE LA MUESTRA

15. Séquense suficientemente las muestras de árido, para permitir su completa separación de tamaños mediante el tamiz de 4,75 mm (No.4), y para desarrollar una condición de fluidez o libre movimiento de los áridos cuando pasan a través del tamiz.

El secado puede efectuarse por cualquier método, siempre y cuando no se excedan los 60°C (140°F) y no se degraden las partículas. Los métodos de secado más usados son el secado al sol, al horno y el uso de corrientes de aire caliente.

16. Si la muestra contiene una cantidad apreciable de arcilla, dénese vueltas al árido a medida que se seca, para obtener un secado uniforme y evitar la formación de terrones duros de arcilla.
17. Rómpanse los terrones duros y remuévanse los finos que cubren los áridos gruesos, por cualquier método que no reduzca apreciablemente el tamaño natural de las partículas.
18. Determínese la gradación de la muestra por tamizado, de acuerdo con la **Sección 6.3.1.4**, con los tamices de 19,0; 12,5; 9,5; 4,75; 2,36 y 1,18 mm ($3/4''$, $1/2''$, $3/8''$, No.4, No.8, No.16). Descártese cualquier material que sea retenido en el tamiz de 19,0 mm ($3/4''$).
19. Determínense los procedimientos de ensayo que se usarán para establecer el índice de durabilidad del árido, basándose en la gradación obtenida en el numeral 18:

- Si menos del 10% pasa el tamiz de 4,75 mm (No.4), ensáyese solamente el árido grueso (procedimiento A).
- Si menos del 10% del árido es de tamaño mayor que el tamiz de 4,75 mm (No.4), ensáyese únicamente el árido fino (procedimiento B).
- Cuando ambas fracciones del árido, grueso y fino, están presentes en cantidades iguales o mayores al 10%, y el porcentaje que pasa el tamiz de 1,18 mm (No.16) es mayor del 10%, úsense ambos procedimientos, A y B, a las fracciones correspondientes.
- Si el porcentaje que pasa el tamiz de 1,18 mm (No.16) es menor o igual al 10%, úsense el procedimiento A o el procedimiento C.
- Si la mayoría del árido (75 a 80%) se encuentra entre los tamices de 9,5 mm (3/8") y 1,18 mm (No.16), úsense únicamente el procedimiento C.

6.3.1.17.8. PROCEDIMIENTO A - ÁRIDO GRUESO

B.1. Preparación de la muestra

20. Prepárese una muestra preliminar de ensayo de 2550 ± 25 g, secada al aire, usando la siguiente gradación:

Tamaño del árido	Peso seco al aire (g)
19,0 a 12,5 mm (3/4" a 1/2")	1.070±10
12,5 a 9,5 mm (1/2" a 3/8")	570±10
9,5 a 4,75 mm (3/8" a N°4)	910±5
	2.550±25

Séquese esta muestra preliminar, hasta peso constante, a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$); déjese enfriar y pése. Regístrese el peso resultante W.

Nota 2. Si no se requiere un ajuste al peso del espécimen o al volumen del agua de lavado y de ensayo, o a ambos, no es necesario secar la muestra al horno antes del lavado inicial.

21. Deposítese la muestra preliminar de ensayo dentro del vaso mecánico de lavado, añádanse 1000 ± 5 ml de agua destilada o desmineralizada, ajústese la tapa del vaso y asegúrese el vaso en el agitador.
22. Debido a la baja gravedad específica o a la alta tasa de absorción de ciertos áridos, las proporciones de áridos y agua pueden no permitir la abrasión deseada entre las partículas. El ensayo de estos materiales requerirá un ajuste al peso del espécimen de ensayo o al volumen del agua, tanto de lavado como de ensayo, o a ambos:
- Lávense todos los materiales que no se inundan completamente cuando se agregan 1000 ml de agua a la muestra de ensayo, y ensáyese con ajuste a los pesos del espécimen y a los volúmenes de agua.
 - Determínese el peso específico del árido secado al horno y su porcentaje de absorción, de acuerdo a la **Sección 6.3.1.9.**
 - Ajústese el peso total de la muestra de ensayo usando la siguiente ecuación:

$$\text{Peso ajustado de la muestra} = \frac{\text{Peso específico del agregado}}{2,65} \times W$$

- Ajustese el peso del material en cada tamaño proporcionalmente a los pesos especificados en el numeral 26.
- Ajustese el volumen del agua de ensayo usando la siguiente ecuación:

$$\text{Agua ajustada} = 1000 + (A \times W) - 50$$

Donde:

A: Absorción del árido (%).

W: Peso de la muestra de ensayo secada al horno (g).

23. Después de 60 ± 10 segundos de haber introducido el agua de lavado, agítase el vaso en el agitador de tamices, por un tiempo de 120 ± 5 segundos.
24. Al terminar el período de 2 min de agitación, remuévase el vaso del agitador, destápese y cuélese su contenido por el tamiz de 4,75 mm (No.4). Lávense los finos remanentes en el vaso con la ayuda de una manguera, de forma tal que el agua de lavado pase por el tamiz y caiga en el mismo recipiente de los áridos que lo atravesaron, hasta que salga limpia el agua.
25. Séquese la fracción retenida en el tamiz de 4,75 mm (No.4) hasta peso constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$) y pésese. Si la pérdida de peso debido al lavado efectuado según los numerales 21 a 24 es igual o menor a 75 g, una muestra para ensayos adicionales debe ser preparada y los procedimientos de los numerales 26 a 31 deben ser omitidos. Si la pérdida de peso excede los 75 g, la muestra preliminar de ensayo puede conservarse y ser usada, siempre y cuando una segunda muestra se lave mediante el mismo procedimiento y las dos muestras sean combinadas de acuerdo a los pesos especificados para proveer la muestra de ensayo deseada.
26. Determinése la gradación a ser usada en la preparación de la muestra de ensayo preliminar como sigue:

Si cada uno de los tamaños de áridos listados en la siguiente tabla representa el 10% o más de la porción comprendida entre los tamices de 19,0 mm ($3/4''$) y 4,75 mm (Nº.4), como se determinó en los pesos registrados en el numeral 18, úsense los pesos del material (secado al horno) especificado enseguida, para preparar la muestra de ensayo preliminar.

Tamaño del árido	Peso seco al horno (g)
19,0 a 12,5 mm ($3/4''$ a $1/2''$)	1.070±10
12,5 a 9,5 mm ($1/2''$ a $3/8''$)	550±10
9,5 a 4,75 mm ($3/8''$ a Nº4)	900±5
	2.500±25

27. Prepárense 2500 g de muestra de ensayo preliminar usando la gradación prescrita. Séquese esta muestra hasta peso constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$).
28. Lávese mecánicamente la muestra preliminar de la misma manera como se describió en los numerales 21 a 24.
29. Repítanse las secciones 27 y 28, si es necesario, para obtener suficiente material que dé

una muestra de ensayo lavada de 2500 ± 25 g, numeral 26.

30. Después de permitir que se enfríe el material secado al horno, sepárese el árido grueso lavado, en los tamices de 12,5, 9,5 y 4,75 mm ($\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", No.4). Descártese el material que pasa el tamiz de 4,75 mm (No.4).
31. Prepárese la muestra de ensayo lavada usando los pesos especificados en el numeral 26, a partir de porciones representativas de cada tamaño del material lavado. Ocasionalmente, puede ser necesario lavar una tercera muestra preliminar de ensayo para obtener el peso requerido en un tamaño específico de material.

B.2. Procedimiento para el árido grueso

32. Colóquese el cilindro plástico (el mismo requerido en la **Sección 6.3.1.13** para obtención del equivalente de arena) sobre una mesa de trabajo, la cual no debe estar expuesta a vibraciones durante el proceso de sedimentación del ensayo. Viértanse 7 ml (0.24 onzas) de la solución base del cloruro de calcio dentro del cilindro. Colóquense los tamices de 4,75 mm (No.4) y de 75 μ m (No.200) sobre el recipiente recolector del agua de lavado con el tamiz de 4,75 mm (No.4) arriba, el cual sirve sólo para proteger el tamiz de 75 μ m (No.200).
33. Colóquese la muestra de ensayo lavada (como se preparó en el punto "Preparación de la muestra" del Procedimiento A) en el vaso mecánico de lavado. Añádase luego la cantidad de agua destilada o desmineralizada, determinada en el numeral 22; ajústese la tapa y colóquese el vaso en el agitador.

Comiéncese la agitación después de 60 segundos de haber vertido el agua de lavado. Agítese el vaso por 600 ± 15 segundos.

34. Inmediatamente después de agitado, retírese el vaso del agitador y quítesele la tapa. Agítese el contenido del vaso sostenido verticalmente, en forma vigorosa, con movimientos horizontales -circulares, cinco o seis veces, para poner los finos en suspensión e inmediatamente viértase este contenido en el recipiente colector de agua de lavado con los tamices mencionados en el numeral 32.

Descártese el material retenido en el tamiz de 4,75 mm (Nº.4). Recójase toda el agua de lavado y material que pasa el tamiz de 75 μ m (Nº.200) en el recipiente colector. Para asegurar que el material de tamaño inferior al del tamiz de 75 μ m (Nº.200) ciertamente pasa por dicho tamiz, deben seguirse los siguientes pasos:

- a) A medida que se cuele el material por el tamiz de 75 μ m (No.200), debe golpearse repetidamente el lado del tamiz con la mano.
 - b) Si aún queda una concentración retenida en el tamiz, debe reciclarse el agua de lavado. Para ello debe primero dejarse reposar el agua del colector permitiendo que asienten las partículas mayores. Luego, el agua un poco más clara de la parte superior puede depositarse en otro recipiente y volverse a verter sobre los tamices, para caer de nuevo en el recipiente colector, lavando así las partículas remanentes. Debe repetirse este reciclaje hasta que todas las partículas que deben pasar por el tamiz de 75 μ m efectivamente pasen y se junten en el recipiente colector.
35. Añádase agua destilada o desmineralizada, hasta dar el volumen de 1000 ± 5 ml de agua sucia. Transfírase el agua de lavado a otro recipiente adecuado para agitar y verter su contenido.
 36. Colóquese un embudo en el cilindro plástico graduado. Agítese manualmente el agua de

lavado para poner los finos en suspensión. Estando aún en turbulencia, viértase el agua de lavado dentro del cilindro graduado, en cantidad tal, que llegue el nivel del agua a la marca de 380 mm (15").

37. Remuévase el embudo, colóquese el tapón en el extremo del cilindro y prepárese para mezclar el contenido inmediatamente.
38. Mézclase el contenido del cilindro mediante movimientos alternados de agitación hacia arriba y hacia abajo, o a la derecha y a la izquierda, haciendo que la burbuja atraviese completamente el cilindro 20 veces en 35 segundos aproximadamente.
39. Al terminar el proceso de mezcla, colóquese el cilindro sobre la mesa de trabajo y remuévase el tapón. Déjese reposar el contenido del cilindro por 1200 ± 15 segundos, cuidando de no perturbarlo.

Exactamente al final de este tiempo léase y regístrese la altura de la columna de sedimentación, con aproximación de 2,5 mm (0.1").

Nota 3: Existen dos condiciones inusuales que pueden ser encontradas en esta fase del procedimiento de ensayo. Una es que puede no formarse una línea de demarcación claramente definida entre el sedimento y el líquido sobre él, al finalizar los 20 minutos especificados. Si esto ocurre en un ensayo donde se usó agua destilada o desmineralizada, déjese sedimentar aún más hasta que se forme la línea de demarcación, mézclase la altura y regístrese el tiempo. Si en cambio el ensayo se hizo con agua común, debe discontinuarse el ensayo y repetirse usando una parte de la muestra que no esté ensayada, y usando agua desmineralizada. La segunda condición inusual es que el líquido que está sobre la línea de demarcación puede verse aún oscuro y turbio al final de los 20 minutos de sedimentación, viéndose como si la línea de demarcación estuviese dentro de la misma columna de sedimentación. Al igual que la primera condición, si se ha usado agua común, debe volver a hacerse el ensayo con una nueva muestra y con agua destilada y desmineralizada; en caso contrario, puede leerse y registrarse esta línea de demarcación al final del tiempo de sedimentación de 20 minutos.

6.3.1.17.9. PROCEDIMIENTO B - ÁRIDO FINO

B.1. Preparación de la muestra de ensayo

40. Cuartéese una porción representativa del material que pasa por el tamiz de 4,75 mm (No.4), suficiente para obtener un peso secado al horno de 500 ± 25 g.
41. Séquese la muestra preliminar de ensayo hasta peso constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$). Enfríese a la temperatura ambiente.
42. Colóquese la muestra de ensayo en el vaso mecánico de lavado, añádanse 1000 ± 5 ml de agua destilada y desmineralizada, y tápese el vaso. Asegúrese el vaso en el agitador con suficiente tiempo para comenzar la agitación después de 600 ± 30 segundos de haber introducido el agua de lavado. Agítese el vaso por un período de 120 ± 5 segundos.
43. Después de completar el período de agitación de 2 minutos, retírese el vaso del agitador, destápese y cuélese cuidadosamente su contenido a través del tamiz de $75 \mu\text{m}$ (No.200), protegido con el tamiz de 4,75 mm (No.4), como se describió en el numeral 32. Enjuáguese el vaso y el tamiz con ayuda de una manguera, de manera que el agua de lavado caiga en el mismo recipiente de los áridos que pasaron el tamiz de $75 \mu\text{m}$ (No.200), hasta que el agua que pasa por el tamiz salga clara.

44. Puede ser necesario fluidificar aquellas muestras que sean arcillosas o limosas, antes de verterlas sobre el tamiz, para prevenir el taponamiento del tamiz de 75 μm (No.200). Se fluidifica añadiendo agua al vaso después del período de agitación. Fluidificación repetida puede ser necesaria en casos extremos, antes de que el contenido del vaso sea vertido en el tamiz.
45. Después del lavado, transfírase el material retenido en el tamiz, a un recipiente de secado y séquese hasta peso constante, a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$). Es necesario lavar el material retenido en el tamiz de 75 μm (No.200) para transferirlo al recipiente de secado. Déjese el recipiente en una posición inclinada, hasta que el agua libre que drena por el lado más bajo sea clara. Luego desalójese esta agua clara. Úsen-se recipientes grandes y pandos para extender la muestra y aumentar la velocidad de secado.
46. Después de permitir que el material secado al horno se enfríe, tamícese la muestra de ensayo, por 20 minutos, usando los siguientes tamices: 2,36 y 1,18 mm, 600, 300, 150 y 75 μm (Nos.8, 16, 30, 50, 100 y 200).

Nota 4: El agitador descrito en el numeral 7 no es aconsejable si se decide calcular la gradación del material. Cualquier agitador mecánico puede ser usado para la separación de tamaños en vez del agitador especificado. No es esencial efectuar el análisis granulométrico para llevar a cabo el ensayo de durabilidad para los áridos finos. Si no se desea hacer el análisis granulométrico, este paso se puede omitir.

47. Después de averiguar la granulometría de la muestra de ensayo lavada, recombínese todo el material retenido en los diferentes tamaños, con el material que pasa el tamiz de 75 μm (Nº 200) que fue colectado en el recipiente colector.
48. Cuartéese una cantidad suficiente del material lavado y tamizado, para llenar la lata de medida de 85 ml (3 oz) hasta el borde. Mientras que se llena la lata, golpéese su fondo sobre otra superficie dura para causar la consolidación del material y permitir que quepa la mayor cantidad de material en la lata. Téngase especial cuidado en este procedimiento para lograr una muestra verdaderamente representativa.

Nota 5: Es preferible el uso de un cuarteador que cumpla con los requisitos de la **Sección 6.3.1.2**.

B.2. Procedimiento para el árido fino

49. Hágase un ensayo de equivalente de arena de acuerdo con la **Sección 6.3.1.13**, con la excepción de que se debe usar un agitador mecánico para agitar continuamente el cilindro y su contenido por un tiempo de 600 ± 15 segundos.

6.3.1.17.10. PROCEDIMIENTO C - ÁRIDOS MUY FINOS PARA SER ENSAYADOS COMO ÁRIDOS GRUESOS Y MUY GRUESOS PARA SER ENSAYADOS COMO ÁRIDOS FINOS

B.1. Preparación de la muestra

50. El procedimiento C ha sido desarrollado para ensayar áridos que están contenidos principalmente entre los tamices de 9,5 mm y 1,18 mm ($3/8''$ y Nº 16). Estos áridos son muy finos para ser ensayados como áridos gruesos y muy gruesos para ser ensayados como arena.
51. Prepárese la muestra de ensayo de la misma forma que la especificada en el punto "Pre-

paración de la muestra de ensayo” del Procedimiento B, exceptuando que se elimina el procedimiento de tamizado y de recombinación del material seco como se requería en los numerales 46 y 47.

Procedimiento

52. Llénese el cilindro plástico hasta el nivel de $102 \pm 2,5$ mm (4 ± 0.1 ”) con agua destilada o desmineralizada. Viértase el espécimen de ensayo preparado dentro del cilindro mediante un embudo para evitar derramamiento. Golpéese súbitamente el fondo del cilindro con la palma de la mano, para liberar cualquier burbuja y ayudar al humedecimiento total del espécimen. Permítase reposar el cilindro por 10 ± 1 minutos.
53. Tápese el cilindro, aflójese el material del fondo, y colóquese el cilindro en el agitador mecánico del equivalente de arena. Enciéndase el cronómetro y permítase que la máquina agite el cilindro y su contenido por 30 ± 1 minutos.
54. Al final del período de agitación, remuévase el cilindro del agitador y transfírase el agua y el material que pasa el tamiz de $75 \mu\text{m}$ (Nº 200) a un segundo cilindro que contiene 7 ml (0.24 oz) de solución base de cloruro de calcio. Para ello, deben anidarse los tamices de 2,36 mm y de $75 \mu\text{m}$ (Nº 8 y Nº 200) con un embudo que descarga al segundo cilindro, debe golpearse el fondo del primer cilindro (aún tapado) y agitarse para aflojar su contenido, luego invertirlo sobre el embudo con los tamices, quitar el tapón y dejar que se cuele el contenido a través de los tamices y que descargue el material que pase, en el segundo cilindro. Luego añádase suficiente agua fresca destilada, hasta que el nivel del líquido en el segundo cilindro sea de 380 mm (15”).

Tápese el segundo cilindro y mézclese su contenido invirtiéndolo 20 veces en 35 segundos.
55. Permítase que el cilindro repose sin disturbios, por 1200 ± 15 segundos (20 minutos) desde el momento de haber completado la operación de mezcla, luego léase la marca de la suspensión arcillosa con precisión de 2,5 mm (0.1”).

6.3.1.17.11. CÁLCULOS

Procedimiento A - agregado grueso

Calcúlese el índice de durabilidad del árido grueso, aproximándolo al entero más cercano, usando la siguiente ecuación:

$$D_c = 30,3 + 20,8 \cot (0,29 + 0,15 H)$$

Dónde:

D_c: Índice de durabilidad

H: Altura de sedimentación, en pulgadas, y la cantidad (0,29 + 0,15 H) en radianes.

Procedimiento B - árido fino

Calcúlese el índice de durabilidad del árido fino, aproximándolo al entero inmediatamente superior, usando la siguiente ecuación:

$$D_f = \frac{\text{lectura de la arena}}{\text{lectura de la arcilla}} \times 100$$

Si se desea calcular el índice como el promedio de varios índices, cada índice se calcula al entero superior y el promedio de ellos también se aproxima al entero superior.

Procedimiento C - áridos muy finos para ser ensayados como áridos gruesos y muy gruesos para ser ensayados como áridos finos

Calcúlese el índice de durabilidad de acuerdo con el punto “Procedimiento A – árido grueso” de Cálculos.

6.3.1.17.12. PRECAUCIONES

56. Hágase el ensayo en un lugar libre de vibraciones, ya que las vibraciones pueden ocasionar que el material suspendido se asiente a una mayor velocidad que la normal.
57. No deben exponerse los cilindros plásticos al sol por un tiempo mayor al necesario.
58. Revísese frecuentemente el juego entre la excéntrica y la cama del agitador Tyler. Si existe tal juego, debe reemplazarse una de ellas o ambas.
59. Lubríquese el agitador al menos una vez cada tres meses.

6.3.1.17.13. INFORME

56. Infórmese la gradación del material a ensayar tal como fue recibido, la gradación de la muestra de árido grueso usada y la de árido fino usada. Infórmese el índice de durabilidad calculado (D_c o D_f) con la indicación del procedimiento usado (A, B o C).
57. Infórmese si hubo control de temperatura y si se usó agua común, destilada o desmineralizada.

6.3.1.17.14. PRECISIÓN

58. Resultados de dos (2) ensayos efectuados por el mismo operador, sobre el mismo material, no deben diferir entre sí en más de 10,1.
59. Resultados de dos (2) ensayos efectuados en laboratorios diferentes, sobre el mismo material, no deben diferir entre sí en más de 14,4.

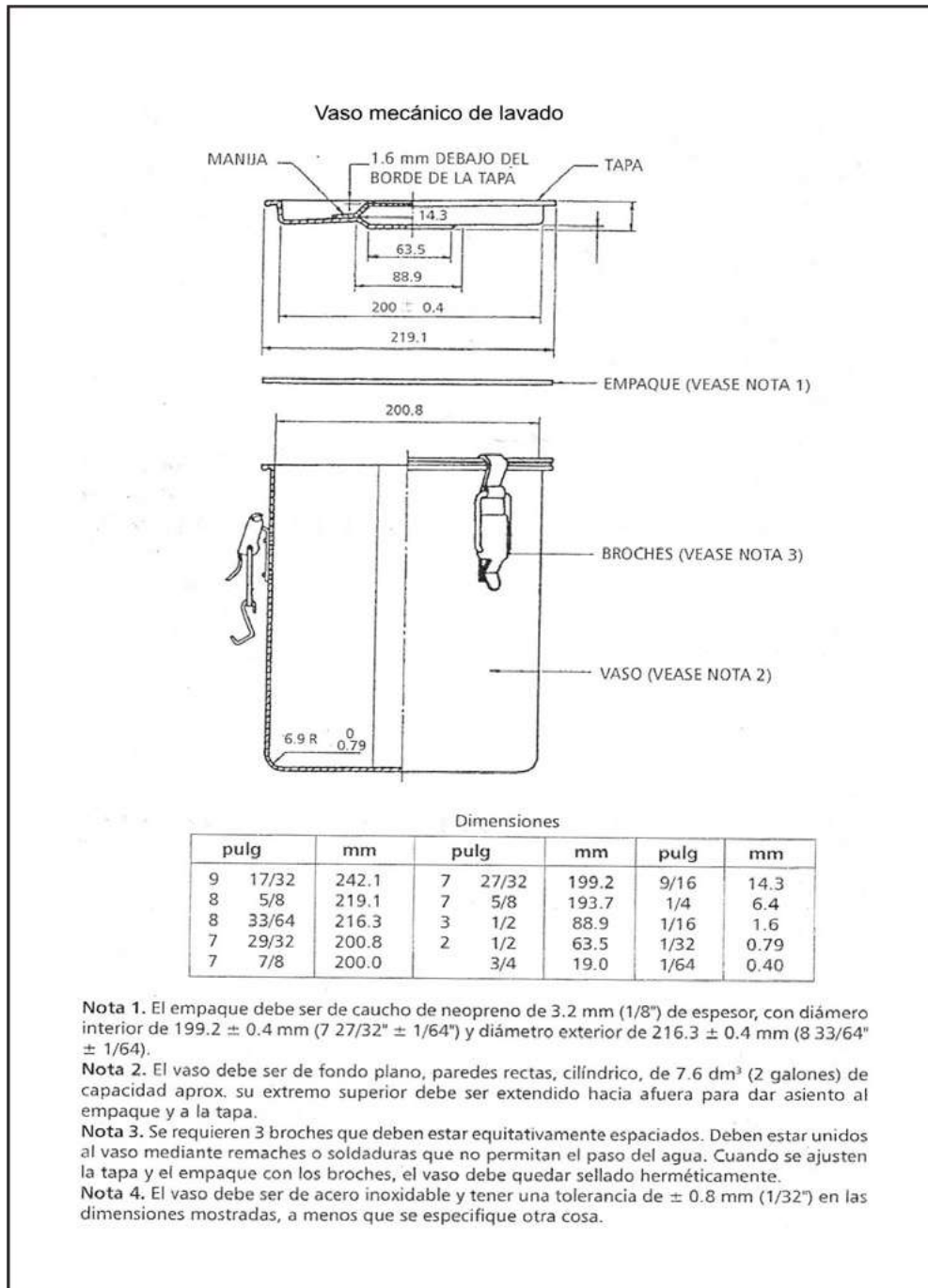


Figura 6.3_6. VASO MECÁNICO DE LAVADO

SECCION 6.3.1.18.

PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS ÁRIDOS(D 5821 NTL358)

6.3.1.18.1. OBJETO

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje, en peso, del material que presente una o más caras fracturadas de las muestras de áridos.

6.3.1.18.2. EQUIPOS Y MATERIALES

- Balanza, de 5000 g de capacidad y precisión de 1 g.
- Tamices, de 37,5, 25,0, 19,0, 12,5 y 9,5 mm (1½", 1", ¾", ½" y 3/8").
- Espátula, para separar los áridos.

6.3.1.18.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

1. La muestra para ensayo deberá ser representativa de la granulometría promedio del agregado, y se obtendrá mediante un cuidadoso cuarteo del total de la muestra recibida. Hágase el análisis granulométrico de la muestra cuarteada.
2. Sepárese por tamizado la fracción de la muestra comprendida entre los tamaños 37,5 mm y 9,5 mm (1½" y 3/8"). Descártese el resto.
3. El peso total de la muestra dependerá del tamaño del árido así:

Tamaño del árido		Peso (g)
37,5 a 25,0 mm	(1 ½" a 1")	2.000
25,4 a 19,0 mm	(1" a ¾")	1.500
19,0 a 12,5 mm	(¾" a ½")	1.200
12,5 a 9,5 mm	(½" a 3/8")	300

6.3.1.18.4. PROCEDIMIENTO

- a. Espárzase la muestra en un área suficientemente grande, para inspeccionar cada partícula. Si es necesario lávese el árido sucio. Esto facilitará la inspección y detección de las partículas fracturadas.
- b. Sepárense con el borde de la espátula, las partículas que tengan una o más caras fracturadas. Si una partícula de árido redondeada presenta una fractura muy pequeña, no se clasificará como "partícula fracturada". Una partícula se considerará como fracturada cuando un 25% o más del área de la superficie aparece fracturada. Las fracturas deben ser únicamente las recientes, aquellas que no han sido producidas por la naturaleza, sino por procedimientos mecánicos.
- c. Pése las partículas fracturadas y anótese este valor.

6.3.1.18.5. CÁLCULOS

- a. Para llevar a cabo los cálculos, sígase el formato del ejemplo que se muestra en la **Figura 6.3_7**.
- b. El procedimiento de cálculo es como se describe en los numerales siguientes.
- c. Anótese en la columna A el peso exacto de las porciones de la muestra tomadas para el ensayo, comprendidas entre los tamaños especificados, y teniendo en cuenta el numeral 3.
- d. En la columna B anótese el peso del material con caras fracturadas para cada tamaño.
- e. La columna C representa el porcentaje de caras fracturadas para cada tamaño: $C = (B/A) \times 100$.
- f. Regístrese en la columna D los valores correspondientes del análisis granulométrico de la muestra original (numeral 1).
- g. Después de calcular la columna $E = C \times D$ y sumar los valores de cada columna, el porcentaje de caras fracturadas se calcula así, expresándolo con aproximación del 1%:

Ejemplo de determinación del porcentaje de caras fracturadas de un agregado.

DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE
 DE CARAS FRACTURADAS

Obra _____ Sitio: RÍO OCOA Muestra: Triturado
 Descripción: Grava color amarillo
 Horizonte: _____ Profundidad: _____ Fecha: IV-6-88

TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C	D	E
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	(g)	(g)	$(\frac{B}{A} \times 100)$	(%)	C x D
1 1/2"	1"	2.000				
1"	3/4"	1.500	1.127	75.1	16.9	1.269.2
3/4"	1/2"	1.200	806	67.2	14.5	974.4
1/2"	3/8"	300	237	79.0	9.1	718.9
TOTAL			2.170	221.3	40.5	2.962.5
PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS		=		$\frac{\text{TOTAL E}}{\text{TOTAL D}} = 73.1 \%$		

- A PESO MUESTRA, g
- B PESO MATERIAL CON CARAS FRACTURADAS, g
- C PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS
- D PORCENTAJE RETENIDO GRADACIÓN ORIGINAL
- E PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS

OBSERVACIONES:

LABORATORISTA

INGENIERO

Figura 6.3_7. EJEMPLO DE DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS DE UN AGREGADO

SECCION 6.3.1.19.

COEFICIENTE DE FRIABILIDAD DE LOS ÁRIDOS(UNE 83115)

6.3.1.19.1. OBJETO

1. Este método describe el procedimiento que debe seguirse para determinar el coeficiente de friabilidad de los áridos, sometidos a compresión estática.
2. El ensayo proporciona una medida relativa de la resistencia de los áridos a la abrasión, cuando se someten a una carga gradualmente aplicada.
3. La utilización de cada uno de los moldes y de cada una de las cargas descritas en el ensayo, dependerá del tamaño de las partículas del árido que se pretende ensayar.

6.3.1.19.2. EQUIPOS Y MATERIALES

4. Moldes

Tres moldes cilíndricos de acero, abiertos por sus extremos, con sus placas de base, de la forma y dimensiones que se indican en la Figura 6.3_8.

Las superficies interiores de los moldes, en contacto con el árido, estarán maquinadas y tratadas de forma tal que su dureza no sea inferior a 578 HB (dureza Brinell).

5. Pistones

Tres pistones de acero, de la forma y dimensiones que se indican en la **Figura 6.3_8**.

6. Varillas para compactar

Dos varillas cilíndricas de metal, uno de cuyos extremos será de forma esférica del mismo diámetro que las varillas. Las varillas a utilizar con los moldes grande y mediano serán de 16 mm de diámetro y 450 mm de longitud. La varilla a utilizar con el molde pequeño será de 8 mm de diámetro y 225 mm de longitud.

7. Balanza y báscula

Una balanza de 20 kg de capacidad y precisión 2 g, y una báscula de 50 kg de capacidad y precisión 5 g.

8. Horno

El horno que se emplee estará provisto de regulador de temperatura y de circulación forzada de aire, y será capaz de mantener la temperatura a $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

9. Tamices, indicados en la **Tabla 6.3_17**.

Tabla 6.3_17. TAMICES REQUERIDOS PARA EL ENSAYO

Designación		Designación	
mm	Alterna	mm	Alterna
63	2 ½"	12,5	½"
50	2"	9,5	3/8"
37,5	1 ½"	8,0	5/16"
31,5	1 ¼"	6,3	¼"
25,0	1"	4,75	Nº4
19,0	3/4"	2,36	Nº8
16,0	5/8"	1,70	Nº12

10. Material auxiliar

Cuartheador de áridos, bandejas, pinzas metálicas, cepillo, etc.

6.3.1.19.3. PREPARACION DE LA MUESTRA

11. Previo cuarteo del material recibido en el laboratorio, y de acuerdo con el tamaño de partículas que predomina en la muestra o la fracción de árido específica que se desea ensayar, se prepararán por tamizado, entre los tamices de abertura correspondiente indicados en la **Tabla 6.3_18**, las muestras para ensayo. El peso aproximado y el molde que se va a emplear son, así mismo, los indicados en dicha **Tabla 6.3_18**.

Tabla 6.3_18. MOLDES Y PESOS DE LA MUESTRA PARA EL ENSAYO

Fracción de ensayo (tamices, mm)	Molde de ensayo	Peso aproximado necesario (g)
50-63 37,5-31,5 31,5-25,0	Grande	25.000
16,0-19,0 2,5-16,0 9,5-12,5	Mediano	3.000
6,3-8,0	Pequeño	500

12. La muestra para ensayo consistirá de árido exento de polvo por lavado y desecación en horno hasta peso constante, a la temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$ (**Nota 1**), dejándola enfriar a temperatura ambiente antes de ensayarla.

Nota1: El tiempo de secado en horno a la temperatura indicada en el numeral 12 no excederá de 4 horas.

6.3.1.19.4. PROCEDIMIENTO

13. Escogido el molde de ensayo que se va a utilizar, de acuerdo con la fracción de árido (**Tabla 6.3_18**), en una de las balanzas especificadas en el numeral 7 se pesan el molde vacío y su placa de base, denominándose a este peso PT.

14. Con el árido, preparado como se indica en los numerales 11 y 12, se llena el correspondien-

te molde de ensayo, montado sobre su placa de base, añadiendo la muestra de árido en tres capas de aproximadamente el mismo espesor. Se compacta cada capa con 25 golpes de la varilla adecuada para cada molde (numeral 6), aplicados con su extremo redondeado y distribuyéndolos en toda la superficie de la capa.

15. La cantidad definitiva de muestra que se va a ensayar será tal, que cuando el pistón sea colocado sobre ella, según se indica en el numeral 16, aquél quede alojado en el interior del molde, penetrando tan sólo el espesor de su disco inferior, tal como se indica en la **Figura 6.3_8**.

16. Para acomodar la muestra introducida en el molde de ensayo, se coloca el pistón adecuado y se le comunica un ligero movimiento alternativo de rotación, por medio de la barra que atraviesa su cabeza. De esta forma, se logra la nivelación de la superficie de la muestra, permitiendo que el espesor total del disco inferior del pistón entre en el molde (**Nota 2**).

Nota 2: Si en el primer intento el espesor del disco inferior del pistón no queda justamente introducido en el molde de ensayo, se corrige parcialmente la cantidad de árido de la última capa, en su superficie, volviendo a verificar con el pistón los movimientos de rotación como se describe en el numeral 16. Esta operación se repite las veces necesarias, hasta conseguir la altura deseada del pistón en el interior del molde.

17. Luego del ajuste del pistón, éste se retira y se pesa el conjunto de molde, base y árido, en la balanza adecuada. Descontando de este peso así determinado el peso PT (numeral 13), se obtiene el peso inicial, PI, de la muestra de ensayo.

18. Se vuelve a colocar el pistón en el molde, de forma tal que descansa horizontalmente sobre la superficie del árido, asegurándose de que el pistón no quede acodado en las paredes interiores del cilindro.

19. El molde con la muestra y el pistón en su posición correcta se sitúan sobre el plato de la prensa.

20. La carga de ensayo que se aplica, según el tamaño del molde, será la que se indica en la Tabla 6.3_19.

Seguidamente, se pone en marcha la prensa, aplicando la carga de ensayo a una velocidad tan uniforme como sea posible, de manera que se llegue a la carga total en un tiempo máximo de 10 minutos. Esta carga es mantenida durante 2 minutos.

21. Una vez aplicada la carga de ensayo, se retira de la prensa el molde con su placa de base. A continuación, y sobre una bandeja, se quita el pistón y se vacía totalmente el molde, recogiendo con ayuda de un cepillo todo el material que quede adherido a sus paredes interiores. Luego se tamiza toda la muestra por los siguientes tamices de acuerdo con el molde empleado.

Tabla 6.3_19. TAMAÑOS DE MOLDES

Molde Grande	Tamiz de 4,75 mm	(Nº 4)
Molde mediano	Tamiz de 4,75 mm	(Nº 8)
Molde pequeño	Tamiz de 4,75 mm	(Nº 12)

22. Se pesa la fracción del material que pasa por el tamiz correspondiente, obteniéndose así el peso, P_f , del material fino que se ha producido durante el ensayo, teniendo el máximo cuidado para evitar pérdidas.

23. De cada muestra de árido deberán efectuarse, como mínimo, dos determinaciones.

6.3.1.19.5. CÁLCULOS

El coeficiente de friabilidad se calcula, en tanto por ciento, mediante la relación entre el peso del material fino, PF, producido en el ensayo y el peso inicial de la muestra ensayada, PI:

$$\text{Coeficiente de friabilidad} = \frac{P_F}{P_I} \times 100$$

La media de los valores obtenidos en las dos determinaciones efectuadas se redondeará al número entero más próximo.

El resultado obtenido se expresará como coeficiente de friabilidad, indicándose la fracción de árido ensayado.

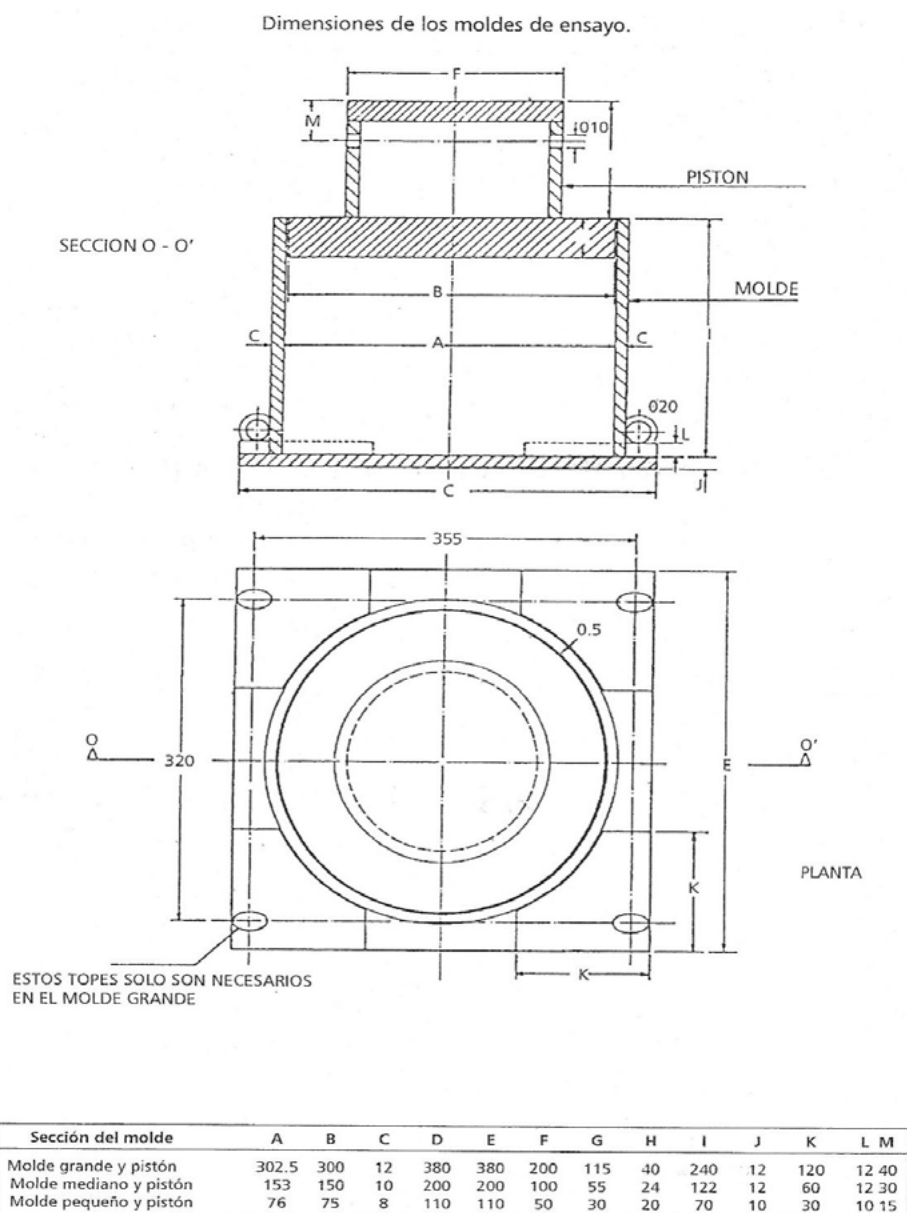


Figura 6.3_8. DIMENSIONES DE LOS MOLDES DE ENSAYO

SECCION 6.3.1.20.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE VOLUMÉTRICO MEDIO DE LOS ÁRIDOS GRUESOS

6.3.1.20.1. OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar el coeficiente volumétrico medio de los áridos gruesos. Es aplicable a los áridos gruesos que se utilizan en la elaboración de hormigones y mezclas asfálticas.

El método establece dos procedimientos para determinar la suma de los volúmenes reales (V) de las partículas que constituyen un árido: un procedimiento volumétrico, aplicable a los casos corrientes, y un procedimiento gravimétrico, que se utiliza como contra ensayo en casos de controversia.

6.3.1.20.2. DEFINICIONES

B.1. Coeficiente volumétrico de una partícula

Tasa entre el volumen real (V) de una partícula y el volumen de una esfera de diámetro igual a la mayor dimensión (N) de esa partícula.

B.2. Coeficiente Volumétrico Medio (C).

Cociente entre la suma de los volúmenes reales (V) de las partículas que constituyen un árido y la suma de los volúmenes $\left(\sum \pi \cdot \frac{N_i^3}{6}\right)$ de las respectivas esferas circunscriptas.

6.3.1.20.3. EQUIPOS Y MATERIALES

B.1. Aparatos para determinar V.

- Método volumétrico. Una probeta graduada en cm³ con una capacidad mínima de 500 cm³ y un diámetro interior igual o mayor que el tamaño máximo absoluto del árido.
- Método gravimétrico. Los aparatos indicados en la **Sección 6.3.1.10**.

B.2. Aparato para Determinar Ni.

Un pie de metro.

6.3.1.20.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

B.1. Muestreo

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con las **Secciones 6.3.1.1 y 6.3.1.2**.

B.2. Acondicionamiento de la muestra de ensayo

- Previamente realice el ensayo de tamizado de acuerdo con la **Sección 6.3.1.4**, registrando el tamaño máximo absoluto (Da).

- b. Reduzca por cuarteo el material mayor que 4,75mm (Nº 4) o 2,36mm (Nº 8), según sea para hormigón o asfalto respectivamente, al tamaño de la muestra de ensayo que se indica en la **Tabla 6.3_ 20**.

Tabla 6.3_20. TAMAÑO MÍNIMO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Tamaño máximo absoluto del árido D_a (mm)	Tamaño mínimo de la muestra (g)
9,5	1.500
37,5	500
19	250

Nota 1: Para tamaños máximos intermedios, los tamaños de muestra pueden interpolarse. Por ejemplo, para $D_a = 50$ mm corresponden 750 g de muestra y para $D_a = 25,0$ mm corresponden 300 g.

6.3.1.20.5. PROCEDIMIENTO

- a. Determine la suma de los volúmenes reales (V) de las partículas mediante el procedimiento volumétrico siguiente:
- Acondicione la muestra al estado saturado superficialmente seco, de acuerdo con la **Sección 6.3.1.9**.
 - Coloque en la probeta graduada un volumen de agua que garantice que la muestra va a quedar completamente sumergida. Registre el volumen correspondiente como V_1 , aproximando a 1cm^3 .
 - Sumerja la muestra en el agua de la probeta. Agite el agua de modo de eliminar las burbujas de aire. Registre el volumen total del agua más la muestra sumergida como V_2 , aproximando a 1cm^3 .
 - Calcule V como el volumen de agua desplazada de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a 1cm^3 .

$$V(\text{cm}^3) = V_2 - V_1$$

Donde:

- V: Suma de los volúmenes reales de las partículas de la muestra (cm^3).
- V_1 : Volumen del agua en la probeta (cm^3).
- V_2 : Volumen del agua más la muestra sumergida en la probeta (cm^3).

- b. En casos de controversia efectúe contra ensayos, determinando la suma de los volúmenes reales de las partículas (V) mediante el procedimiento gravimétrico siguiente:
- Obtenga los valores de la pesada sumergida (A) y la pesada al aire ambiente en condición saturada superficialmente seca (B) del material en estudio, determinados según **Sección 6.3.1.9**.
 - Calcule V como el volumen del total de partículas de la muestra, de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a $1(\text{cm}^3)$.

$$V(\text{cm}^3) = (B - A) \times 100 \frac{\text{cm}^3}{\text{kg}}$$

Donde:

V: Suma de los volúmenes reales de las partículas de la muestra (cm^3).

A: Masa del árido sumergido (kg).

B: Masa del árido saturado suèfib0almenye seco (kg).

c. Determine los valores de N_i para el total de partículas de la muestra, mediante el procedimiento de medición directa siguiente:

- Mida con el pie de metro la mayor dimensión de cada partícula (N) y regístrela en centímetros, aproximando a $0,1 \text{ cm}^3$.

$$\sum N_i^3$$

- Calcule y registre el valor de la sumatoria de los N .

6.3.1.20.6. CÁLCULOS

Calcule el coeficiente volumétrico medio para cada ensayo de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a 0,01:

$$C = \frac{1,91 W}{\sum N_i^3}$$

Donde:

C: Coeficiente volumétrico medio.

1,91: Factor correspondiente al valor inverso de $\pi/6$.

V: Suma de los volúmenes reales de las partículas de la muestra (cm^3).

Calcule el coeficiente volumétrico medio de un árido como el promedio aritmético de dos ensayos sobre muestras gemelas.

6.3.1.20.7. PRECISIÓN

Acepte la determinación del coeficiente volumétrico medio cuando la diferencia entre los dos resultados obtenidos por un mismo operador, en ensayos sobre muestras gemelas, sea igual o inferior a 0,02.

Debe ensayar dos nuevas muestras gemelas cuando no se cumpla con lo especificado en el punto 12.

6.3.1.20.8. INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Procedencia de la muestra y lugar de extracción.
- c) Tamaño máximo absoluto del árido grueso Da.
- d) Procedimiento empleado en la determinación del volumen total de partículas (volumétrico o gravimétrico).
- e) El resultado del ensayo.
- f) Fecha de ensayo.
- g) Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al árido.
- h) Referencia a este método.

SECCION 6.3.1.21.

ÍNDICE DE APLANAMIENTO Y DE ALARGAMIENTO DE LOS ÁRIDOS PARA CARRETERAS (NTL 354)

6.3.1.21.1. OBJETO

Este método describe el procedimiento que debe seguirse, para la determinación de los índices de aplanamiento y de alargamiento, de los árido que se van a emplear en la construcción de carreteras.

De acuerdo con este método, se define como índice de aplanamiento de una fracción de árido, el porcentaje en peso de las partículas que la forman, cuya dimensión mínima (espesor) es inferior a $3/5$ de la dimensión media de la fracción.

Se define como índice de alargamiento de una fracción de árido, el porcentaje en peso de las partículas que la forman, cuya dimensión máxima (longitud) es superior a $9/5$ de la dimensión media de la fracción.

Este método no es aplicable a las fracciones del árido con tamaño inferior a 6,3 mm ($1/4''$).

6.3.1.21.2. EQUIPO

- Calibradores metálicos, uno de ranuras (calibrador de espesores) y otro de barras (calibrador de longitudes), cuyas dimensiones estarán de acuerdo con lo especificado en las **Figuras 6.3_9** y **6.3_10**.
- Tamices, indicados en la **Tabla 6.3_ 21**.
- Balanza, con una precisión de 0,1% el peso de la muestra de áridos que se ensaya.
- Equipo misceláneo: cuarteador de árido, bandejas, etc.

6.3.1.21.3. PREPARACION DE LA MUESTRA

1. Del material recibido en el laboratorio, se separa por cuarteo una muestra representativa, con cantidad suficiente para la realización del ensayo.
2. Una vez así separada la muestra para ensayo, se procede a determinar su análisis granulométrico, de acuerdo con la **Sección 6.3.1.4**, usando los tamices indicados en la **Tabla 6.3_ 21**. El porcentaje del peso retenido entre cada dos tamices sucesivos de la serie se denomina R_i , siendo i el tamiz de abertura menor.

Tabla 6.3_21. DIMENSIONES DE LOS CALIBRADORES PARA ESPESOR Y LONGITUD DE TAMICES

TAMICES				Dimensiones del calibrador (mm)	
PASA		RETIENE		Aplanamiento (Abertura de la ranura) ⁽¹⁾	Alargamiento (Separación de las barras) ⁽²⁾
mm	(pulg)	mm	(pulg)		
63	(2 ½")	50	(2")	33,9	-
50	(2")	37,5	(1 ½")	26,3	78,8
37,5	(1 ½")	25,0	(1")	18,8	56,3
25,0	(1")	19,0	(¾")	13,2	39,6
19	(¾")	12,5	(½")	9,5	28,4
12,5	(½")	9,5	(⅜")	6,6	19,8
9,5	(⅜")	6,3	(¼")	4,7	14,2

⁽¹⁾ Esta dimensión es igual a 0,6 veces el promedio de las aberturas de los tamices que definen la fracción

⁽²⁾ Esta dimensión es igual a 1,8 veces el promedio de las aberturas de los tamices que definen la fracción.

- c. A continuación, previo cuarteo, se separan por tamizado las distintas fracciones de la muestra, tal como se indica en la **Tabla 6.3_21**.

Las fracciones del árido cuyo porcentaje sea inferior al 5% de la muestra no se ensayan.

De cada fracción del árido cuyo porcentaje en la muestra esté comprendido entre el 5% y el 15%, se tomará un mínimo de 100 partículas, determinando su peso, P_i , en la balanza con precisión del 0,1%

De cada fracción del árido cuyo porcentaje en la muestra sea superior al 15%, se tomará un mínimo de 200 partículas, determinando su peso, P_i , en la balanza con precisión del 0,1%

6.3.1.21.4. PROCEDIMIENTO

- Para separar el material de forma aplanada de cada una de las fracciones de ensayo, preparadas como se indica en el numeral 1, se hace pasar cada partícula en el calibrador de aplanamiento por la ranura cuya abertura corresponda a la fracción que se ensaya, de acuerdo con la Tabla 6.3_21.
- La cantidad total de partículas de cada fracción que pasa por la ranura correspondiente, se pesa (P_{li}) con precisión del 0,1% del peso total de la muestra en ensayo.
- Para separar el material con forma alargada de cada una de las fracciones de ensayo, preparadas como se indica en el numeral 1, se hace pasar cada partícula en el calibrador de alargamiento por la separación entre barras correspondiente a la fracción que se ensaya, de acuerdo con la Tabla 6.3_21.
- La cantidad total de partículas de cada fracción retenida entre las dos barras correspondientes, se pesa (P_{ai}) con precisión del 0,1% de la masa total de la muestra de ensayo.

6.3.1.21.5. CÁLCULOS

El índice de aplanamiento de cada fracción de ensayo se calcula en tanto por ciento, mediante la relación entre el peso de las partículas, P_{li} , que pasa a través de la correspondiente ranura y el peso inicial, P_i , de dicha fracción:

$$\text{Índice de aplanamiento de la fracción } (I_{li}) = \frac{P_{li}}{P_i} \times 100$$

El índice de alargamiento de cada fracción de ensayo se calcula en tanto por ciento, mediante la relación entre el peso de las partículas, P_{ai} , retenidas entre las correspondientes barras y el peso inicial, P_i , de dicha fracción:

$$\text{Índice de alargamiento de la fracción } (I_{ai}) = \frac{P_{ai}}{P_i} \times 100$$

El valor obtenido para cada fracción ensayada, tanto del porcentaje de aplanamiento como del porcentaje de alargamiento, se redondeará al número entero más próximo.

6.3.1.21.6. INFORME

Los resultados obtenidos mediante este método pueden expresarse para cada fracción ensayada o para el total de la muestra.

La expresión de los índices de aplanamiento y alargamiento de cada fracción serán los obtenidos directamente en el ensayo, según se indica en los numerales 16 y 17, indicando expresamente la fracción ensayada.

Para expresar los índices de aplanamiento y alargamiento totales, se calcula el promedio ponderado de los respectivos índices de todas las fracciones ensayadas, empleando como factores de ponderación los porcentajes retenidos, R_i , e indicando la granulometría de la muestra.

Estos índices totales pueden obtenerse también aplicando las siguientes expresiones:

$$\text{Índice de aplanamiento} = \frac{\sum(I_{li} \times R_i)}{\sum R_i}$$

$$\text{Índice de alargamiento} = \frac{\sum(I_{ai} \times R_i)}{\sum R_i}$$

Siendo las i las fracciones ensayadas

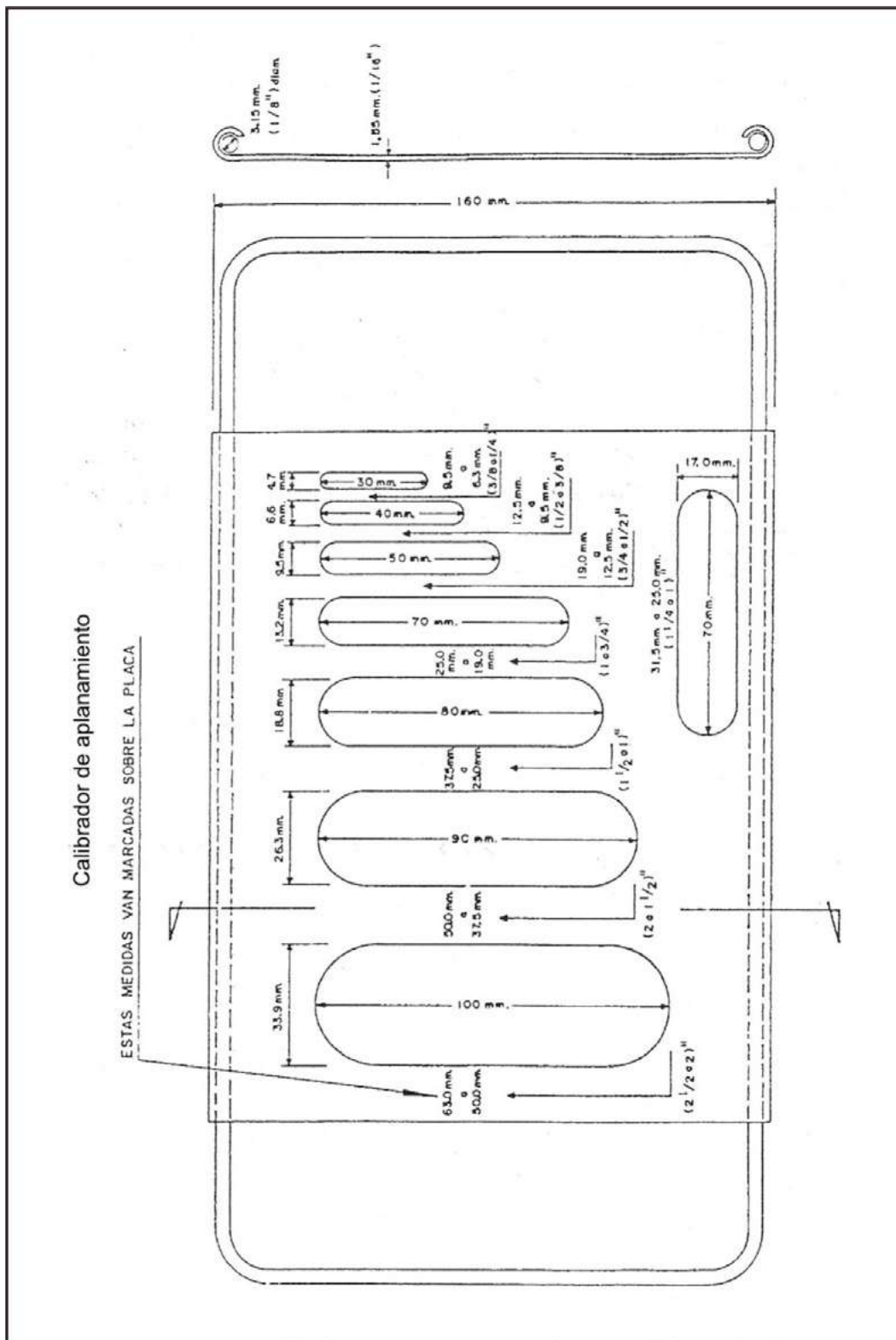


Figura 6.3_9. CALIBRADOR DE APLANAMIENTO

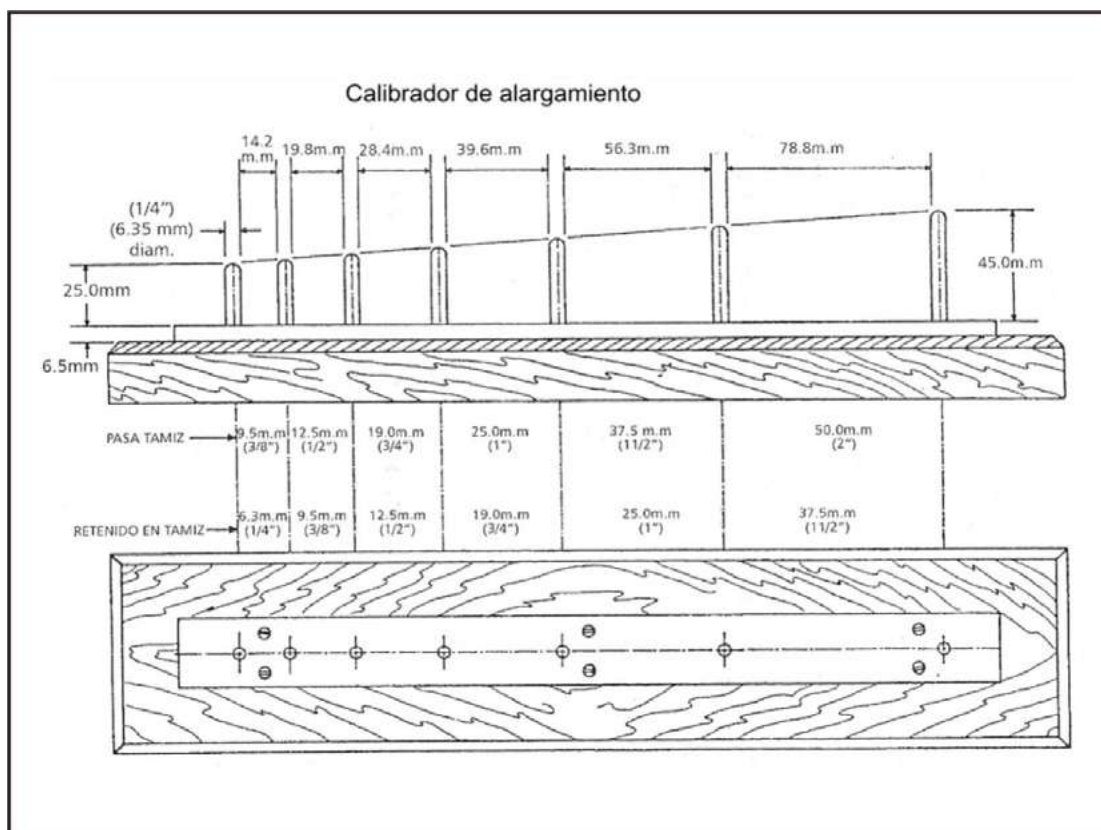


Figura 6.3_10. CALIBRADOR DE ALARGAMIENTO

SECCION 6.3.1.22.

ÍNDICE DE FORMA Y DE TEXTURA DE LAS PARTÍCULAS DE ÁRIDO (ASTM D 3398)

6.3.1.22.1. OBJETO

Este método describe el método para determinar el Índice de Partículas de árido, como una medida general de sus características de forma y textura.

6.3.1.22.2. USO Y SIGNIFICADO

El método proporciona un valor índice para las características relativas de forma y textura de las partículas del árido. Este valor es una medida cuantitativa de aquellas características de forma y de textura que pueden afectar el desempeño de mezclas para vías y pavimentos. El método ha sido usado exitosamente para indicar los efectos de estas características sobre la compactación y la resistencia de las mezclas de suelo- árido y de asfalto.

6.3.1.22.3. EQUIPOS

- Molde cilíndrico, con un diámetro interior de $152,40 \pm 0,13$ mm (6.0 ± 0.005 ") y una altura interior de $177,80 \pm 0,13$ mm (7.0 ± 0.005 "), como se muestra en la **Figura 6.3_11**. El molde debe ser metálico, con un espesor mínimo de pared de 6,1 mm (0.24") y debe tener suficiente rigidez para conservar su forma bajo trabajo pesado.

Nota 1: Se sugiere este procedimiento para ensayar árido con un tamaño máximo de 19,0 mm ($3/4$ "). Cuando se ensayen áridos con partículas superiores a este tamaño, deberá usarse un molde más grande, con la misma relación entre el diámetro y la altura y aplicarse una energía de compactación por capa apisonada aumentada proporcionalmente al incremento del área transversal del molde.

Nota 2: El molde especificado en el método D del Método S0404, (CBR de laboratorio), tiene el mismo tamaño.

Nota 3: Para el ensayo de fracciones finas del árido, por debajo del tamiz de 4,75 mm (No.4) puede, en ciertas circunstancias, ser apropiado usar un molde más pequeño, con una relación similar de diámetro-altura y una energía de compactación por capa, disminuida proporcionalmente al área transversal del molde.

- Varilla apisonadora, de acero, recta, de sección circular con un diámetro de $15,88 \pm 0,25$ mm ($0.5/85 \pm 0.010$ ") y con una longitud de aproximadamente 610 mm (24"). Uno de sus extremos deberá ser semiesférico.
- Dispositivo de pesaje, de al menos 15 kg de capacidad, con precisión de 2 go menos.

6.3.1.22.4. CALIBRACIÓN DEL MOLDE

- Determínese el volumen del molde en ml, como se describe en los numerales siguientes, al menos dos veces para usar el promedio, en los cálculos del porcentaje de vacíos del numeral 7.

- Llénese el molde con agua a la temperatura ambiente y cúbrase con una placa de vidrio, de tal manera que se eliminen las burbujas y el agua de exceso.
- Determínese el peso neto del agua en el molde, con una precisión de 4 g o menos.
- Mídase la temperatura del agua y determínese el volumen del molde multiplicando el peso neto del agua por el volumen específico de agua, dado en la **Tabla 6.3_ 22** para la temperatura medida.

6.3.1.22.5. TOMA DE MUESTRAS

Tómese la muestra de ensayo del árido de acuerdo con la **Sección 6.3.1.1** “Muestreo de materiales”; y redúzcase hasta un tamaño apropiado según la **Sección 6.3.1.2**, “Reducción del tamaño de las muestras transportadas”.

6.3.1.22.6. ESPECÍMENES DE ENSAYO

1. Obténgase una muestra, de tamaño tal que proporcione por lo menos 6 kg (13 lb) de cada uno de los tamaños de árido, como se describe en el numeral 2, que estén presentes dentro de la gradación del árido en un porcentaje superior al 10%. No se ensayarán aquellos grupos que estén presentes en un porcentaje inferior, a menos que sea expresamente ordenado.

Nota 4: Para los tamaños pequeños del árido (fino), si se usa un molde más pequeño como se mencionó en la **Nota 3**, se necesita menos material fino y el tamaño de la muestra puede ser ajustado de conformidad.

2. Lávese la muestra de árido mediante decantación del agua de lavado a través del tamiz de 75 µm (No.200) o a través de un tamiz que sea por lo menos un tamaño inferior de aquél que sería el límite inferior de las fracciones que efectivamente van a ser ensayadas. Continúese el proceso de lavado por decantación hasta que el agua de lavado salga limpia. Devuélvase entonces, también mediante lavado, el árido retenido en el tamiz, al lugar donde se encuentra el árido; séquese la muestra, hasta peso constante, a una temperatura de 110 ± 5°C (230 ± 9°F), y tamícese el material, de acuerdo a la **Sección 6.3.1.4**, para lograr las siguientes fracciones.

Pasa tamiz		Retenida en tamiz	
19,0 mm	(3/4")	12,5 mm	(1/2")
12,5 mm	(1/2")	9,5 mm	(3/8")
9,5 mm	(3/8")	4,75 mm	(Nº4)
4,75 mm	(Nº4)	2,36 mm	(Nº8)
2,36 mm	(Nº8)	1,18 mm	(Nº16)
1,18 mm	(Nº16)	600 µm	(Nº30)
600 µm	(Nº30)	300 µm	(Nº50)
300 µm	(Nº50)	150 µm	(Nº100)
150 µm	(Nº100)	75 µm	(Nº200)

No es necesario incluir en el análisis granulométrico, tamices que estén por debajo del tamaño más pequeño que se encuentre en una cantidad superior al 10%.

3. Después de que la cantidad de material requerida haya sido tamizada, para cada fracción que se va a ensayar, determínese el peso específico aparente seco, de acuerdo con las **Secciones 6.3.1.9 y 6.3.1.10** (peso específico y absorción de los árido finos y gruesos respecti-

vamente), la que sea aplicable, excepto que cuando se llegue a la condición de superficie saturada, y superficialmente seca en los árido finos, deberán usarse toallas de papel ordinario para secar las partículas hasta que no haya evidencia de humedad sobre las toallas.

Nota 5: El procedimiento del molde estándar para la determinación de la condición saturada, superficialmente seca del árido fino en la **Sección 6.3.1.10**, no funciona bien con estas fracciones uniformes de árido. Por ejemplo, áridos redondeados con índices de partículas pequeños, no retendrán la forma del molde cónico a cualquier contenido de agua.

6.3.1.22.7. PORCENTAJE DE VACIOS

4. Usando muestras secadas al horno para cada fracción, determínese el porcentaje de vacíos en cada uno de los dos niveles de compactación, logrados mediante los procedimientos descritos en este numeral. Háganse primero dos ensayos sobre la muestra, para cada uno de los tamaños, aplicando 10 golpes de varilla por capa. Luego, usando las mismas muestras para cada tamaño, llénese el molde dos veces, usando 50 golpes de varilla por capa como esfuerzo de compactación.
5. Colóquese el molde cilíndrico sobre una base sólida y uniforme. Llénese el molde en tres capas, viértase el árido desde la menor altura posible, hasta que el molde se encuentre lleno a un tercio de su capacidad. Nivélase la superficie con los dedos y compáctese la capa usando 10 golpes de varilla apisonadora, distribuidos uniformemente sobre la superficie. Aplíquese cada golpe sosteniendo la varilla verticalmente con su extremo redondeado aproximadamente a 50 mm (2") por encima de la superficie del árido y soltándola de manera que caiga libremente.

Colóquese una segunda capa en el molde usando el mismo procedimiento, llenándolo hasta dos tercios de su capacidad. Como antes, nivélase la superficie y aplíquense 10 golpes de varilla. Llénese el espacio remanente con una tercera capa y una vez más, nivélase la superficie y aplíquese el mismo esfuerzo de compactación, (10 golpes de varilla).

Después de que la última capa se ha compactado, añádanse piezas individuales de árido para nivelar la superficie del árido con el plano del borde del molde, sin salientes por encima de él. Determínese el peso neto del árido en el molde con una precisión de 1 g.

Nota 6: La altura de caída del árido puede regularse visualmente con ayuda de una regla, una marca, o con un dispositivo adecuado.

6. Repítase el llenado del molde usando la misma muestra y el mismo nivel de compactación. Hágase una segunda determinación del peso neto del árido en el molde como se describió antes. Úse el promedio de las dos determinaciones para calcular el porcentaje de vacíos, para cada fracción, con 10 golpes de compactación.

Nota 7: Los pesos obtenidos en las dos determinaciones deberán coincidir, con una aproximación del 5%.

Para el nivel de compactación superior, deberá procederse idénticamente como se describió para el nivel de 10 golpes, pero usando 50 golpes de la varilla apisonadora, para la compactación de cada capa. Igualmente, el porcentaje de vacíos para cada capa, con 50 golpes de compactación, se calculará a partir del promedio de dos determinaciones del peso neto del árido.

7. Calcúlese el porcentaje de vacíos en cada fracción de tamaños del árido, con 10 y 50 golpes por capa, respectivamente, mediante las siguientes relaciones:

$$V_{10} = \left(1 - \frac{W_{10}}{SV}\right) \times 100$$

$$V_{50} = \left(1 - \frac{W_{50}}{SV}\right) \times 100$$

Donde:

- V_{10} : Vacíos en el árido compactado con 10 golpes por capa (%).
- V_{50} : Vacíos en el árido compactado con 50 golpes por capa (%).
- W_{10} : Peso neto promedio del árido en el molde compactado con 10 golpes por capa (g).
- W_{50} : Peso neto promedio del árido en el molde compactado con 50 golpes por capa (g).
- S: Peso específico aparente seco, de a fracción del tamaño de árido.
- V: Volumen del molde (ml o cm³).

6.3.1.22.8. ÍNDICE DE PARTICULAS

Determinese el Índice de Partículas (I_a), para cada fracción ensayada como sigue:

$$I_a = 1,25V_{10} - 0,25V_{50} - 32,0$$

Calcúlese el índice ponderado de las partículas de árido que contenga varios tamaños, ponderando cada índice encontrado para una fracción, con respecto a su porcentaje dentro de la gradación original, o preferiblemente, respecto a la gradación promedio del material propuesto para ser usado en el trabajo.

La **Tabla 6.3_23** es un ejemplo que ilustra una forma de calcular el índice y reportar los datos.

Para aquellos tamaños que no fueron incluidos dentro del ensayo, por estar presentes en cantidades inferiores al 10%, calcúlese su índice promediando el índice de la fracción inmediatamente superior con el índice de la fracción inmediatamente inferior, o adóptese uno de estos dos, si el otro no está disponible.

Tabla 6.3_22. VOLUMEN ESPECÍFICO DEL AGUA A DIFERENTES TEMPERATURAS

Temperatura °C (°F)	Volumen específico ml/g
12 (54)	1,0005
14 (57)	1,0007
16 (61)	1,0010
18 (64)	1,0014
20 (64)	1,0018
22 (72)	1,0022
24 (75)	1,0027
26 (79)	1,0032
28 (82)	1,0038

30 (86)	1,0044
32 (90)	12,0050

Tabla 6.3_23. EJEMPLO DE CÁLCULO DE UN ÍNDICE PONDERADO DE LAS PARTICULAS DE UN ÁRIDO

Fracción		Gradación del árido % (1)	I _a (2)	Ponderación (1)x(2)/100
Pasa	Retenida en			
19,00 mm (3/4")	- 12,50 mm (1/2")	3	17,2 _A	0,5
12,5 mm (1/2")	- 9,50 mm (3/8")	42	17,2 _B	7,2
9,50 mm (3/8")	- 4,75 mm (Nº 4)	36	15,8 _B	5,7
4,75 mm (Nº 4)	- 2,36 mm (Nº 8)	7	15,2 _C	1,1
2,36 mm (Nº 8)	- 1,18 mm (Nº16)	10	14,6 _B	1,5
1,18 mm (Nº16)	- 600 µm (Nº 30)	2	14,6 _A	0,3
				16,3

^A Úsele el índice de partículas de la fracción próxima.

^B Úsele el índice de partículas efectivamente calculado.

^C Úsele el promedio de los índices de partículas de las fracciones superior e inferior (Nº 8 a Nº 16 y 3/8")

a Nº4)

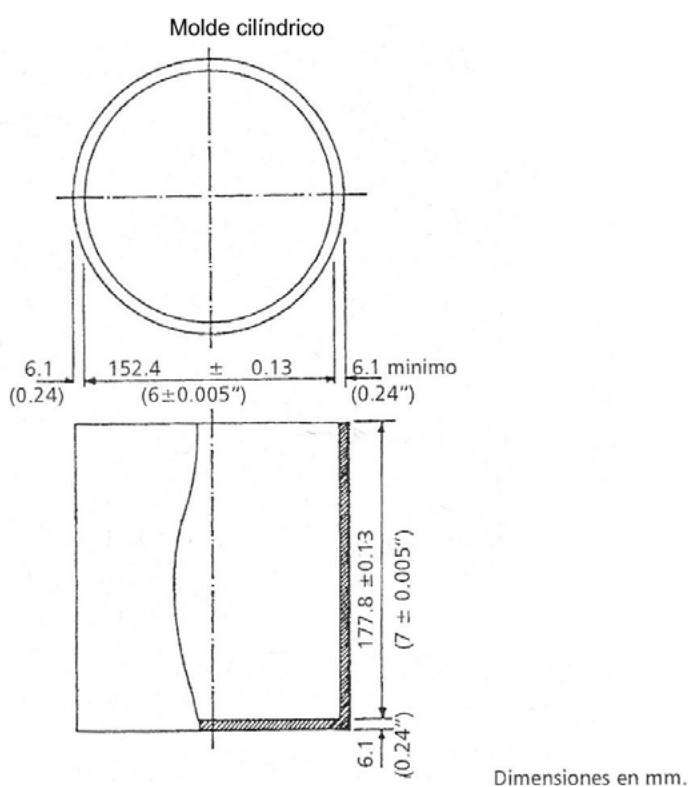


Figura 6.3_11. MOLDE CILÍNDRICO

SECCION 6.3.1.23.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE CLORUROS Y SULFATOS (ASTM D 1411)

6.3.1.23.1. OBJETO

Este método establece los procedimientos analíticos para determinar en los áridos el contenido de cloruros y sulfatos solubles en agua

Se considera que los métodos analíticos que se describen tienen suficiente exactitud para los fines de aceptación y rechazo.

6.3.1.23.2. EQUIPOS Y MATERIALES

B.1. Balanzas

- a) Balanza corriente, con capacidad suficiente para pesar la muestra más el recipiente de pesaje y con una precisión de 0,1 g.
- b) Balanza analítica, con capacidad de 100 a 200 g y con una precisión de 0,01 g.

B.2. Horno.

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensayo.

B.3. Recipientes

- a) Para secado; adecuados para secar y pesar la muestra.
- b) Para extracción, de vidrio o metálicos. Los metálicos deben ser estancos e inatacables por las soluciones empleadas. Deben tener capacidad suficiente para la extracción.

B.4. Buretas

- a) Bureta calibrada, con lecturas de 0,1 ml.
- b) Microbureta, con lecturas de 0,02 ml.

B.5. Material de laboratorio

Matraces aforados, pipetas, vasos de precipitado y todo el equipo misceláneo requerido en un laboratorio químico.

B.6. Reactivos

- a) Reactivos generales

Son los reactivos para análisis concentrados de la densidad que se indica y con los cuales se deben preparar las soluciones requeridas:

- Acido clorhídrico ρ : 1,18 g/ml
- Acido nítrico ρ : 1,42 g/ml

- b) Reactivos especiales

Son los que se indican en cada determinación.

6.3.1.23.3. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

B.1.Extracción de muestras

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con las **Secciones 6.3.1.2 y 6.3.1.1.**

B.2.Tamaño de la muestra de ensayo

El tamaño de la muestra de ensayo debe ser tal, que una vez acondicionada, pueda obtenerse la cantidad mínima que se indica en la **Tabla 6.3_ 24.**

Tabla 6.3_24. TAMAÑO MÍNIMO DE LA MUESTRAY AFORO

Árido (mm)	Tamaño mínimo de la muestra (g)	Aforo (ml)
Fino < 4,75	100	1.000
Grueso < 19	500	1.000
Grueso 19 a 37,5	750	2.000
Grueso > 37,5	1.000	2.000

Nota1: Si el laboratorio no cuenta con microbureta la muestra mínima de fino debe aumentarse a 250 g.

Acondicionamiento de la muestra de ensayo

B.3.Tratamiento previo.

- Seque la muestra a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ hasta masa constante y pese con aproximación a 0,1 g, registrando la pesada como M. No se debe ajustar la pesada a una cantidad predeterminada para evitar la selección de partículas.
- Coloque la muestra en un recipiente de extracción.
- Agregue agua destilada hirviendo, en volumen suficiente para cubrir unos 3 cm sobre el nivel de la muestra.
- Agite aproximadamente 1 min. Repita la agitación a intervalos regulares hasta completar cuatro agitaciones en un período de 10 min.
- Decante durante 10 min y traspase el líquido de extracción que sobrenada a otro recipiente o vaso.
- Repita toda la operación anterior hasta que el líquido de extracción no acuse presencia de cloruros y/o sulfatos, completando un volumen de 800 ml en los áridos menores que 19 mm y un volumen de 1.800 ml en áridos mayores que 19 mm. En caso necesario concentre por evaporación.
- Filtre el líquido de extracción en filtro de porosidad media al vacío. Lave con agua caliente, y refiltre si es necesario.

Nota 2: Para evitar la coloración en el filtrado se recomienda emplear carbón activo p.a. y para acelerar el filtrado y evitar la turbidez, se recomienda emplear pulpa de celulosa o tierra de infusorios, grado analítico. También pueden emplearse otros materiales similares que no interfieran

con los procedimientos analíticos.

- h) Enfríe el filtrado a 20°C y enrase en matraz aforado con un volumen de 1.000 ó 2.000 ml según corresponda (V).

B.4. Muestras para análisis.

Emplee una alícuota del líquido del matraz, según se indica en cada determinación.

6.3.1.23.4. DETERMINACIONES

B.1. Determinación de cloruros solubles en agua.

a) Reactivos especiales

- Indicador de cromato de potasio al 5%: disuelva 5 g de K_2CrO_4 p.a. en un poco de agua destilada. Agregue una solución de nitrato de plata 0,1 N hasta producir un ligero precipitado rojo. Deje reposar por lo menos una noche, filtre y diluya a 100 ml con agua destilada.

Reactivo A. Solución 0,1 N de cloruro de sodio. Pese 5,8443 g de cloruro de sodio seco, $NaCl$ p.a. cristalizado, patrón primario y secado a $110 \pm 5^\circ C$ hasta masa constante. Disuelva con agua destilada en matraz aforado de 1.000 ml. El equivalente de 1 ml de este reactivo es igual a $3,545 \times 10^{-6}$ kg de Cl.

Reactivo B. Solución normalizada de nitrato de plata. Pese 17,0 g de nitrato de plata, $AgNO_3$ p.a. y disuelva con agua destilada en matraz aforado de 1.000 ml. Para conservar la solución sin alteración de la luz, traspásela a un frasco oscuro con tapón de vidrio.

- Normalice el reactivo B como sigue: mida 20 ml del reactivo A y colóquelo en una cápsula de porcelana blanca o en un vaso sobre fondo blanco. Diluya a 100 ml con agua destilada. Agregue 1 ml del indicador de cromato de potasio al 5%. Titule con el reactivo B mediante una bureta calibrada, agitando constantemente hasta que la solución cambie del amarillo a un color rojo ligero, pero persistente. Efectúe esta determinación en triplicado. Registre los b ml del reactivo B consumidos. Calcule el factor de normalidad del reactivo B:

$$f_b = (ml \text{ reactivo A})/b$$

b) Determinación

- Tome una alícuota con un volumen de 100 ml (A) del líquido filtrado en 9.

Nota 3: Si el contenido de cloruros es muy alto, tome una alícuota con un volumen menor para facilitar el punto final. Para el cálculo tome en cuenta este menor volumen.

- Colóquela en una cápsula de porcelana blanca o en un vaso sobre fondo blanco. Verifique que el valor del pH esté entre 6 y 8.

Nota 4: Por ejemplo, si el pH es menor que 6 se puede neutralizar mediante una solución de $NaOH$ 0,1 N en presencia del indicador de fenoltaleína hasta una leve coloración rosada, la que se hará desaparecer con una gota de HNO_3 0,1 N. Si el pH es mayor que 8, emplee una solución de HNO_3 0,1 N en presencia del mismo indicador, hasta que la coloración rosada desaparezca. También puede emplearse otro método similar que

no interfiera con el procedimiento de titulación.

- Agregue 1 ml del indicador de cromato de potasio al 5%.
 - Titule con el reactivo B mediante una bureta calibrada (o microbureta cuando sea necesario), agitando constantemente hasta que la solución cambie del amarillo a un color rojo ligero, pero persistente.
 - Registre los b_a ml del reactivo B consumidos.
 - Efectúe un ensayo en blanco con los mismos reactivos, registrando como b_b los ml consumidos.
- c) Expresión de resultados. Calcule el contenido de cloruros en el árido, expresados como kg de anión cloruro, Cl^- , por kg de árido, con aproximación a 1×10^{-6} kg como sigue:

$$\text{cloruros} \left(\frac{\text{KgCl}^-}{\text{kg de árido}} \right) = \frac{(b_a - b_b) \cdot f_b \cdot 3,545 \times 10^{-6} \cdot V}{M \cdot A}$$

Donde:

- b_a : Consumo del reactivo B en la muestra (ml).
- b_b : Consumo del reactivo en el blanco (ml).
- f_b : Factor de normalidad del reactivo B.
- V: Volumen aforado de la solución (ml).
- M: Masa del árido seco de la muestra de ensaye (Kg).
- A: Volumen de la alícuota (ml).

B.2.Determinación de los sulfatos solubles en agua

- a) Reactivo especial. Reactivo C; solución al 10% de cloruro de bario. Pese 100 g de la sal $B_aCl_2 \cdot 2H_2O$ p.a. y disuelva en 1.000 ml de agua destilada.
- b) Determinación
 - Mida una alícuota de 100 ml del matraz aforado.

Nota 5: En presencia de Fe o Al, éstos deben eliminarse mediante precipitación con hidróxido de amonio.

- Diluya con agua destilada hasta 200 a 250 ml. Agregue ácido clorhídrico hasta obtener una concentración del 1% en volumen en la solución final.
- Caliente hasta ebullición y agregue, gota a gota, 10 ml del reactivo C, continuando la ebullición por lo menos 5 min hasta que el precipitado esté bien formado.
- Decante durante 3 h como mínimo, a temperatura cercana a la ebullición, evitando que la solución se concentre a menos de 200 ml.

Nota 6: Se recomienda continuar la decantación por un período de 12 h.

- Filtre a través de un papel de porosidad fina y bajo contenido de ceniza. Lave el precipitado con agua caliente hasta eliminación total del cloruro, verifícala mediante nitrato de plata.
 - Tare un crisol de platino o porcelana, registrando su masa como “m1”. Coloque el papel filtro con el precipitado en el crisol. Incinere lentamente hasta que el papel se consuma sin arder. Calcine a $900 \pm 25^\circ\text{C}$, enfríe en desecador a temperatura ambiente y pese. Repita la calcinación hasta tener una masa constante m2, correspondiente al crisol y precipitado calcinado. Registre la masa del precipitado ($m1 - m2$) como “ma”.
 - Realice, paralelamente, una determinación en blanco siguiendo el mismo procedimiento con iguales cantidades de reactivos. Registre la masa del análisis en blanco como “mb”.
- c) Expresión de resultados. Calcule el contenido de sulfatos solubles en el árido como kg de anión:

SO_4^{2-} , por kg de arido, con aproximación a 1×10^{-6} kg como sigue:

$$\text{sulfatos} \left(\text{kg} \frac{\text{so}^{2-}}{\text{kg de proteo}} \right) = \frac{(m_a - m_b) \cdot 0,004116 \cdot V}{M}$$

Donde:

- m_a : Masa del precipitado correspondiente a la muestra (g).
 m_b : Masa del precipitado correspondiente a la muestra en blanco (g).
 0,004116: Relación molecular de BaSO_4 a dividido por 100.
 V: Volumen aforado de la solución de extracción (ml).
 M: Masa del árido seco de la muestra de ensayo (g).

6.3.1.23.5. INFORME.

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Nombre del contrato y contratista.
- b) Procedencia de la muestra.
- c) Resultado del ensayo. Valores inferiores a 10×10^{-6} kg de Cl⁻ o pueden considerarse como 4 indicios.
- d) Fecha de ensayo.
- e) Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al árido; y
- f) Referencia a este método.

SECCION 6.3.1.24.

DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE LOS COMPUESTOS DE AZUFRE EN LOS ÁRIDOS (UNE 83211)

6.3.1.24.1. OBJETO

Este método tiene por objeto indicar un procedimiento para la determinación cuantitativa, en los agregados para hormigón, de los compuestos de azufre que se encuentran en las formas tanto de sulfatos como sulfuros, atacables y no atacables por ácido clorhídrico.

La influencia en los resultados, debida a la cantidad eventual y muy pequeña de sulfitos, se considera despreciable.

6.3.1.24.2. FUNDAMENTOS DEL MÉTODO

El método se basa en:

- Determinación de sulfatos y sulfuros totales (atacables y no atacables por ácido clorhídrico) extraíbles por disgregación alcalina oxidante.
- Determinación de sulfatos extraíbles sólo por disgregación alcalina no oxidante.
- Determinación de sulfuros totales.

6.3.1.24.3. PREPARACION DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO

La toma de muestra bruta de los áridos debe hacerse de acuerdo con la **Sección 6.3.1.1.**

De no venir ya clasificada por fracciones, la muestra de laboratorio se separa, mediante el empleo del tamiz de 4,75 mm (No.4), en:

- Árido grueso, y
- Árido fino.

Teniendo en cuenta que es necesario obtener, según el tamaño máximo del árido, las cantidades mínimas indicadas en la **Tabla 6.3_25.**

Tabla 6.3_25.

Si el tamaño máximo es de:	Separar una muestra	
	Minima de:	Recomendada de:
75 mm (3")	40 kg	64 kg
37,5 mm (1 ½")	20 kg	32 kg
19 mm (¾")	10 kg	16 kg
9,5 mm (3/8")	5 kg	8 kg
4,75 mm (Nº4)	2 kg	4 kg

Los áridos finos y gruesos se deben analizar independientemente para evitar cualquier pérdida de sulfuros, ya que por segregación éstos tienden a acumularse en los finos.

1. Aparatos necesarios

- a) Tamices: 75-37,5-19-9,5-4,75 y 1,18mm y 300 y 75 m (3"-1 1/2"-3/4"-3/8"-No.4, No.16, No.50 y No.200)
- b) Una báscula de 100 kg de capacidad mínima, con precisión de 50 g.
- c) Una trituradora.
- d) Un mortero de ágata o molino para finos.
- e) Una estufa.
- f) Una balanza con capacidad de 20 kg y precisión de 1 g.
- g) Un divisor de muestra.

B.1.Árido grueso

Del árido grueso, obtenido antes, se separa mediante cuarteo y en función del tamaño máximo del árido la cantidad de muestra se indica en la Tabla 6.3_ 25.

Esta muestra se seca durante 24 h a 60°C (140° F), en estufa con aireación, y a continuación se tritura hasta que toda ella pase por el tamiz de 4,75mm (Nº4).

Se homogeniza y cuarteo para obtener una muestra de 2 kg, evitando cualquier pérdida de finos.

El total de esta muestra se tritura hasta que toda ella pase por el tamiz de 1,18 mm (No.16), se homogeniza y, por cuarteo, se obtiene una muestra de 250 g que se muele íntegramente hasta que pase por el tamiz de 300 m (Nº50). Se homogeniza y cuarteo para obtener una nueva muestra de unos 60 g.

A continuación, se muele hasta que la totalidad de la muestra pase por el tamiz de 75 m (Nº200) y se homogeniza para obtener la muestra final de 60 g, aproximadamente.

B.2.Árido fino

Del árido fino, obtenido según se indicó antes, se separa mediante cuarteo y en función del tamaño máximo del árido, la cantidad de muestra indicada en la Tabla 6.3_ 25.

Esta muestra se seca durante 24h, a 60°C (140° F), en estufa con aireación, se homogeniza y de ella se toma, utilizando el divisor de muestras, una cantidad de 2 kg. Se muele y se tamiza hasta que pase íntegramente por el tamiz 300 m (Nº50). Se homogeniza y divide para reducirla a unos 60 g. Esta cantidad se muele hasta que pase en su totalidad por el tamiz de 75 m (Nº 200) y se homogeniza para obtener la muestra final de 60 g aproximadamente.

6.3.1.24.4. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LOS COMPUESTOS DE AZUFRE TOTALES

B.1.Fundamento del método

La muestra se disgrega por fusión alcalina oxidante. Se disuelve en medio oxidante y se pone en medio ácido clorhídrico. Se separa la sílice por evaporación a sequedad, se extraen en frío los iones solubles en ácido del residuo seco y se determinan en el filtrado los sulfatos por gra-

vimetría. La separación de la sílice debe ser la máxima posible para evitar interferencia por coprecipitación durante la digestión.

B.2. Aparatos necesarios

- a) Una balanza analítica con precisión de 0,1 mg.
- b) Estufa para desecación.
- c) Mufla que alcance 1000°C.
- d) Desecador con llave de cierre hermético. Agente deshidratante: ácido sulfúrico (d= 1,84).
- e) Baño de agua hirviente.
- f) Mecheros tipo Bunsen.
- g) Cápsula de porcelana de 130 mm de diámetro y 50 mm de altura.
- h) Vasos de precipitados, forma alta, de 500, 250 y 50 ml.
- i) Crisol de hierro de las siguientes medidas aproximadas: 25 mm de diámetro de base y 45 mm de altura, provisto de tapa del mismo material.
- j) Crisol de platino provisto de tapa del mismo material. Capacidad 10 ml (25x25 mm).
- k) Embudos de filtración.
- l) Triángulos de tierra refractaria.
- m) Epirradiador de 375 W, como mínimo.
- n) Agitador magnético provisto de calefacción, y un índicemagnético recubierto de politetra fluoretileno.
- o) Termómetro de mercurio de hasta 250°C, con precisión de 1°C.
- p) Pinzas de acero inoxidable.
- q) Papel de filtro de porosidad fina y media.
- r) Papel indicador de pH.
- s) Una varilla de acero inoxidable.

B.3. Reactivos

- a) Hidróxido sódico de lentejas R.A. NaOH
- b) Peróxido sódico R.A. Na₂O₂
- c) Agua destilada
- d) Ácido clorhídrico concentrado (d= 1,19) HCl
- e) Ácido clorhídrico diluido (1:1) HCl
- f) Ácido clorhídrico diluido (1:3) HCl

- g) Ácido nítrico diluido (1:1) HN O3
- h) Ácido sulfúrico concentrado exento de SO3 (d= 1,84)
- i) Ácido sulfúrico diluido (1:1) H2SO4
- j) Anhídrido acético R.A.
- k) Disolución de cloruro bórico al 10%
- l) Disolución de nitrato de plata al 1,7% Ag NO3
- m) Disolución acuosa saturada de bromo
- n) Disolución al 5% de clorhidrato de hidroxilamina

B.4.Procedimiento

En un crisol de hierro, situado sobre un triángulo de tierra refractaria, se introducen 4 g de hidróxido sódico en lenteja. Se funden, lentamente y evitando la producción de espuma, sobre un mechero Bunsen con poca llama hasta que la fusión sea lenta. Se añaden, poco a poco, otros 4 g más en las mismas condiciones.

Seguidamente se añade 1 g de peróxido de sodio y se deja enfriar este líquido disgregante hasta solidificación. Se añaden $4 \pm 0,05$ g con una precisión de $+ 0,0001$ g de muestra, previamente desecada a los $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 10^\circ\text{F}$) hasta peso constante. Se cubre el crisol con su tapa y se funde nuevamente su contenido a una temperatura que no sobrepase la del rojo sombra 400°C (752°F).

Cuando el disgregante esté totalmente fundido, y con el crisol destapado se incorpora la muestra lentamente en el seno de la masa fundida con la ayuda de una varilla de acero inoxidable, tratando de evitar tanto que se produzca cualquier proyección, como que queden restos de muestras sin atacar.

Cuando esto se ha conseguido, se cubre nuevamente y se continúa la disgregación durante unos 30 min.

Se deja enfriar el crisol y, con las pinzas, se introduce inclinado dentro de una cápsula de porcelana que contenga unos 80 ml de agua destilada, a 90°C (94°F). Luego se introduce en ella la tapa de crisol y la varilla auxiliar. Se mantiene la temperatura indicada hasta la disolución completa del producto disgregado.

Con las pinzas se toma primero la tapa, luego el crisol y la varilla, se lavan sobre la cápsula y se retiran. Se enfría la cápsula a una temperatura inferior a los 40°C (104°F), se añaden 5 ml de disolución acuosa saturada de bromo y, poco a poco y con precaución, ácido clorhídrico (1:1) hasta acidez fuerte, que se comprueba con papel indicador. Después se añaden 20 ml más de ácido clorhídrico concentrado.

Para insolubilizar la sílice, el líquido de la cápsula se evapora bajo el epirradiador. El residuo seco se humedece con unas gotas de ácido clorhídrico concentrado, se deshacen los grumos mediante una varilla de vidrio aplanada y de nuevo se lleva a sequedad bajo el epirradiador.

Luego se deja la cápsula unos 30 min. bajo el epirradiador, de modo que la temperatura del residuo seco esté a $170^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$. Con un termómetro, cuyo bulbo esté en contacto con el fondo de la cápsula seca, se comprueba esta temperatura. Después se añaden 10 ml de anhídrido acético y se evapora nuevamente a sequedad a la misma temperatura. Se deja enfriar hasta temperatura ambiente.

Para determinar los sulfatos del residuo seco, se extraen los iones solubles en frío, añadiendo 40 ml de ácido clorhídrico (1:3) frío y se espera unos 20 minutos. Durante este tiempo se deshacen, mediante una varilla de vidrio aplanada, los grumos formados, se filtra por un filtro de porosidad media sobre un vaso de precipitado de forma alta de 250 ml y se lava con agua fría.

En estas condiciones, la sílice que queda disuelta es mínima.

Nota 1: En el caso de la presencia de cantidades considerables de hierro es necesario reducir el Fe^{+++} a Fe^{++} , antes de la precipitación de los sulfatos con 10 ml de solución 5% de clorhidrato de hidroxilamina.

El filtrado contenido en el vaso de 250 ml se calienta a ebullición. Al mismo tiempo, en un vaso de precipitado de 50 ml se calientan a ebullición 15 ml de disolución de cloruro bórico al 10%. La disolución hirviente de cloruro bórico se vierte sobre el filtrado, igualmente en ebullición, y ésta se mantiene durante unos 10 minutos. El vaso de 250 ml y su contenido se mantiene sobre el baño de agua hirviendo al menos durante 12 h y luego se enfría a temperatura ambiente.

Se filtra por un filtro de porosidad fina y se lava con agua fría hasta eliminación de cloruros. (Comprobar con disolución de nitrato de plata).

Nota 2: Se comprueba, visualmente, que el sulfato bórico no haya pasado al filtrado. En caso de que pase, se debe repetir la filtración. Es inconveniente refiltrar la primera parte filtrada.

El filtro, con el precipitado, se introduce en el crisol de platino previamente tarado, se seca en la estufa y se incinera a baja temperatura, por debajo de la del rojo sombra ($400^{\circ}C-752^{\circ}F$), hasta combustión total del papel a ceniza blanca. Se deja enfriar el crisol, se humedece el residuo con 2 gotas de ácido nítrico (1:1) y una gota de ácido sulfúrico (1:1). Se tapa el crisol y se evapora hasta eliminación de humos calentando con un Bunsen con poca llama y a distancia para prevenir cualquier proyección.

El crisol se coloca sobre un triángulo de tierra refractaria "limpio" y se calcina 30 minutos a $950^{\circ}C$ ($1752^{\circ}F$) en una mufla. El crisol se enfría en el desecador con llave, cuyo cierre hermético será comprobado, y se pesa.

B.5. Cálculo y expresión de los resultados

La diferencia de pesos entre la tara de crisol y el crisol con el residuo de sulfato de bario, da el peso P_1 de sulfato de bario. El resultado se expresa como ión sulfato SO_4 , en tanto por ciento, según la ecuación:

$$\% \text{ de } SO_4 = \frac{P_1}{PmBaSO_4} PmSO_4 = \frac{100}{m}$$

Donde:

P_1 :	Peso de sulfato de bario (g).
$PmBaSO_4$:	233,40 (peso molecular $BaSO_4$).
$PmSO_4$:	96,06 (peso molecular SO_4).
m:	peso de la muestra seca (g).

El resultado obtenido es el contenido total de compuestos de azufre extraíbles por disgregación alcalina oxidante, expresados como SO_4 =%.

B.6. Valores obtenidos de repetibilidad

La desviación típica de repetibilidad (R-1) es de 0,02.

6.3.1.24.5. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE COMPUESTOS DE AZUFRE EN ESTADO DE SULFATOS

B.1. Fundamento del método

La muestra se disgrega por fusión alcalina en ausencia de oxidantes, se disuelve y se ataca en ácido clorhídrico para eliminar todos los sulfuros presentes. Se separa la sílice por evaporación a sequedad del residuo seco, se extrae en frío y se determinan en el filtrado los sulfatos por gravimetría. La separación de la sílice debe ser la máxima posible para evitar interferencias por coprecipitación durante la digestión.

B.2. Aparatos necesarios

Los mismos que los indicados en el apartado 5.

B.3. Reactivos

Los mismos que los indicados en el apartado 6, excepto la disolución acuosa saturada de Bromo y el peróxido de sodio.

B.4. Procedimiento operativo

Se sigue el apartado 7 en todos sus detalles, excepto que se suprimen los procesos empleados de oxidación, es decir, no se añaden: ni peróxido de sodio, ni agua de bromo (se utiliza igualmente una muestra de $4 \pm 0,05$ g con una precisión de 0,0001 g, previamente desecada a $11 \pm 5^\circ$ C ($230 \pm 10^\circ$ F) 105° C hasta peso constante).

B.5. Cálculos y expresión de resultados

La diferencia de pesos entre la tara de crisol y el crisol con el residuo de sulfato de bario, nos da el peso P_2 de sulfato de bario. El resultado se expresa como ión sulfato $SO_4^{=}$, en tanto por ciento, según la ecuación:

$$\% \text{ de } SO_4 = \frac{P_2}{PmBaSO_4} PmSO_4^{=} = \frac{100}{m}$$

Donde:

P_2 :	Peso de sulfato de bario (g).
$PmBaSO_4$:	233,40 (peso molecular $BaSO_4$).
$PmSO_4$:	96,06 (peso molecular).
m:	Peso de la muestra seca (g).

El resultado obtenido corresponde al contenido total de compuestos de azufre en estado de SO_4 extraíble por disgregación alcalina en ausencia de oxidantes.

6.3.1.24.6. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SULFUROS TOTALES

La diferencia entre el sulfato de bario, P_1 , obtenido en el apartado 8, el sulfato de bario, P_2 , obtenido en el apartado 14, da la cantidad de sulfato de bario correspondiente al azufre procedente de sulfuros contenidos en la muestra.

El valor, expresado en tanto por ciento de $S^=$, se obtiene según la ecuación:

$$\% \text{ de } SO_4 = \frac{PaS}{PmBaSO_4} \left[\frac{P_1}{m_1} - \frac{P_2}{m_2} \right] 100 = 13,738 \left[\frac{P_1}{m_1} - \frac{P_2}{m_2} \right]$$

Donde:

- P_1 : Peso de sulfato de bario (g) (del apartado 8).
 P_2 : Peso de sulfato de bario (g) (del apartado 14).
 m_1 y m_2 : son los pesos de las muestras respectivas secas (g).
 $PaS^=$: 32,06 (peso atómico S).
 $PmBaSO_4$: 233,40 (peso molecular $BaSO_4$)

Este valor incluye la suma de sulfuros atacables y no atacables por ácido, así como la pequeña cantidad eventual de $SO_3^=$, que se considera despreciable, en cualquier caso.

Nota 3: Se obtienen los resultados deseados con igual precisión y mayor rapidez, cuando las masas de las muestras son distintas (m_1 y m_2).

SECCION 6.3.1.25.

DETERMINACIÓN DE LA REACTIVIDAD ÁRIDO/ ÁLCALI (MÉTODO QUÍMICO) (ASTM C 289)

6.3.1.25.1. OBJETO

Este método tiene por objeto establecer un método para determinar la posible reactividad de los áridos con los álcalis del cemento, y se basa en la reacción del árido con una solución valorada de hidróxido sódico.

Es de aplicación a los áridos empleados en la fabricación de hormigón.

6.3.1.25.2. EQUIPOS Y MATERIALES

B.1.Aparatos

- a) Balanza. Se dispondrá de una que permita pesar una carga de 2.000 gramos con precisión de 2 gramos y otra analítica de precisión cuya sensibilidad sea de 0,0005 gramos.
- b) Equipo de trituración y molienda. Se utiliza cualquier equipo que permita preparar unos 4 kg de muestra, de acuerdo con lo que se indica en el "Procedimiento".
- c) Tamices 300 μ m (No.50) y 150 μ m (No.100).
- d) Estufa de desecación, capaz de mantener una temperatura de $80 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ($192 \pm 2^{\circ}\text{F}$).
- e) Recipientes de reacción, fabricados con acero inoxidable o con cualquier otro material que resista la corrosión.

El resto de los aparatos serán los de uso corriente en los laboratorios químicos.

B.2.Reactivos

- a) Disolución patrón de hidróxido sódico 0,010N, que se valora utilizando una disolución patrón de ftalato ácido de potasio. En la preparación de la disolución se emplea agua destilada hervida con el fin de eliminar el anhídrido carbónico.
- b) Disolución patrón de ácido clorhídrico 0,05N. Se prepara una disolución de ácido clorhídrico aproximadamente 0,05N, que se valorará en el momento de su utilización hasta 0,0001N utilizando N_2OH 0,05N.
- c) Disolución alcohólica de fenolftaleína. Se prepara disolviendo 1 gramo de fenolftaleína en 100 cm^3 de etanol 1:1.
- d) Disolución de anaranjado de metilo. Se prepara disolviendo 0,1 gramo de anaranjado de metilo en 100 cm^3 de agua, que se filtrará si es necesario.

6.3.1.25.3. PROCEDIMIENTO

B.1.Preparación de la muestra

Se pulveriza para que pase por el tamiz 300 μ m (Nº 50) y quede retenida en el 150 μ m (Nº 100),

tomando las precauciones necesarias en el proceso de pulverización para que se reduzca al mínimo la fracción de finos que pasen a través del tamiz 150 m (Nº 100).

Es recomendable el siguiente método de trituración: utilizando una trituradora de mandíbula que tritura el árido grueso hasta un tamaño máximo de 0,62 cm. Se tamiza el árido grueso, así preparado, o la arena, en caso de tratarse de árido fino, sobre el tamiz 300 m (Nº 50), recogiendo la fracción que retiene el tamiz 150m (Nº 100). Se pulveriza en un molino de discos y en varias pasadas sucesivas, el material retenido por el tamiz de 300 m (Nº 50), recogiendo la fracción que queda en el tamiz de 150 m (Nº 100).

Con objeto de asegurarse de que ha eliminado el material fino que pasa por el tamiz de 150 m (No.100), se lava la muestra sobre dicho tamiz. No debe realizarse este lavado empleando, de una vez, una cantidad de material superior a 100 gramos. Se deseca la muestra lavada en estufa a $105 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 10^\circ \text{F}$) durante unas veinte horas, y una vez enfriada a temperatura ambiente, el material se vuelve a tamizar por el tamiz de 150 m (Nº 100), reservando para el ensayo la parte retenida en dicho tamiz.

B.2.Ejecución del ensayo

Se pesan, separadamente, tres porciones de 25 ± 0.05 gramos de la fracción seca que se va a ensayar y se coloca cada una de estas porciones en un recipiente de reacción. Se añaden 25 cm³ de disolución de NaOH, 1.000 N y en un recipiente aparte, se ponen 25 cm³ de la misma disolución de NaOH, para realizar un ensayo en blanco. Se cierran, perfectamente, los recipientes de reacción y se agitan con suavidad para desprender las burbujas de aire que pueden haber quedado Incluidas entre la arena.

Seguidamente se colocan los recipientes en la estufa a temperatura de $80 \pm 1^\circ \text{C}$ (86°F).

Pasadas veinticuatro horas se sacan los recipientes de la estufa y se enfrían, por debajo de 30°C ($172 \pm 2^\circ \text{F}$), con agua corriente durante 15 ± 2 minutos.

Después de enfriados los recipientes de reacción, se abren y se filtra el líquido que contienen, para lo cual se utiliza un crisol de placa filtrante colocando sobre la placa un disco de papel de filtro. La operación de filtrado se realiza a vacío, colocando dentro del kitasato, un tubo de ensayo seco de 35 a 50 cm³ para recoger el líquido. Conectado el vacío se vierte sobre el papel de filtro una pequeña cantidad de líquido de la disolución decantada, con el fin de conseguir una mejor adaptación del papel al crisol. Sin quitar el contenido del recipiente, se vierte en el crisol el resto del líquido separado por decantación. Cuando la decantación del líquido es completa, se interrumpe la acción del vacío y se pasa al crisol la arena del recipiente. Se vuelve a aplicar el vacío, regulándolo de manera que la velocidad de filtración sea de una gota cada diez segundos.

Se anota el tiempo de aplicación de vacío, para procurar que no varíe de una a otra muestra.

El líquido del ensayo en blanco se filtra de manera análoga a la indicada antes, ajustando el vacío de tal forma que dure el proceso un tiempo igual a la medida de los tiempos de filtración de las tres muestras consideradas.

Se toman con una bureta 10 ml de filtrado perfectamente homogeneizado, y se pasan a un matraz aforado de 200 ml, llenando luego el matraz hasta enrase, con agua destilada.

B.3.Determinación gravimétrica de sílice soluble

Se toman 10 ml de la solución diluido y se ponen en una cápsula, de ser posible de platino, con el objeto de que sea más rápida la evaporación. Se añaden de 5 a 10 ml de HCl concentrado y se evapora a sequedad en baño de vapor. Al residuo se le añaden, nuevamente, de 5 a 10 ml de HCl y una cantidad igual de agua. Se pone a digestión sobre el baño de vapor durante diez minutos, cubriendo la cápsula con un vidrio de reloj.

Se diluye la disolución con 20 ml de agua destilada caliente; se filtra en caliente y se lava varias veces el anhídrico silícico formado con ácido clorhídrico diluido (1:99) y, por último, con agua hirviendo, hasta que las aguas de lavado no se enturbien cuando se añaden unas gotas de solución de nitrato de plata. El filtrado y las aguas de lavado se evaporan de nuevo hasta sequedad y, conseguido ello, se mete la cápsula en una estufa, manteniéndola una hora a $105 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 10^\circ\text{F}$). Se saca y trata el residuo con 15 ml de ácido clorhídrico 1:1, se cubre con un vidrio de reloj y se mantiene en digestión durante diez minutos. Se diluye con 15 ml de agua destilada caliente, se filtra sobre otro filtro y se lava como la porción mayor de sílice separada anteriormente.

Se pasan a un crisol de platino los dos filtros que contienen la sílice; se secan y queman los papeles a baja temperatura hasta su total incineración y, luego se calcinan a 1110°C y 1200°C ($2000^\circ\text{F} \pm 2200^\circ\text{F}$) hasta peso constante.

Se humedece el residuo en el crisol de platino, con unas gotas de agua y se añaden 10 ml de ácido fluorhídrico y una gota de ácido sulfúrico concentrado. Se evapora hasta sequedad en una vitrina con buen tiro. Se calcina el residuo durante cinco minutos en una mufla a temperatura comprendida entre 1110 y 1200°C ($2000^\circ\text{F} \pm 2200^\circ\text{F}$), se enfría y se pesa. La diferencia entre las dos últimas pesadas da el peso de la sílice soluble.

Para el ensayo en blanco se emplea la misma cantidad de disolución diluida y de reactivos, realizándose las mismas operaciones en condiciones idénticas a las expuestas en el ensayo de la muestra.

B.4. Determinación de la reducción en la alcalinidad

Con una pipeta se toman 20 ml de la disolución diluida y se ponen en un matraz Erlenmeyer de unos 125 ml de capacidad. Se añaden dos o tres gotas de feolftaleína y se valora con HCl 0,05N hasta la desaparición total del color rosa de la feolftaleína. Se anota la cantidad total de ácido clorhídrico consumido en la valoración. Se añaden, a continuación, de dos a tres gotas de anaranjado de metilo y se continúa la valoración con el mismo ácido, hasta el viraje del indicador. Se anota la cantidad total de ácido clorhídrico utilizado desde el principio de la valoración.

6.3.1.25.4. OBTENCIÓN Y PRECISIÓN DE LOS RESULTADOS

B.1. Sílice soluble

La concentración de SiO_2 en la disolución de NaOH se expresa en millones por litro, y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{SiO}_2 = (W_1 - W_2) \times 3.330$$

Donde:

W_1 : Peso de SiO_2 hallados en 100 ml de solución diluida (g).

W_2 : Peso de SiO_2 encontrados en el ensayo en blanco (g).

B.2. Reducción de la alcalinidad

Se calculará ésta en milimoles por litro, mediante las siguientes expresiones:

$$V_2 \cdot V_3 = 2P - T$$

$$R_c = \frac{20N}{V_1} (V_3 - V_2) \times 1.000$$

Donde:

- V_1 : volumen de la disolución diluida utilizado en el ensayo (ml).
- V_2 : volumen de HCl utilizado para neutralizar el ión hidroxilo en la muestra de ensayo.
- V_3 : volumen de HCl utilizado para neutralizar el ión hidroxilo en el ensayo en blanco (ml).
- P: volumen de HCl necesarios para lograr el viraje de fenoltaleína (ml).
- T: cantidad total de HCl utilizada desde el principio de la valoración y necesaria para lograr el viraje de anaranjado de metilo.
- N: Normalidad del HCl utilizado en la valoración.

Puesto que la reacción álcali-agregado puede ser de tres tipos distintos, los mecanismos de reacción son muy complejos y presentan diferencias en función de la fase mineralógica en actividad, la evaluación de la potencialidad de reacción por medio de un solo método no puede ser concluyente. Se recomienda la verificación por medio de al menos dos métodos para la aceptación o rechazo de un tipo de agregado.

SECCION 6.3.1.26.

VALORACIÓN DE ELEMENTOS ARCILLOSOS EN LOS MATERIALES FINOS POR MEDIO DEL AZUL DE METILENO (NTL 171)

6.3.1.26.1. OBJETO

Este método describe el procedimiento que se debe seguir para determinar la presencia de elementos arcillosos en los materiales finos, como arenas naturales o de trituración, polvos minerales, etc., empleados en la construcción de carreteras.

El método se basa en las propiedades de adsorción de las arcillas, y su consiguiente efecto decolorante sobre las soluciones acuosas de azul de metileno.

El azul de metileno es adsorbido preferentemente por las arcillas, los materiales orgánicos y los hidróxidos de hierro, siendo esta capacidad de adsorción consecuencia de la actividad superficial y físico-química de estos materiales.

6.3.1.26.2. EQUIPOS Y MATERIALES

- Balanza de 200 g de capacidad y precisión de 0,001 g.
- Estufa de desecación regulable a $110\pm 5^{\circ}$ C ($230\pm 10^{\circ}$ F).
- Tamiz de 425 μ m (No.40).
- Agitador electromagnético calorifugado y con regulador de agitación e imán plastificado incorporado. Se puede utilizar también un agitador mecánico de velocidad regulable con placa calefactora.
- Vasos de precipitado graduados de 250 cm³ de capacidad y forma baja.
- Vidrio de reloj de 10 cm. de diámetro.
- Tubos de ensayo graduados, de 10 cm³ de capacidad, y gradilla soporta tubos.
- Centrífuga de laboratorio para los tubos de ensayo, capaz de dar 525 rad/s (5.000 r.p.m.).
- Frasco lavador.
- Agua destilada o desmineralizada.
- Azul de metileno R.A.
- Cronómetro.
- Escala de colores, obtenida según el punto "Escala de colores" de este método.

6.3.1.26.3. PROCEDIMIENTO

- a. El ensayo se realiza sobre la fracción de la muestra que pasa por el tamiz de 425 μ m (No.40), secada en estufa a unos 110 \pm 5 $^{\circ}$ C (230 \pm 10 $^{\circ}$ F) hasta peso constante (**Nota 1**).

Nota 1. Secar la muestra a temperaturas superiores puede suponer la alteración de ciertas arcillas presentes y, por tanto, de resultados finales del ensayo.

- b. Se pesan en la balanza unos 2g de muestra con precisión de 0,001 g y se colocan en el vaso de 250 cm³.
- c. Se pesan en la balanza y con la misma precisión, unos 0,05 g de azul de metileno, que se colocan en el mismo vaso junto con la muestra.
- d. A continuación, se añade al vaso agua destilada o desmineralizada, hasta conseguir un volumen total de 150 cm³. La solución obtenida será de un color azul intenso. Este volumen de 150 cm³ debe mantenerse constante durante todo el proceso, restituyendo con agua destilada o desmineralizada las pérdidas que se ocasionen.
- e. Se coloca el vaso sobre el agitador electromagnético, se introduce el imán, se tapa con el vidrio de reloj y se pone en marcha el agitador durante 20 minutos. Se conecta a la vez el interruptor de calefacción, y se regula para que en ese período de tiempo la solución alcance una temperatura de 60 $^{\circ}$ C (140 $^{\circ}$ F) (**Notas 2 y 3**).

Nota 2: La temperatura más apropiada para activar el efecto de adsorción del azul de metileno sobre las arcillas es de unos 60 $^{\circ}$ C (140 $^{\circ}$ F). Se puede utilizar un termómetro para verificarlo, o también tener en cuenta que es a esta temperatura cuando aparece condensación de vapor de agua en la parte inferior del vidrio de reloj que cubre el vaso. En este instante se desconecta el interruptor de calefacción. La agitación no debe ser turbulenta, evitando las salpicaduras en las paredes del vaso y vidrio de reloj.

Nota 3: El imán plastificado sufre un desgaste con el uso, por lo que debe sustituirse cuando ello sucede, para que la agitación sea la correcta. A veces se pueden ver adheridas al imán algunas pequeñas virutillas de hierro, que provienen generalmente de los medios empleados en la trituración del árido.

- f. Transcurrido este tiempo, se toman en un tubo de ensayo 3 cm³ de la suspensión del vaso, se coloca el tubo con una suspensión en la centrífuga y se centrifuga durante 30 segundos a 525 rad/s (5.000 r.p.m.). A continuación, se transvasan 2 cm³ del líquido que sobrenada a otro tubo de ensayo limpio, tubo 1, se observa su color y se coloca en la gradilla mientras dure el ensayo (**Nota 4**).

Nota 4: El líquido que sobrenada debe ir exento de partículas coloreadas de muestra. La presencia de dichas partículas puede producir una falsa apreciación del color de la solución. Debe cuidarse el perfecto equilibrio de los tubos de ensayo en la centrifugación.

- g. El tubo de ensayo utilizado en la centrifugación se lava con otros 2 cm³ de agua destilada o desmineralizada, agitándolo con la mano y vertiendo todo el contenido en el vaso de precipitado, con el fin de recuperar la muestra que había en el fondo del tubo después de la centrifugación.
- h. El líquido transvasado al tubo 1, puede presentar coloración azul más o menos intensa o quedar incoloro:
 - a) En el caso que presente coloración, se vuelve a colocar el vaso en el agitador durante otros 20 minutos, y se repite posteriormente la operación según el **Apartado 22**. Se compara su coloración, tubo 2, con la del tubo 1 situado en

la gradilla. Si la coloración es la misma, hay que añadir una nueva cantidad de muestra siguiendo el criterio referido en el Apartado 26 y se repite todo el proceso indicado en los **Apartados 21, 22 y 23**. Se considerará terminado el ensayo cuando la solución, gradualmente, llega a ser incolora.

- b) En el caso que el líquido transvasado al tubo 1 resulte incoloro, se pesarán otros 0,05 g de azul de metileno con precisión de 0,001 g, se añadirá al vaso que contiene la muestra, y se vuelve a repetir el proceso completo según los Apartados 21 y siguientes.

6.3.1.26.4. ESCALA DE COLORES

La escala comparativa de colores se obtiene por diferentes diluciones de azul de metileno (realizando las pesadas con precisión de 0,001 g) en agua destilada o desmineralizada, según la marcha siguiente:

	Solucion Nº
0,01 g de azul de metileno y diluir en 20 cm ³	5
2 cm ³ solución 5 y diluir en 20 cm ³	4
2 cm ³ solución 4 y diluir en 10 cm ³	3
2 cm ³ solución 3 y diluir en 3 cm ³	2
2 cm ³ solución 2 y diluir en 2 cm ³	1
Solución incolora	0

Se tendrán en cuenta los colores intermedios que se definirán como: 5-4, 4-3, 3-2, 2-1 y 1-0.

Como orientación para la cantidad de muestra a añadir, según los colores resultantes, se puede seguir el siguiente criterio:

- Con coloración 5 y 4, de 2 a 1 g.
- Con coloración 3 y 2, de 1 a 0,5 g.
- Con coloración inferior a 2, de 0,5 a 0,1 g.

6.3.1.26.5. CÁLCULOS

El resultado denominado Índice de azul de metileno, indica la cantidad en gramos, con aproximación a una décima, de azul de metileno por 100 gramos de muestra seca, y se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\text{Índice de azul de metileno} = \frac{A}{S} \times 100$$

Siendo:

- A: cantidad utilizada de azul de metileno (g).
 B: cantidad empleada de muestra seca (g).

6.3.1.26.6. PRECISIÓN

Se repite el ensayo en otra porción de muestra, utilizando las cantidades de azul de metileno y muestra seca determinada anteriormente. El nuevo valor deberá estar incluido en el intervalo 0,2 del resultado obtenido anteriormente. Se promedian ambos resultados como valor del índice de azul de metileno. En caso contrario, repetir las determinaciones.

CAPITULO 6.3.2.

ENSAYOS EN CEMENTOS Y MORTEROS

SECCION 6.3.2.1.

MUESTREO Y ACEPTACIÓN DEL CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C 183 AASHTO T127)

6.3.2.1.1. OBJETO

Este método tiene por objeto establecer los procedimientos para la extracción, preparación y escogencia de muestras de cementos hidráulicos para ser ensayadas con miras a la verificación de su calidad.

6.3.2.1.2. DEFINICIONES

Los procedimientos descritos en este método tienen como fin la extracción de muestras que han de ser utilizadas en ensayos, que verifiquen la calidad del cemento hidráulico, para que pueda ser aceptado su uso en la construcción. No están orientados hacia propósitos de control de calidad de la producción.

a. Tipos, tamaño de las muestras e indicación de quien las debe tomar

Las muestras extraídas de una corriente de cemento pueden ser simples o continuas:

La muestra simple es la que se obtiene en una sola operación y en un período corto de tiempo.

La muestra continua es la que se extrae mediante un dispositivo automático, en forma continua.

Mientras la muestra simple representa una corriente de cemento en un período corto de tiempo, la muestra continua puede representar una corriente de cemento en períodos de tiempo cortos o largos, según lo desee la entidad encargada de extraer las muestras. Se recomienda, sin embargo, que la muestra continua sea obtenida en un intervalo de 10 min.

b. Muestras individuales, sean simples o continuas, pueden mezclarse para formar muestras compuestas. Las muestras simples individuales tomadas a intervalos prefijados durante un lapso determinado, pueden mezclarse para constituir una muestra compuesta representativa del cemento producido en dicho lapso.

Se podrá obtener también una muestra compuesta representativa de un período, mezclando las muestras continuas individuales extraídas a intervalos prefijados durante dicho período. Igualmente, la muestra será también una muestra compuesta representativa para ese período.

c. Las muestras destinadas a ensayos físicos o químicos se denominarán “muestras de ensayo”; podrán ser simples o compuestas según se especifique y salvo indicación contraria del comprador representarán a lo sumo 350 toneladas.

d. Las muestras individuales que formen muestras compuestas deberán pesar por lo menos 2,5 kg (5 lb) cada una. Para efectuar todas las pruebas especificadas, la muestra de ensayo deberá pesar por lo menos 5 kg (10 lb).

e. La extracción de muestras podrá ser hecha o dirigida por el comprador o su representante autorizado.

Estos tienen derecho a supervisar las operaciones de muestreo, empaque y transporte del material, en caso de que el muestreo sea hecho por el fabricante.

- f. Inmediatamente después de extraídas las muestras se introducirán en envases apropiados, herméticos e impermeables, que se numerarán consecutivamente en el orden en que se haya realizado la extracción. Si fuere necesario, el fabricante podrá empacar y remitir los envases a expensas del comprador.

Nota: Se ha encontrado que los recipientes de cloruro de polivinilo (PVC) afectan en ciertas ocasiones el potencial de inclusión de aire del cemento. Este mismo problema puede presentarse con recipientes hechos con otros plásticos.

6.3.2.1.3. TOMA DE MUESTRAS

Las muestras se extraerán por uno de los métodos descritos en este capítulo.

1. Del transportador que alimenta los silos de material a granel

Se extraerá una muestra de ensayo, simple o continúa, de por lo menos 5 kg por cada 175 toneladas llevadas por el transportador, o por cada 6 horas de producción (funcionamiento del transportador), en el caso de que en ese período sea transportada una cantidad menor que la mencionada.

La extracción de muestras se hará ya sea por el método individual o por el compuesto. Cuando se obtenga una muestra compuesta, se formará ésta mezclando pesos iguales de cemento, extraídos a intervalos regulares; cada una de las porciones deberá representar no más de 35 toneladas.

2. En operaciones de transferencia

Pueden tomarse muestras de cemento almacenado cuando éste está siendo transferido en forma continua de un depósito a otro. En este caso, tómesese una muestra individual por cada 400 toneladas de cemento o menos, pero no deberán tomarse menos de dos muestras.

3. De los silos de material a granel, en sus puntos de descarga

Extraíganse las muestras del orificio de descarga cuando el cemento se encuentre en un estado de flujo continuo.

Si el silo de donde fluye el cemento es alto y circular, tómense las muestras de un solo orificio. En caso de tratarse de depósitos rectangulares de baja altura que contengan una cantidad de cemento superior a las 1200 toneladas, el número de orificios de donde se tomarán las muestras será tal, que para ningún orificio el número de muestras tomadas a través suyo, representará más de la mitad del contenido del depósito, ni más de 2000 toneladas.

Durante la operación de descarga continua de un silo, la extracción se efectuará mientras fluye el cemento por las bocas de descarga, a intervalos tales que se logre una muestra de 2,5 kg por cada 85 toneladas contenidas en el silo.

4. De los silos o de los depósitos de transporte de material a granel por intermedio del sacamuestras ranurado o por tubo sacamuestras.

Si la altura del cemento contenido en el depósito no sobrepasa los 2,1 m (7') las muestras se podrán extraer por medio del sacamuestras ranurado que se ilustra en la **Figura 6.3_12**. Esta herramienta tendrá una longitud comprendida entre 1,50 y 1,85 m (5' y 6'), un diámetro exterior de 35 mm (1 3/8") y estará formado por dos tubos telescópicos de bronce pulido con ranuras

de registro que se abren o cierran girando el tubo interior con respecto al exterior; este último terminará en una punta afilada para facilitar su penetración. Para profundidades mayores de 2.1 m (7') y donde sea aplicable, se utilizará un tubo sacamuestras (Figura 6.3_13), activado por un chorro de aire que permita sacar muestras de cemento a distintas profundidades.

Con el fin de que las muestras sean representativas del cemento en consideración, éstas se obtendrán ya sea por medio del sacamuestras ranurado o por medio del tubo sacamuestras, eligiendo de antemano puntos bien distribuidos tanto en la superficie como en la altura.

5. De cemento empacado, por intermedio del tubo sacamuestras

El tubo sacamuestras se insertará diagonalmente por la válvula del saco, teniendo la precaución de tapar el agujero de respiración del tubo al realizar esta operación y luego se girará el sacamuestras. Por cada 5 toneladas o fracción se extraerá una muestra de un saco. Las muestras parciales así obtenidas, se mezclarán para formar una muestra de ensayo.

6. De volquetas o camiones de transporte de material a granel

- Un solo cargamento.

Si se trata tan sólo de una volqueta o camión, tómesese una sola muestra de 5 kg (10 lb) cuando el material haya sido cargado en forma continua y provenga de la misma fuente. Si por el contrario el proceso de cargue del material es desconocido o irregular, tómesese cinco porciones de muestra de puntos uniformemente distribuidos en la carga, y combínense para formar la muestra de ensayo.

- Varios cargamentos.

Cuando el muestreo deba hacerse de varias volquetas o camiones cargados de la misma fuente y en el mismo día, podrá tomarse una muestra por cada 100 toneladas de cemento o fracción, pero no deberán tomarse menos de dos muestras. El cemento representado por una de tales muestras podrá ser considerado como un lote, para propósitos de ensayo. En los casos en que el cemento haya sido cargado de forma no uniforme, se tomarán muestras de cada camión que se mezclarán para formar muestras de ensayo que en ningún caso representen más de 85 toneladas.

Cuando la extracción de muestras se haga en lugares diferentes de fabricación, éstas se tomarán de cada 2,5 toneladas o fracción y se mezclarán para formar muestras de ensayo.

7. Protección de las muestras

Inmediatamente después de su extracción, las muestras se depositarán en recipientes herméticos de los cuales se pueda eliminar el exceso de aire, con el fin de evitar absorción de humedad y aireación. Si se depositan en envases de hojalata, debe asegurarse el llenado total de envase y su sellado inmediato. Si se emplean bolsas impermeables de varios pliegues o bolsas de plástico, deben ser suficientemente fuertes para evitar roturas, deben poder sellarse inmediatamente después de llenarlas, de manera tal, que se elimine el exceso de aire en la muestra y que se evite la absorción de humedad y aireación de la misma. Tanto las muestras simples como las compuestas, se prepararán tal como se describe en el numeral 8.

De todas las muestras tomadas de acuerdo con las especificaciones establecidas en este método, se guardará un testigo por un término de 60 días, para efectos de resolver eventuales discrepancias entre los interesados.

8. Preparación de la muestra

Con el fin de mezclar la muestra y de extraer todos los materiales extraños antes del ensayo, se pasará el cemento a través del tamiz de 850 μm (No.20). Se descartarán las materias extrañas y los grumos endurecidos que no se deshagan mientras se tamiza la muestra o se cepilla el tamiz.

El cemento así resultante se guardará en recipientes estancos e impermeables, para evitar aireación y absorción de humedad antes del ensayo.

Las muestras compuestas se prepararán disponiéndolas en grupos, de modo que cada uno represente el peso de cemento requerido por el ensayo o los ensayos, para los que la muestra compuesta ha sido destinada. De cada una de las muestras individuales de un grupo, se tomarán porciones iguales en cantidad suficiente para formar una muestra compuesta que permita realizar los ensayos requeridos. La muestra compuesta así obtenida se deberá mezclar perfectamente antes de ser ensayada.

- a) Todas las muestras se identificarán por medio de una tarjeta que deberá contener los siguientes datos:
- b) Número de orden de toma de la muestra.
- c) Tipo de cemento y su marca comercial.
- d) Nombres y domicilios de las partes interesadas.
- e) Peso del lote representado por la muestra.
- f) Sitios de procedencia y de toma de la muestra.
- g) Observaciones que se consideren necesarias (por ejemplo: empaque original o reempaque; empaque en buen o mal estado).
- i) Firmas de las partes interesadas y fecha de toma de la muestra.
- j) Nombre de la persona que tomó la muestra.

9. Cantidad de Ensayos

De todas las muestras tomadas, no todas tendrán que ser ensayadas, para la determinación y verificación de una u otra característica del cemento por medio del ensayo correspondiente. En este numeral se indica cuántas muestras, de todas las tomadas, deberán ser realmente ensayadas, esto es, la cantidad de ensayos (cantidad de veces que se repetirá un ensayo específico sobre la producción de cemento, para verificación de la propiedad que mide).

El comprador deberá especificar la cantidad de ensayos cuando se requieran las determinaciones de calor de hidratación y de falso fraguado del cemento. Incluyendo todas las muestras tomadas, deberán conformarse muestras de ensayo por composición de dos muestras consecutivas, para ser ensayadas a sanidad (expansión) en el autoclave, consistencia normal y tiempo de fraguado; cuando exista un número par de muestras, la última será ensayada aparte.

Todos los demás ensayos deberán hacerse sobre muestras individuales seleccionadas según la **Tabla 6.3_26**

10. Muestras de volquetas y camiones

Todos los ensayos solicitados, deberán hacerse sobre cada muestra tomada en este caso, exceptuando lo consecuente a lo indicado en el numeral 6.

11. Muestras de lotes

La **Tabla 6.3_26** se aplica a todos los ensayos solicitados sobre muestras representativas de lotes, exceptuando los siguientes: sanidad (expansión) la autoclave, calor de hidratación, falso fraguado, consistencia normal y tiempo de fraguado.

12. Todos los demás casos

En aquellos casos para los cuales nada se haya especificado, una muestra de ensayo representará cualquier cantidad indicada por el comprador. Por ejemplo, una muestra de ensayo podrá representar todo el cemento de un silo o todo el producido en el transcurso de un día.

Tabla 6.3_26. NÚMERO DE MUESTRAS PARA ENSAYO

Tamaño del lote (Número de muestras)	Número de ensayos
2	2
3	3
4 a 10	4
11 a 20	6
Más de 20	8

13. Selección de las muestras de ensayo

Las muestras que realmente van a ser ensayadas de cada uno de los lotes deberán ser escogidas mediante algún método aleatorio. Se sugiere el método simple de elaborar papeletas, que identifiquen cada una de las muestras del lote, introducir las dentro de una bolsa y extraer un número de papeletas igual al número de ensayos; se ensayan las muestras correspondientes a las muestras extraídas.

Muestras de ensayo teniendo en cuenta historia de control de calidad. Cuando se lleva una historia de control de calidad del cemento producido en una misma fuente, puede disminuirse el número de ensayos, tan sólo para verificar el comportamiento general de dicha producción. Consúltese la Norma ASTM C 183 o AASHTO T 127 para seguir un procedimiento de verificación de la calidad del cemento, teniendo en cuenta un historial de la calidad del cemento.

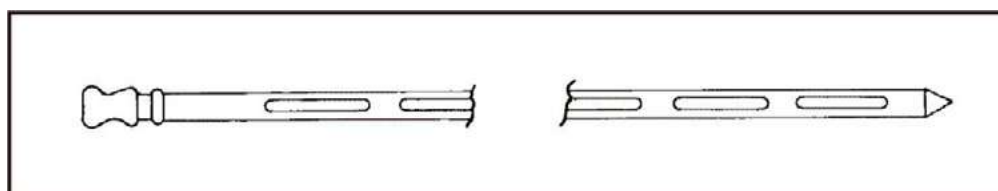


Figura 6.3_12. SACAMUESTRAS RASURADO

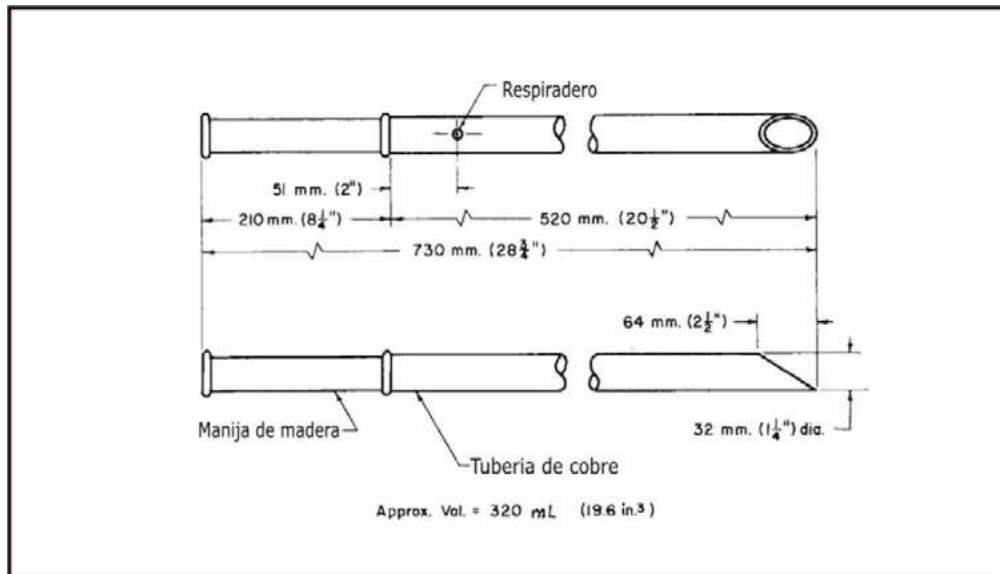


Figura 6.3_13. TUBO SACAMUESTRAS

SECCION 6.3.2.2.

FINURA DEL CEMENTO PORTLAND MÉTODO DEL APARATO BLAINE (ASTM C 204 AASHTO T153)

Este método tiene por objeto establecer el método de ensayo para determinar la finura del Cemento Pórtland por medio del aparato **Blaine de permeabilidad al aire**. Dicha finura se da en términos de superficie específica, expresada como área total en centímetros cuadrados por g (cm^2/g) de cemento. A pesar de que este método haya sido usado para determinaciones de la finura de otros materiales, debe entenderse que, en general, se obtiene un valor de finura relativo en lugar de uno absoluto.

Principio del Método: Consiste en hacer pasar una cantidad determinada de aire a través de una capa de cemento de porosidad definida. La cantidad y el tamaño de los poros existentes en dicha capa, son función del tamaño de las partículas y determinan el gasto del aire a través de la capa.

6.3.2.2.1. EQUIPO Y MATERIALES

B.1. Aparato Blaine

Consta de las siguientes partes: cámara de permeabilidad, disco perforado, émbolo y manómetro. (*Véase Figura 6.3_ 14*).

B.2. Cámara de permeabilidad:

Está formado por un cilindro rígido, de diámetro interior de $12,7 \text{ mm} \pm 0,10 \text{ mm}$ construido de vidrio o de metal no corrosible. La parte superior de la cámara está dispuesta en ángulo recto con respecto al eje de la misma. La parte inferior de la cámara ajusta herméticamente con la parte superior del manómetro. En el interior de la cámara y a $50 \text{ mm} \pm 15 \text{ mm}$ de la parte superior, se hace un reborde de $0,5 \text{ mm}$ a 1 mm , de ancho para soportar un disco metálico perforado.

B.3. Disco perforado:

Debe ser construido con un metal no corrosible; su superficie es plana y tiene un espesor de $0,9 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$; está provisto de 30 o 40 orificios de 1 mm de diámetro, distribuidos uniformemente sobre su superficie. El disco debe ajustar el reborde del tubo.

La porción central de una cara del disco deberá estar marcada o inscrita en una forma legible, de tal manera que el operador coloque siempre el lado marcado hacia abajo cuando lo inserte en la cámara. La marca o inscripción no deberá extenderse en los orificios, ni tocar la periferia del disco, ni extenderse al área del disco que descansa sobre el reborde de la cámara.

B.4. Émbolo:

Debe ser fabricado con un material indeformable e inatacable por el cemento y debe ajustar dentro del tubo con una tolerancia (holgura) máxima de $0,1 \text{ mm}$. La parte inferior del émbolo es plana, tiene bordes regulares y forma ángulo recto con su eje principal. En el centro o a un lado del émbolo hay un desfogue para el aire. La parte superior del émbolo tiene un reborde con el objeto de que cuando se coloque dentro de la cámara y el reborde toque la parte superior de la misma, la distancia entre el extremo inferior del émbolo y la parte superior del disco perforado sea de $15 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$.

B.5. Manómetro:

Es en forma de U y se construye de acuerdo con la **Figura 6.3_ 14**. Para construirlo, se emplea un tubo de vidrio de 9 mm de diámetro exterior. El extremo superior de uno de los brazos del manómetro es de forma tal, que hace posible un ajuste hermético con la cámara de permeabilidad. Dicho brazo tiene un sistema lateral de tubos para sacar el aire, situado a una distancia entre 250 mm y 305 mm del fondo del manómetro y tiene, además, una marca grabada a una distancia de 125 mm a 145 mm por debajo de la parte superior del sistema lateral de tubos. También, hay otras tres marcas por encima de la primera, a distancias de 15 mm, 70 mm y 110 mm respectivamente. En el sistema lateral de tubos hay una válvula, que puede hacer un cierre hermético, situada a una distancia no mayor de 50 mm del brazo. Al montarse el manómetro, debe quedar firme y con los brazos perfectamente verticales.

B.6. Líquido para llenar el manómetro

El manómetro debe llenarse hasta la mitad, con un aceite mineral ligero o con un líquido que no sea volátil ni higroscópico y que tenga viscosidad y densidad bajas, tal como el ftalato dibutilo (dibutil 1.2 bencendicarboxilato). Es aconsejable colorear el líquido para facilitar las lecturas.

B.7. Papel de filtro

Debe ser del tipo de mediana retención. Su forma tiene que ser circular, sus bordes regulares y debe tener el mismo diámetro que el interior de la cámara de permeabilidad.

Nota 1: los discos de papel de filtro son muy pequeños, pueden dejar que parte de la muestra se adhiera a la pared interior de la cámara por encima del disco superior. Si por el contrario son muy grandes, tenderán a doblarse y a causar resultados errados.

B.8. Cronómetro

Debe permitir lecturas con aproximación de 0,5 segundos o menos. Su tolerancia debe ser de 0,5 segundos o menos en intervalos de tiempo hasta 60 segundos, y de 1,0% ó menos para intervalos de 60 a 300 segundos.

6.3.2.2.2. CALIBRACIÓN DEL APARATO

1. Muestra

La calibración del aparato se hace empleando una muestra patrón (muestra 114 del Nacional Bureau of Standards, USA). En el momento del ensayo, la muestra debe estar a la temperatura ambiente.

2. Determinación del volumen de la capa compactada de cemento

Se determina en la forma siguiente:

- Se colocan dentro de la cámara de permeabilidad dos discos de papel de filtro de igual diámetro al de ella, haciéndoles presión con una varilla de longitud ligeramente inferior al diámetro de la cámara, hasta que se asienten bien sobre el disco perforado.
- Se llena luego la cámara con mercurio y se eliminan las burbujas de aire adheridas a las paredes. Si la cámara está hecha de un metal que pueda amalgamarse, su interior debe protegerse con una película muy fina de aceite que se pone inmediatamente antes de agregar el mercurio. Se enrasa el mercurio cuidadosamente con una placa de vidrio.
- Se saca el mercurio, se pesa y se anota el peso obtenido. Se saca de la cámara de permeabilidad uno de los discos de papel filtro. Se colocan en ella 2,80 g de cemento (**ver Nota 2**)

y sobre éste, el mismo disco de papel de filtro que se había sacado; luego se hace presión sobre el cemento (**ver Nota 3**).

- Se acaba de llenar con mercurio la cámara, se elimina el aire y se enrasa nuevamente. Se saca el mercurio, se pesa y se anota ese peso.
- El volumen ocupado por el cemento se calcula, con aproximación de $0,005 \text{ cm}^3$, como sigue:

$$V = \frac{W_A - W_B}{D} \quad (1)$$

Donde:

V: Volumen de la capa de cemento (cm^3).

W_A : Peso del mercurio que se coloca en la cámara de permeabilidad cuando no hay cemento en la misma (g).

W_B : Peso del mercurio que llena la parte de la cámara de permeabilidad no ocupada por la capa de cemento (g).

D: Peso específico del mercurio a la temperatura a que se hace el ensayo (g/cm) (**ver Tabla 6.3_27**).

- Como mínimo, se deben hacer dos determinaciones del volumen del cemento. El volumen empleado en los cálculos correspondientes, debe ser el promedio de dos resultados que no difieran, en más o menos, de $0,005 \text{ cm}^3$. Se debe anotar la temperatura ambiente que rodea a la cámara de permeabilidad, inmediatamente antes y después de cada determinación.

Nota 2: No es necesario emplear la muestra patrón en la determinación del volumen.

Nota 3: La capa de cemento que se prepare debe ser consistente. Si está demasiado floja o si el cemento no puede comprimirse al volumen deseado, se varía la cantidad de cemento empleado en el ensayo.

3. Preparación de la muestra

La muestra patrón se introduce, inmediatamente antes de ser utilizada, en un frasco de 100 a 150 cm^3 de capacidad y se agita vigorosamente durante 2 minutos, a fin de deshacer los grumos.

4. Peso de la muestra patrón

Debe ser tal, que permita obtener una capa de cemento que tenga una porosidad de $0,500 \pm 0,005$. Dicho peso se calcula con la siguiente fórmula:

$$W = 3,15 V (1 - e) \quad (2)$$

Donde:

W: Peso de la muestra patrón (g) con una aproximación de 0,001 g.

3,15: Peso específico del cemento Portland.

V: Volumen de la capa de cemento, en cm^3 que se determina de acuerdo con lo expuesto en el numeral 3.

e: Porosidad de la capa de cemento ($0,500 \pm 0,005$).

5. Preparación de la capa de cemento

Se coloca el disco perforado en el reborde de la cámara de permeabilidad. Se pone un disco de papel de filtro sobre el disco perforado y se presiona con una varilla de longitud ligeramente menor que el diámetro de la cámara. Se añade cemento a ella, de acuerdo con lo indicado en numeral 2 y se dan unos ligeros golpes en sus paredes para que la capa de cemento quede nivelada. Se coloca un disco de papel de filtro sobre el cemento. Se baja el émbolo hasta que su reborde toque el extremo superior de la cámara. Se levanta un poco el émbolo en forma lenta, se rota 90° y se vuelve a bajar.

Por último, se saca el émbolo lentamente. Para cada determinación es necesario utilizar discos nuevos de papel de filtro.

6. Ensayo de permeabilidad

- La cámara de permeabilidad se conecta con el manómetro, cerciorándose que haya una conexión hermética (ver Nota 4) y cuidando que la capa de cemento no se altere.
- El aire contenido en el brazo del manómetro que tiene las marcas, se elimina lentamente hasta que el líquido alcance la marca más alta y luego se cierra herméticamente la válvula. Se hace funcionar el cronómetro en el momento en que el menisco del líquido llegue a la segunda marca (la que sigue a la más alta) y se detiene en el momento en que el menisco llegue a la tercera marca. El intervalo de tiempo observado se anota en segundos; se anota también la temperatura a que hizo el ensayo, en $^\circ\text{C}$. Para la calibración del aparato se hacen como mínimo tres determinaciones del tiempo de flujo en cada una de tres capas diferentes de la muestra patrón (**ver Nota 5**). La calibración debe hacerla la misma persona que va a efectuar las determinaciones de la finura.

Nota 4: Si se usa un tapón de goma para la conexión, éste debe humedecerse con agua. Si la unión es esmerilada, debe aplicarse un poco de grasa. La eficiencia de la conexión puede apreciarse tapando la parte superior de la cámara (después de haber colocado el manómetro), haciendo salir aire y cerrando luego la llave. Un descenso continuo del menisco es indicio de falla en el sistema.

Nota 5: Puede volver a usarse la misma muestra patrón para preparar las capas de cemento, volviéndola a calcular según el numeral 4 y siempre que se mantenga seca y se hagan las pruebas dentro de las 4 horas siguientes a la apertura de la muestra.

7. Recalibración

El aparato debe ser recalibrado en los siguientes casos:

- Para corregir posibles desgastes del émbolo o de la cámara de permeabilidad; esto deberá hacerse periódicamente.
- Si hay alguna pérdida de líquido del manómetro.
- Si se efectúa algún cambio en el tipo o en la calidad del papel de filtro empleado en los ensayos.

Nota 6: Se sugiere preparar una muestra secundaria para ser usada en las comprobaciones rutinarias del instrumento; éstas se deben efectuar entre las cali-

braciones regulares, en las cuales se debe usar la muestra patrón.

6.3.2.2.3. PROCEDIMIENTO

a. Temperatura del cemento

La muestra de cemento debe estar a la temperatura ambiente en el momento de efectuar el ensayo.

b. Cantidad de muestra

La muestra debe tener el mismo peso que la muestra patrón utilizada para la calibración, excepto cuando se vaya a determinar la finura de un cemento de alta resistencia inicial, caso en el cual el peso de la muestra debe ser el necesario para obtener una capa con porosidad de $0,530 \pm 0,005$.

Nota 7: Cuando este método sea utilizado para materiales diferentes del cemento portland, el peso de la muestra debe ser ajustado de tal forma que del proceso de compactación se obtenga una capa firme y dura.

c. Preparación de la capa de cemento

La capa de cemento para el ensayo debe prepararse de acuerdo con el método descrito en el numeral 5.

d. Ensayo de permeabilidad

Debe efectuarse de acuerdo con el método descrito en el numeral 6, con la excepción de que sólo es necesaria una determinación del tiempo de flujo para la capa de cemento.

6.3.2.2.4. CÁLCULOS

a. La superficie específica se calcula mediante las siguientes fórmulas:

$$S = \frac{S_p \sqrt{T}}{\sqrt{T_p}} \quad (3)$$

$$S = \frac{S_p \sqrt{N_p} \sqrt{T}}{\sqrt{T_p} \sqrt{N}} \quad (4)$$

$$S = \frac{S_p (b - e_p) \sqrt{e^3} \sqrt{T}}{(b - e) \sqrt{e_p^3} \sqrt{T_p}} \quad (5)$$

$$S = \frac{S_p (b - e_p) \sqrt{e^3} \sqrt{T} \sqrt{N_p}}{(b - e) \sqrt{e_p^3} \sqrt{T_p} \sqrt{N}} \quad (6)$$

$$S = \frac{S_p G_p (b - e_p) \sqrt{e^3} \sqrt{T}}{G(b - e) \sqrt{e_p^3} \sqrt{T_p}} \quad (7)$$

$$S = \frac{S_p G_p (b - e_p) \sqrt{e^3} \sqrt{T} \sqrt{N_p}}{G(b - e) \sqrt{e_p^3} \sqrt{T_p} \sqrt{N}} \quad (8)$$

Donde:

- S: Superficie específica de la muestra de ensayo (cm²/g).
- S_p: Superficie específica de la muestra patrón (cm²/g).
- T: Tiempo determinado para la muestra en ensayo (seg.) (según Nota 8).
- T_p: Tiempo determinado para la muestra patrón (seg.) (según Nota 8).
- N: Viscosidad del aire a la temperatura a que se verifica la determinación sobre la muestra en ensayo (poises) (según Nota 8).

Nota 8: Los valores de \sqrt{N} , y $\sqrt{e^3}$ se toman de la **Tabla 6.3_27** y la **Tabla 6.3_28** respectivamente. Las fórmulas (3) y (4) se deben usar para cemento portland, cuando las porosidades de la muestra en ensayo y del patrón sean las mismas. En particular, se debe emplear la (3) si las temperaturas de dichas muestras no difieren en más de 3°C entre sí; y la (4), si ocurre lo contrario. Las fórmulas (5) y (6) se deben emplear para cemento Portland cuando las porosidades de las dos muestras aludidas sean distintas. La (5) se debe utilizar cuando las temperaturas no difieran en más de 3°C entre sí; y la (6) cuando la diferencia sea mayor. Las fórmulas (7) y (8) se deben usar para materiales distintos del cemento portland. La (7) en los casos en que las temperaturas de la muestra en ensayo y la patrón no difieran en más de 3°C entre sí; y la (8) en caso contrario. Se recomienda que los valores de b sean determinados sobre no menos de tres (3) muestras del material en cuestión. Ensáyese cada muestra a un mínimo de cuatro porosidades sobre un intervalo de porosidad de por lo menos 0,06. Los coeficientes de correlación deberán exceder el valor 0,9970 para la correlación de $\sqrt{e^3 T}$ versus e, sobre cada muestra ensayada.

- b. Para calcular los valores de superficie específica en m²/Kg., multiplíquese el área superficial en cm²/g por el factor 0,1.
- c. Aproxímense los valores en cm²/g a las 10 unidades más cercanas (m²/Kg. a la unidad más cercana).

Ejemplo: 3447 cm²/g y se redondea a 3450 cm²/g o 345 m²/kg.

6.3.2.2.5. INFORME

Para cementos portland o materiales basados en cemento portland, infórmense los resultados de una sola determinación sobre una sola capa de cemento.

Para materiales de finura muy alta, con intervalos de tiempo largos, infórmese el valor promedio de finura de dos ensayos de permeabilidad, siempre y cuando los dos no difieran más del 2% entre sí. Si difieren en más, repítase el ensayo hasta obtener dos valores que cumplan este requisito.

Nota 9: La amplia diferencia de resultados indica una necesidad de verificar el procedimiento y el aparato. Debe tenerse especial cuidado en la preparación de las capas de ensayo y deben tenerse precauciones para asegurar una conexión hermética entre la cámara de permeabilidad y el brazo del manómetro.

6.3.2.2.6. PRECISIÓN

Los resultados de dos ensayos efectuados por un mismo operador sobre una misma muestra no diferirán en más de 3,4% de su promedio.

Los resultados de dos ensayos efectuados en laboratorios distintos sobre una misma muestra no diferirán en más de 6% de su promedio.

Tabla 6.3_27. PESO ESPECÍFICO DEL MERCURIO, VISCOSIDAD DEL AIRE (N) Y v_n A ALGUNAS TEMPERATURAS

Temperatura ambiente °C	Densidad mercurio (g/cm)	Viscosidad del aire (N) (poises)	v_n
16	13,56	0,0001788	0,01337
18	13,55	0,0001798	0,01341
20	13,55	0,0001808	0,01345
22	13,54	0,0001818	0,01348
24	13,54	0,0001828	0,01352
26	13,53	0,0001837	0,01355
28	13,53	0,0001847	0,01359
30	13,52	0,0001857	0,01363
32	13,52	0,0001867	0,01366
34	13,51	0,0001876	0,01370

Tabla 6.3_28. POROSIDAD DE LA CAPA DE CEMENTO

Porosidad de la capa, e	$v(e^3)$	Porosidad de la capa, e	$v(e^3)$
0,495	0,348	0,509	0,363
0,496	0,349	0,510	0,364
0,497	0,350		
0,498	0,351		
0,499	0,352	0,525	0,380
		0,526	0,381
		0,527	0,383
0,500	0,354	0,528	0,384
0,501	0,355	0,529	0,385
0,502	0,356		
0,503	0,357		
0,504	0,358	0,530	0,386
		0,531	0,387
		0,532	0,388

0,505	0,359	0,533	0,389
0,506	0,360	0,534	0,390
0,507	0,361	0,535	0,391
0,508	0,362		

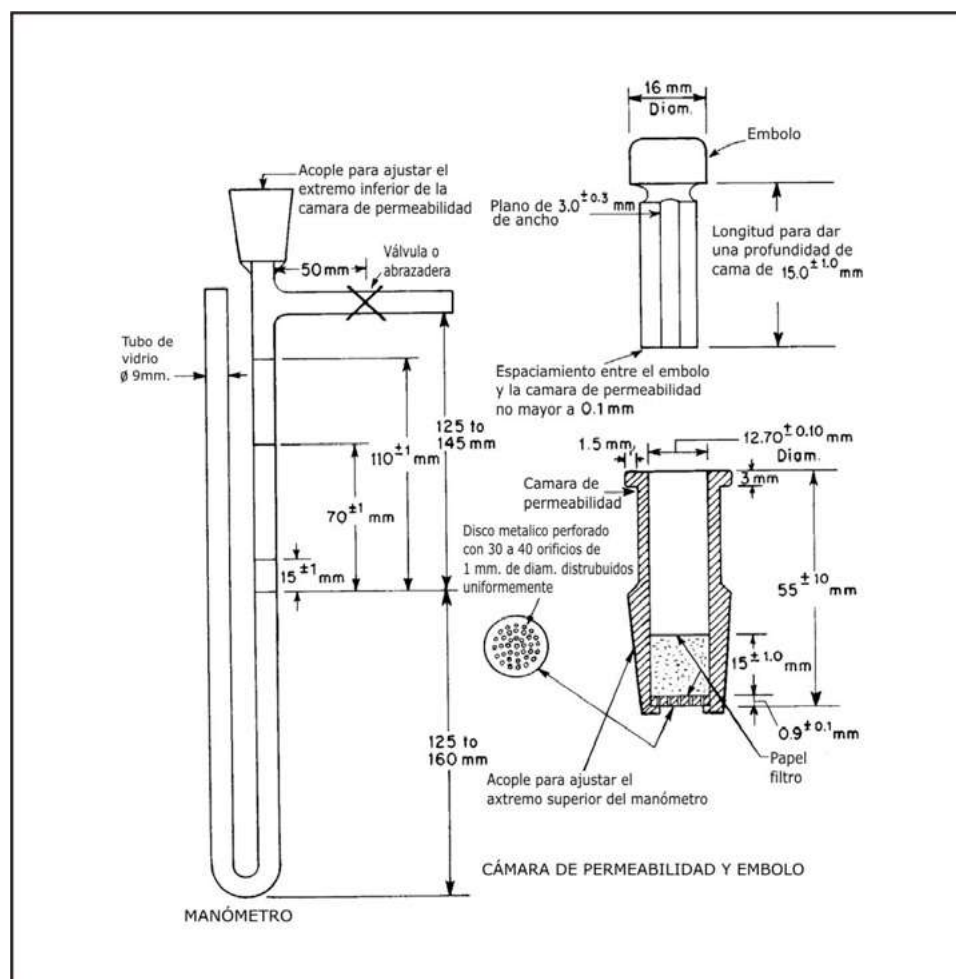


Figura 6.3_14. APARATO BLAINE

SECCION 6.3.2.3.

FINURA DEL CEMENTO PÓRTLAND MÉTODO DEL TURBIDÍMETRO (ASTM C 115 AASHTO T98)

6.3.2.3.1. OBJETO

El método de ensayo para determinar la finura del Cemento Portland por medio del turbidímetro de Wagner, expresando la finura como el área de la superficie total en cm^2/g de cemento.

6.3.2.3.2. EQUIPO Y MATERIALES

B.1. Turbidímetro de Wagner

Consiste fundamentalmente en una fuente de luz de intensidad constante, ajustada de tal manera que produce un haz de rayos paralelos que pasa a través de una muestra de cemento en suspensión y llega a una fotocelda. La corriente generada por la fotocelda se debe medir con un microamperímetro cuya lectura indica la medida de la turbidez de la suspensión.

En forma general, la turbidez es una medida del área superficial de la muestra de cemento en suspensión. El aparato consiste fundamentalmente de las partes descritas a continuación y se debe construir de acuerdo al diseño y dimensiones detalladas en la Figura 6.3_ 15. La caja puede ser de madera o de metal.

El Turbidímetro comprenderá los siguientes elementos:

a) Fuente de luz

Consiste en una lámpara eléctrica de filamento concentrado y de 3 a 6 candelas, montada rígidamente y operada por una fuente de voltaje constante, provista de un reflector parabólico montado rígidamente a la lámpara y enfocado de tal manera que los rayos paralelos pasen por el tanque de sedimentación y lleguen hasta la fotocelda. La intensidad se debe regular por medio de dos reóstatos de aproximadamente 6 y 30 ohms respectivamente, cuyas características deben permitir variar la intensidad luminosa de manera uniforme. Estos reóstatos se deben montar en serie con la lámpara y en paralelo entre sí.

b) Dispositivo absorbente de calor

La luz debe pasar por este dispositivo antes de penetrar al tanque de sedimentación con el fin de absorber el calor radiante. El dispositivo puede ser: a) cámara de agua ó b) filtro especial de vidrio absorbente de calor. La cámara consiste en una tubería de bronce de 76 mm (3") de diámetro y 102 mm (4") de longitud, con ventanas de vidrio selladas en los extremos con un material adecuado. Se debe proveer de un orificio con tapón para el llenado con agua destilada.

La cámara se debe colocar entre la fuente de luz y el tanque de sedimentación.

c) Filtro de Luz

Puede ser un filtro de vidrio, u otro aparato que reduzca la intensidad de la luz de la correspondiente a 100 microamperios hasta la de 20 a 30 microamperios. La reducción se debe hacer uniforme en toda la zona de la celda expuesta durante el ensayo. El filtro

deberá estar montado en un carrete sobre el elevador que le permitirá ser desplazado del haz de luz mediante una manija.

d) Tanque de sedimentación

El tanque de sedimentación deberá ser: a) construido con placas de vidrio de 4,8 mm a 6,4 mm (3/16" a 1/4") de espesor para formar un tanque rectangular o b) un tanque de vidrio moldeado con paredes de 4,8 mm (3/16") de espesor y superficies planas y pulidas.

Las dimensiones interiores del tanque rectangular deben ser de $50 \pm 0,8$ mm (2 ± 0.03 ") x $38 \pm 0,8$ mm (1.5 ± 0.03 ") x $203 \pm 2,5$ mm (8 ± 0.10 ") de altura.

Las paredes de 50 mm (2") deben ser paralelas con tolerancia de 0,3 mm (0,01"). El tanque debe llevar una marca que indique un volumen de 335 ml que corresponde al nivel libre del petróleo durante el ensayo. Un tanque lleno hasta la marca con Kerosene claro y colocado ante el rayo de luz del turbidímetro, debe presentar lecturas uniformes del microamperímetro, con un rango de $\pm 0,1$ μ A, para toda la parte útil del tanque.

e) Fococelda

El medio de medición de la intensidad luminosa debe ser una fococelda, conectada directamente al microamperímetro, provista de una cubierta con una ventanilla de 12,7 mm (1/2") de alto por 35 mm (1 3/8") de ancho y colocada a 25 ± 2 mm ($1 \pm 1/16$ ") de la fococelda. La cara de la fococelda debe ser paralela a las caras del tanque con tolerancia de 0,5 mm (0,02").

f) Limitador del haz luminoso

Una lámina metálica con una ventanilla de 16 mm (5/8") de alto por 38 mm (1 1/2") de ancho, como se indica en la **Figura 6.3_ 15** colocada entre la cámara de agua y el tanque de sedimentación.

g) Elevador

La fuente de luz, la cámara de agua, la fococelda, el filtro retardador y la valla protectora, se deben montar sobre una repisa móvil, la cual se puede subir o bajar por medio de tornillos para determinar la turbidez de la suspensión a cualquier profundidad. Los centros de la fuente de luz, del dispositivo absorbente de calor, de la fococelda, y los de las ventanillas del limitador de haz luminoso y de la cubierta de la fococelda deberán estar en línea recta, paralela al elevador.

El tanque de sedimentación se debe colocar sobre una base independiente al resto del aparato para evitar las vibraciones causadas por el movimiento de la repisa. Se debe tener el cuidado de que la repisa esté nivelada y el tanque normal a ella. La distancia entre el tanque y los ejes del vano en la repisa no deben variar en más de 0,4 mm (1/64") entre las posiciones 30 - 50 y 0.

El nivel del rayo de luz con relación a la superficie de suspensión se debe señalar por medio de un indicador desplazable a lo largo de la escala montada en el gabinete. El cero de la escala debe indicar la posición de la línea central de la ranura cuando el rayo de luz esté al nivel de los 335 ml. Las marcas correspondientes a 7,5; 10; 15; 20; 25 y 30 a 50, se deben localizar a partir de la marca cero de la escala, a distancias iguales a los valores dados en la **Tabla 6.3_ 29**.

La escala, cuando es comparada con una escala estándar, con precisión de 0,1 mm en todos los puntos, no deberá mostrar una desviación en cualquier punto, superior a los 2,5

mm y deberá indicar la posición a la cual la aguja deberá localizarse cuando las lecturas de turbidez para estos valores de h son tomadas. El interior del gabinete del Turbidímetro, las caras exteriores de la repisa, el reflector parabólico, la cámara de agua, la valla protectora y la fotocelda se deben pintar de negro opaco.

Tabla 6.3_29. VALORES DE H, D Y H/D² EMPLEADOS EN LA CALIBRACIÓN DEL TURBIDIMETRO

Diametro de las partículas d(μm)	Profundidad de suspension h(cm)	h/d ²
50	15	0,00600
45	15	0,00741
40	15	0,00938
35	15	0,01224
30	15	0,01667
25	13,1	0,0210
20	10	0,0250
15	6,6	0,0293
10	3,3	0,0330
7,5	2,1	0,0373

B.2. Microamperímetro

a) Tipo D'Arsonval

Debe tener una escala graduada de 0 a 50 μA que permita lecturas de 0,1 μA. Los microamperímetros nuevos deben tener una exactitud de ± 0,5% del valor de la escala total en cualquier parte de la misma y a 25°C (77°F); en microamperímetros usados, la exactitud debe ser la misma de los aparatos nuevos excepto que la exactitud correspondiente a 40 y 50 μA debe ser de ± 1% la escala total. El microamperímetro no se debe colocar sobre una superficie de hierro o acero, ni cerca a cualquier influencia magnética.

b) Microamperímetro digital

Nota 1: Un medidor con una amplitud de 199,9 μA es satisfactorio y permite al operador leer lo teórico directamente, sin dispositivos adicionales. La alta resistencia interna que tiene el microamperímetro digital, no afecta la linealidad de las lecturas a los niveles de intensidad altos encontrados en una determinación turbidimétrica de la finura.10. La fuente de energía puede ser una batería de automóvil de 6 voltios o una fuente de fuerza electromotriz constante para suministrar corriente a la lámpara.

B.3. Tamices

B.4. Agitador

Puede ser un cepillo cilíndrico de 19 mm (3/4") de diámetro y 45 mm (1 3/4") de longitud, con el extremo que se ajuste aproximadamente al contorno del fondo de un tubo de ensayo de 22 mm (7/8") de diámetro, o cualquier otro agitador que sea igualmente eficiente en la dispersión medida por la determinación de la superficie específica en una muestra patrón; el agitador debe girar aproximadamente a 3500 rpm.

B.5. Bureta para medir el tiempo

El tiempo de asentamiento para los diferentes tamaños de partícula se debe obtener en una bureta de la cual fluya kerosene.

Tabla 6.3_30. DIMENSIONES DE LA BURETA

	Dimensión (cm)	Tolerancia (cm)
Longitud del tubo mayor	38	±4
Diámetro interior del tubo mayor	1,9	±0,2
Longitud del capilar	17,5	±2,5
Dimetro del capilar	0,09	±0,005
Distancia de la parte superior de la bureta hasta la marca cero	7,0	±1

La bureta consiste en un tubo de vidrio, con un capilar fundido en el extremo inferior y con el extremo superior ensanchado para que sirva como embudo y se facilite introducir el kerosene en él. La bureta debe cumplir con las dimensiones dadas en la **Tabla 6.3_30** y sus líneas de graduación deben ser círculos. Se debe usar con la bureta un filtro hecho con malla de 45 µm.

Cuando la bureta no esté en uso se le debe colocar una tapa.

B.6. Líquido de suspensión.

Se debe usar kerosene transparente y claro. El kerosene utilizado no se debe volver a usar.

6.3.2.3.3. CALIBRACIÓN DEL TURBIDÍMETRO

Se debe calibrar de acuerdo con el siguiente procedimiento:

B.1. Calibración de la escala de la bureta.

Se debe usar kerosene con viscosidad y densidad conocida para la temperatura a la cual se hace la calibración. Se deben calcular los tiempos de flujo de la bureta que corresponden a los de sedimentación para los diferentes tamaños de partículas de acuerdo a la siguiente ecuación

$$t = \frac{1.837.000\mu}{P_1 - P_2} \times \frac{h}{d^2}$$

Donde:

- t: Tiempo de asentamiento o de flujo (s).
- µ: Viscosidad del kerosene a la temperatura de calibración (poises).
- P₁: Densidad de las partículas de cemento (g/cm³) (3,15 para el cemento portland).
- P₂: Densidad del kerosene a la temperatura de calibración (g/cm³).
- h: Profundidad de la suspensión al nivel de la luz (cm).
- d: Diámetro de la partícula (µm).

Los valores de h/d^2 están dados en la **Tabla 6.3_ 29**

Se debe llenar la bureta con kerosene a la temperatura de calibración y anotar el tiempo de iniciación en el momento en que el kerosene señala la marca cero; se señalan los niveles alcanzados por el kerosene para cada uno de los tiempos t , calculados como se indicó anteriormente, mediante líneas y números grabados sobre la bureta, que indiquen los diámetros correspondientes (**Nota 2**). La construcción y graduación de la bureta debe ser tal que a la temperatura de calibración, el tiempo requerido para que el kerosene pase por las marcas permanentes de la bureta, coincida con el tiempo calculado de sedimentación con aproximación de 1%, pero la variación permisible no debe ser menor de 1 segundo.

Nota 2: Empleando la bureta graduada, el aparato se puede usar dentro de la escala normal de la temperatura ambiente sin una corrección apreciable; el cambio en la velocidad de flujo del kerosene de la bureta queda compensado por el cambio de la viscosidad en la suspensión debido a la temperatura. El kerosene de la bureta y la suspensión, se deben mantener a la misma temperatura, con una variación de $\pm 0.5^\circ\text{C}$; generalmente se cumple con ésta condición, si se guardan en el mismo sitio el kerosene y el aparato. Se debe tener gran cuidado en usar solamente kerosene limpio, libre de cualquier elemento extraño. Con estas mismas características deberá conservarse el capilar.

- Calibración del tamiz de $45\ \mu\text{m}$ (No. 325). Debe hacerse lavando 1 g de muestra estándar No.114 (National Institute of Standards and Technology) sobre el tamiz de $45\ \mu\text{m}$ (No. 325) durante un minuto.

Se secan tamiz y residuo al horno o sobre una plancha caliente, se cepilla el residuo del tamiz y se pesa en una balanza analítica. El factor de corrección es la diferencia entre la cantidad de residuo medida y la indicada por la finura especificada para la muestra estándar (% del residuo medido).

- Determinación de la intensidad de la luz apropiada, "I_o". Se debe llevar a cabo la calibración adecuada del turbidímetro, ajustando la intensidad de la luz "I_o". Aumentando la intensidad de la luz se reduce el área superficial calculada de cualquier muestra y viceversa.

Siguiendo el procedimiento regular de ensayo, con la luz ajustada a un valor de prueba de $25\ \mu\text{A}$ a través del filtro, se hace una determinación de la superficie específica usando la muestra estándar No.114 (National Institute of Standards and Technology); si se obtiene una superficie específica mayor que la señalada por la muestra patrón, se aumenta la intensidad de la luz a través del filtro, se vuelve a agitar la suspensión y se repite el análisis.

Si se obtiene una superficie específica menor que el valor señalado, se disminuye la intensidad de la luz, se vuelve a agitar la suspensión y se repite el análisis. Remuévase el tanque y registre-se la intensidad a través del filtro.

Con nuevas suspensiones, se repite el procedimiento anterior dos veces y se anota el promedio de las tres intensidades. Al encontrar una intensidad que dé como resultado una superficie específica promedio de las tres determinaciones dentro de $\pm 15\ \text{cm}^2$ del valor asignado a la muestra patrón, se ajusta la luz a este valor promedio y se coloca un tanque con kerosene puro en la trayectoria de los rayos. Se anota la intensidad a través del filtro y del tanque de kerosene.

Este es el valor de referencia permanente para la intensidad de la luz; al principio de cada ensayo se ajustan los reóstatos hasta obtener la intensidad de referencia estando colocado el filtro y el tanque de sedimentación con kerosene puro.

6.3.2.3.4. MUESTRA DE ENSAYO

B.1. Tamaño de la muestra

La muestra de cemento para el ensayo se debe seleccionar para que las lecturas en el microamperímetro se presenten en la parte media de la escala.

- Las siguientes aproximaciones son útiles en muchos casos al seleccionar el tamaño de una muestra; una muestra de 0,3 g para un cemento que pase más de 85% por el tamiz de 45 μm (No.325); una muestra de 0,4 g para un cemento que pase entre 70% y el 85% y una muestra de 0,5 g para un cemento que pase menos del 70%.

6.3.2.3.5. PROCEDIMIENTO

1. Tamizado

Se debe pasar por el tamiz de 45 μm (No.325) una muestra de 1 g de cemento, de acuerdo con el procedimiento utilizado para la calibración. Se debe anotar el porcentaje corregido de cemento que pasa el tamiz como r (numeral 12).

Después de tres determinaciones, se debe sumergir el tamiz en HCl diluido (1:10) e inmediatamente lavarse con agua para eliminar las partículas retenidas en la malla. Después de 25 determinaciones, se debe calibrar el tamiz nuevamente.

2. Preparación de la suspensión

Se debe colocar la muestra de cemento en un tubo de ensayo con 10 a 15 ml de kerosene y 5 gotas del dispersante (ácido oléico o aceite de linaza envejecido, ver **Nota 3**). Se agita la muestra durante 1 minuto con el agitador y luego se lleva al tanque de sedimentación.

Se lava el cepillo y el tubo de ensayo con kerosene puro, haciendo girar el agitador y este kerosene se agrega a la suspensión; luego se adiciona kerosene puro hasta que el volumen total de la suspensión en el tanque sea 335 ml. Deben limpiarse las caras del tanque.

Nota 3: Si se usa ácido oléico, debe ser de grado USP. Si se usa aceite de linaza debe tener un peso específico de 0,948 a 0,953. Estos dispersantes no afectan la viscosidad del kerosene, pero pueden cambiar con el tiempo o con la exposición al calor y a la luz; por consiguiente, deben mantenerse en frascos bien tapados y de paredes oscuras. Cuando se usen frascos goteros, deben vaciarse, limpiarse, secarse y llenarse con ácido oléico fresco periódicamente. Cuando se obtenga una dispersión pobre con el ácido oléico o cuando se produzca espuma en la suspensión, motivada por posibles rastros de agua en el kerosene, se debe usar aceite de linaza envejecido como dispersante. Se debe usar el mismo agente dispersante para la calibración del aparato y la determinación de la finura.

3. Agitación de la suspensión

Antes de colocar el tanque en la trayectoria del haz luminoso, se debe agitar el contenido para lograr la suspensión uniforme. El tanque se debe cubrir con una tapa de vidrio esmerilado y se oscila 180° alrededor de un eje horizontal que pase a través del centro del tanque, aproximadamente 60 veces durante 1 minuto (no se deberá oscilar de otra forma), evitando la pérdida de kerosene (**Nota 4**). La suspensión estará entonces lista para colocarla en la posición adecuada en la trayectoria del haz luminoso.

Nota 4: La tapa del tanque deberá ajustarse de tal forma que no fluya kerosene por las paredes externas del tanque. Las caras del tanque de vidrio deberán estar limpias cuando la solución sea añadida, y deberá evitarse limpiar las caras hasta que se complete la de-

terminación.

4. Operación del Turbidímetro

Se debe colocar en la trayectoria de la luz, el filtro retardador y el tanque de sedimentación con aproximadamente 100 ml de kerosene puro y se ajusta la luz a la intensidad adecuada “I₀”; se toman lecturas a intervalos de 1 minuto hasta que se obtenga un valor constante que indique el equilibrio entre la lámpara y la fotocelda (**Nota 5**). Retírese el tanque, verifíquese y regístrese la intensidad de la lámpara.

Nota 5: Para proteger el microamperímetro, la lámpara solo se debe encender con el tanque listo para el ensayo o con el filtro retardador, para reducir la intensidad de la luz a un valor dentro de la escala del microamperímetro. Una batería recién cargada debe ponerse momentáneamente en corto circuito para reducir el voltaje a un valor constante. Si el microamperímetro continúa fluctuando, se debe comprobar si las instalaciones eléctricas están correctas.

La muestra de cemento se debe pesar de acuerdo al procedimiento establecido y se prepara una suspensión de acuerdo con el numeral correspondiente.

El indicador del nivel de la plataforma se debe colocar en una posición entre 30 y 50 μm. Se debe llenar la bureta con kerosene hasta la altura calibrada, usando éste del mismo lote y a la misma temperatura del empleado en la suspensión y se inicia la oscilación del tanque que contiene la suspensión como se indica en el tópico “agitación de la suspensión” en el numeral 3.

Se continúa la oscilación hasta que el kerosene llegue al cero de la bureta; entonces debe cesar la agitación e inmediatamente se debe colocar en posición de ensayo. La tapa se debe ajustar de manera que el kerosene no salga del tanque. Inmediatamente se debe retirar el filtro retardador de la trayectoria de la luz y cerrar la puerta del gabinete.

Se debe leer el microamperímetro con precisión de 0.1 μA, en el momento que el kerosene pase las marcas 50, 45, 40, 35 y 30 de la bureta. Luego se debe levantar la plataforma sucesivamente hasta las marcas 25, 20, 15, 10 y 7.5 de la escala indicadora, leyendo el microamperímetro cuando el kerosene pase las correspondientes marcas en la bureta.

Se vuelve a colocar el filtro en la trayectoria de la luz, se retira el tanque y se comprueba la intensidad de la lámpara. Si la indicación del microamperímetro varía en más de 0.3 μA de la lectura inicial a través del filtro solo, se repite el ensayo.

6.3.2.3.6. CÁLCULOS

5. Superficie específica

Se debe calcular mediante la siguiente ecuación:

$$S = \frac{38r(2 - \log l_{50})}{1,5 + 0,75 \log l_{7,5} + \log l_{10} + \log l_{15} + \log l_{45} - 9,5 \log l_{50}}$$

Donde:

S: Superficie específica de la muestra (cm²/g).

r: Porcentaje corregido en peso que pasa el tamiz de 45 μm (Nº 325).

$I_{7,5}; I_{10}; I_{15} \dots I_{50}$: Lectura en μA , correspondientes a partículas de diámetro 7,5; 10; 15...50 μm

Nota 6: El factor constante 38 sólo se debe aplicar a un material que tenga el peso específico del cemento portland (3,15 aprox.). Para cualquier otro material se debe calcular adecuadamente el valor correspondiente para este factor, el cual, derivando la fórmula, varía inversamente con la densidad de las partículas, en g/cm^3 .

6. Anotación de los datos.

En este numeral, se indica la forma aconsejada para Anotar los datos del ensayo del turbidímetro y el cálculo de la superficie específica.

Ejemplo

Los valores dados son solamente ilustrativos.

Identificación de la muestra	Muestra X
Pasa tamiz de 45 μm (Nº 325), r corregido	9,5 %
Filtro de referencia (únicamente a través del filtro)	
Después del ensayo	20,5 μA
Antes del ensayo	20,5 μA
Peso de la muestra ensayada	0,3 g

Tabla 6.3_31. EJEMPLO DE ANOTACIÓN DE DATOS

Tamaño de las partículas μm	I (μA)	Log. I
50	11,1	1,045 (a)
45	11,5	1,061
40	11,7	1,063
35	12,1	1,083
30	12,6	1,100
25	13,4	1,127
20	14,4	1,158
15	15,7	1,196
10	19,1	1,281
7,5	23,0	1,362 (a)

$$0,75 \times 1,362 \quad 1,022$$

$$\quad \quad \quad 1,500$$

$$\text{Suma} \quad 11,591$$

$$9,5 \times 1,045 \quad 9,928$$

$$\text{Diferencia} \quad 1,663$$

$$S = \frac{38 \times 89,5 \times 0,955}{1,663} = 1,953 \text{ cm}^2/\text{g}$$

(a) Por conveniencia en los cálculos, el $\log I_{50}$ y el $\log I_{7,5}$ se anotan en la columna separada.

7. Cálculo de la superficie específica con base en la primera lectura I50.

Este método se puede usar para determinaciones sucesivas de una misma planta, siempre que se use el mismo tamaño de muestras de ensayo y que no haya gran cambio en la finura, color y otra propiedad del cemento. Bajo estas condiciones, la superficie específica de una muestra se puede calcular con la primera lectura I50, usando la siguiente ecuación:

$$S = C(2 - \log I_{50})$$

Donde:

S: Superficie específica de la muestra (cm^2/g).

I_{50} : Lectura del microamperímetro correspondiente a una partícula de diámetro de $50\mu\text{m}$.

C: Constante de transmisión para la planta en particular.

Nota 7: La constante de la transmisión C, se puede evaluar sustituyendo en la ecuación anterior los valores conocidos de S y $(2 - \log I50)$ calculados de un ensayo completo de turbidímetro. En la ecuación anterior debe usarse el promedio de no menos de cinco valores de C.

- Si la finura de la muestra, como se determina según el numeral 8, falla en cumplir los requisitos establecidos para la finura, deberá efectuarse otro ensayo mediante el procedimiento completo de los numerales 15; 16 y 17.

6.3.2.3.7. PRECISIÓN

- Los resultados de dos ensayos efectuados por un mismo operador, sobre una misma muestra, no diferirán en más de 7,3% de su promedio.
- Los resultados de dos ensayos efectuados en laboratorios distintos, sobre una misma muestra, no diferirán en más de 11,5% de su promedio.

6.3.2.3.8. APÉNDICE - INDICACIONES COMPLEMENTARIAS

- Para investigación o propósito (u objetos) de comparación, la distribución del tamaño de las partículas puede ser tomada de un valor mínimo de $7,5 \mu\text{m}$.
- El cálculo de la distribución del tamaño de las partículas se hace de acuerdo con la Tabla 6.3_32, donde se desarrolla un ejemplo ilustrativo.

$$F = \frac{r}{\sum(d_1 \times diferencia)} = \frac{89,5}{8,476} = 10,559$$

Fracciones porcentuales= F x diferencia

Tabla 6.3_32. EJEMPLO DE CÁLCULO DE DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS

Tamaño de las partículas (μm)	I (μA)	Log. I	Diferencia	Tamaño de las partículas d ₁ (μm)
50	11,1	1,045	0,016	47,
45	11,5	1,061	0,007	42,5
40	11,7	1,063	0,015	37,5
35	12,1	1,083	0,017	32,5
30	12,6	1,100	0,027	27,5
25	13,4	1,127	0,031	22,5
20	14,4	1,158	0,038	17,5
15	15,7	1,196	0,085	12,5
10	19,1	1,281	0,081	8,8
7,5	23,0	1,362	0,639	3,8
0	(100,0)	(2.000)		

Tabla 6.3_33. EJEMPLO DE CÁLCULO DE DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULAS

d ₁ x Diferencia	Peso %	
	Fracción	Acumulativo
0,760	8,02	89,5
0,298	3,15	81,3
0,562	5,93	78,3
0,552	5,83	72,4
0,742	7,83	66,6
0,698	7,37	58,7
0,665	7,02	51,4
1,062	11,21	44,3
0,713	7,53	33,1
2,424	25,60	25,6
8,476		

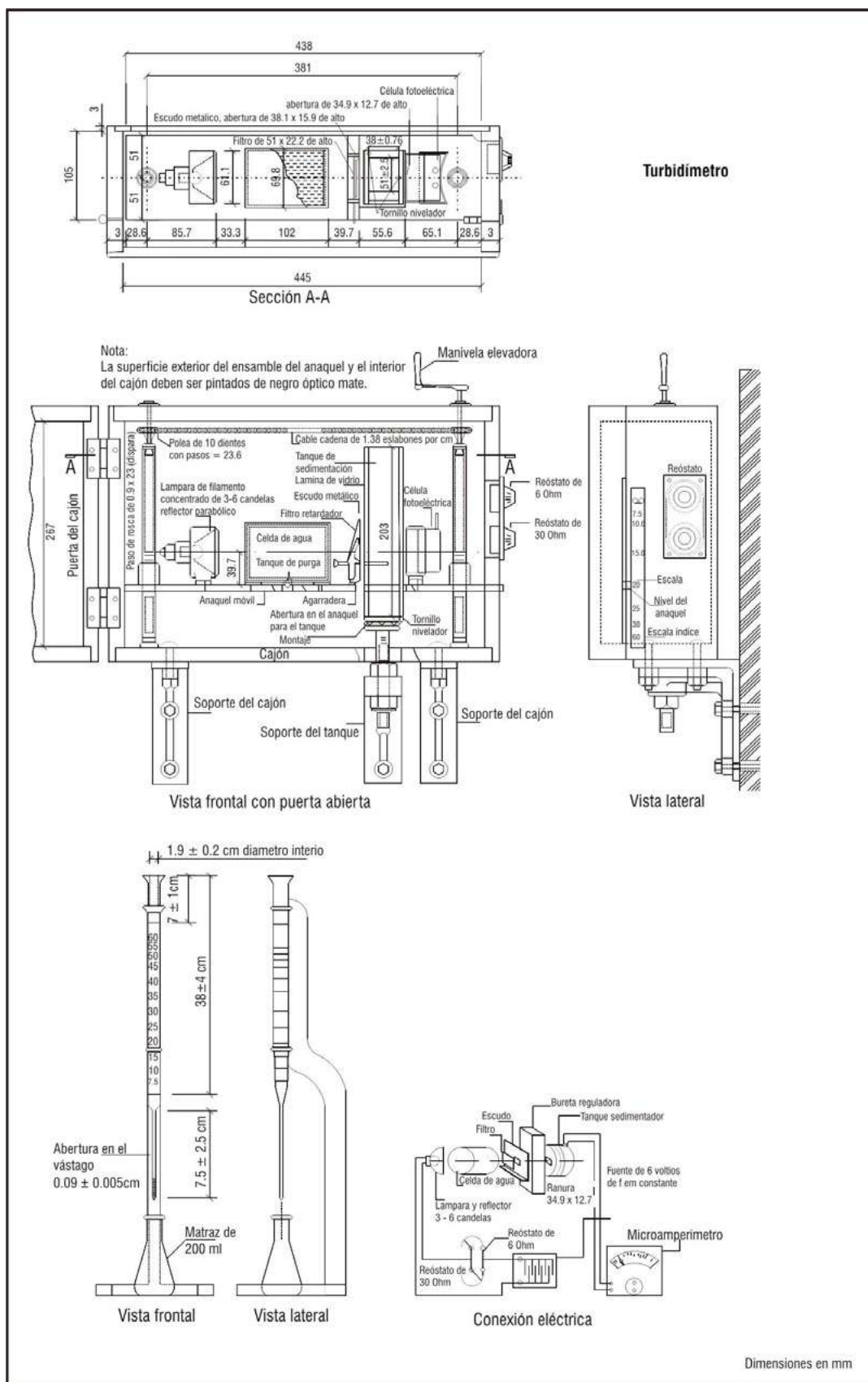


Figura 6.3_15. TURBIDÍMETRO

SECCION 6.3.2.4.

EXPANSIÓN DEL CEMENTO EN EL AUTOCLAVE (ASTMC 151 AASHTO T107)

6.3.2.4.1. OBJETO

Este método tiene por objeto establecer el método de ensayo para determinar la estabilidad del volumen de muestras de pastas de cemento puro, al ser sometidas a tratamientos en autoclave. El ensayo de expansión en el autoclave proporciona un índice de la expansión potencial demorada causada por la hidratación del CaO, o del MgO, o de ambos.

6.3.2.4.2. EQUIPO Y MATERIALES

B.1. Balanzas y pesas

La precisión de las balanzas bajo una carga de 1.000 g debe ser de ± 1 g.

B.2. Probetas graduadas

Deben tener una capacidad hasta de 250 ml. La precisión debe ser de ± 1 ml, a 20°C. La graduación de las probetas puede comenzar a partir de 5 ml.

B.3. Moldes

Pueden ser sencillos o dobles ver **Figuras 6.3_34 a 6.3_36** y deben suministrar muestras en forma de paralelepípedo, de sección cuadrada de 25,4 mm (1") de lado y longitud efectiva de 254 mm (10").

La longitud efectiva es la distancia entre los topes de medida ajustables.

Al montarse los moldes, sus partes deben hacer un ajuste hermético y deben mantenerse firmemente unidas.

Los moldes deben fabricarse de acero u otro metal duro inalterable por el cemento; sus paredes deben ser suficientemente rígidas para evitar que la muestra se deforme y sus placas terminales deben construirse de modo que alojen los topes de medida. La distancia entre las caras opuestas de los moldes debe ser de $25,4 \pm 0,8$ mm (1 ± 0.03 ") y su altura, medida separadamente para cada compartimiento, debe ser de $25,4 \pm 0,8$ mm (1 ± 0.03 ") tanto para moldes en uso como para nuevos.

B.4. Topes de medida

Deben ser de acero inoxidable adecuado y su sección debe ser circular, con diámetro de 6,4 mm ($\frac{1}{4}$ "). Deben colocarse de manera que su eje principal coincida con el eje principal de la muestra, que se introduzca dentro de ellas 16 mm y que la distancia entre sus extremos interiores, sea de $25,4 \pm 2,5$ mm (1 ± 0.1 ").

B.5. Paleta de albañil

Deben usarse palustres de acero, cuyas paletas tengan de 100 a 150 mm (4 a 6") de longitud.

B.6. Autoclave

Está constituido por una cámara de vapor de agua a alta presión con los siguientes aditamentos: una válvula de desfogue de aire y de vapor; una unidad de calefacción; un regulador automático de presión; una válvula de seguridad o un disco de seguridad y un manómetro. Tiene, además,

un receptáculo que permite introducir un termómetro para medir la temperatura del vapor saturado.

La potencia de la unidad de calefacción debe ser suficiente, para elevar la presión manométrica del vapor de agua saturado a $2,0 \pm 0,07$ MPa (295 ± 10 lb. /pulg².), en un tiempo comprendido entre 45 y 75 minutos, después de ser puesta en funcionamiento, estando el autoclave con la máxima carga, o sea con el agua y las muestras. El regulador automático de presión debe ser capaz de mantener la presión manométrica por lo menos durante 3 horas, en $2,0 \pm 0,07$ MPa (295 ± 10 lb. /pulg².), que corresponde a una temperatura de vapor saturado de $215,7 \pm 1,7^\circ\text{C}$ ($420 \pm 3^\circ\text{F}$).

El autoclave debe ser diseñado para permitir que, una vez suprimida la calefacción, la presión descienda a menos de 0,07 MPa (10 lb. /pulg².), en un plazo de 90 minutos. La válvula de desfogue debe permitir el escape del aire cuando comienza el calentamiento e igualmente la eliminación de cualquier presión que pueda quedar al término del período de enfriamiento.

El manómetro debe tener un tablero con diámetro de 114 mm (4½") y debe estar graduado hasta por lo menos 4,1 Mpa (600 lb. /pulg².), con subdivisiones no mayores de 0,05 MPa (5 lb. /pulg²). La precisión del manómetro no debe ser mayor de 0,02 MPa (± 3 lb. /pulg².), a la presión de trabajo de 2 MPa (295 lb. /pulg².)

- El disco de seguridad deberá ser hecho de un material con una resistencia a la tensión que sea relativamente insensible a la temperatura, en el intervalo de 20 a 216°C (68 a 420°F); y deberá reventar a una presión de 2,4 MPa (350 lb. /pulg².) $\pm 5\%$. En lugares donde no se permita el uso del disco de seguridad, el autoclave deberá disponer de una válvula de seguridad.

B.7.Comparador de longitudes

El comparador para medir cambios de longitud debe tener un diseño que reúna las siguientes condiciones:

- Medios efectivos de contacto con los topes de medida de la muestra que aseguren la reproducción de las medidas de longitud.
- Un micrómetro, graduado para hacer lecturas en unidades de 0,0025 mm (0.0001"), que tenga una precisión de 0,0025 mm (0.0001") dentro de variaciones de longitud de 0,025 mm (0.0010") y de 0,005 mm (0.0020") dentro de variaciones de longitud de 0,25 mm (0.0100").
- Suficiente margen de operación para poder medir las posibles variaciones en la longitud de las muestras.
- Facilidad para realizar las medidas rápida y cómodamente.
- Posibilidad de controlar el aparato de medida a intervalos periódicos con un patrón de referencia.

Nota 1: El patrón de referencia está constituido por una barra de acero de longitud total $295,275 \pm 1,587$ mm ($11\ 5/8'' \pm 1/16''$). Su coeficiente de dilatación lineal no debe ser mayor de $1,8 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$. Los extremos de la barra deben poder adaptarse a los del comparador y deben ser tratados térmicamente antes de pulirlos. En la parte media de la barra patrón, debe colocarse un tubo de caucho de 100 mm (4") de longitud y de por lo menos 3 mm (1/8") de espesor, para reducir el efecto del cambio de temperatura durante el manipuleo. La barra patrón debe tener una marca cerca a uno de sus extremos con el fin de colocarla en el comparador, siempre en la misma posición. El comparador debe controlarse con

la barra patrón antes y después de hacer las lecturas inicial y final para cada serie de muestras.

6.3.2.4.3. CONDICIONES GENERALES

La temperatura ambiente en la sala de trabajo, así como la de las herramientas y materiales, excepto la del agua, debe ser mantenida entre 20°C y 27,5°C (68 y 8°F). La temperatura del agua de mezcla debe ser de 23°C ± 1,7°C (73,4 ± 3°F). La humedad relativa del ambiente no debe ser menor de 50%.

B.1. Cámara húmeda.

Debe tener las dimensiones adecuadas para que las muestras puedan almacenarse con facilidad. Además, debe mantenerse a una temperatura de 23 ± 1,7°C (73,4 ± 3°F) y a una humedad relativa no menor de 90%

6.3.2.4.4. PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

El manómetro deberá tener una capacidad máxima de 4,1 MPa (600 lb. /pulg².). Esto es importante ya que, con una capacidad muy pequeña, solamente una pequeña longitud de arco queda para indicar presiones superiores a la presión máxima de trabajo. El operador deberá estar siempre seguro de que la manecilla del manómetro no sobrepase la máxima graduación de la escala.

A pesar de que el manómetro se encuentre calibrado y ensayado, úsese siempre el termómetro junto con él, para detectar cualquier falla del manómetro e indicar cualquier condición inusual.

6.3.2.4.5. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

B.1. Cantidad de especímenes

Normalmente debe prepararse un espécimen; pero cuando se necesite repetir un ensayo, se deben preparar tres.

B.2. Preparación de los moldes

Los moldes y los topes de medida se deben limpiar perfectamente; se arman los moldes y se recubren interiormente con una capa delgada de aceite mineral para que la muestra se pueda retirar con facilidad. Luego se colocan los topes en su sitio, cuidando que estén libres de aceite

B.3. Preparación de la pasta de cemento

Sobre una superficie pulida y no absorbente se coloca una muestra de unos 500 g en forma de cono y se le hace un hoyo en el centro. Se vierte en el hoyo una cantidad medida de agua limpia, suficiente para obtener una pasta de consistencia normal (**ver Sección 6.3.2.10**) y luego, con ayuda de la paleta de albañil, se pasa al hoyo el cemento seco que lo rodea exteriormente, empleando en esta operación 30 segundos. Durante los siguientes 30 segundos, mientras se permite la absorción del agua, el cemento que aún permanece seco en el exterior del cono, debe mezclarse suavemente usando el palustre con la pasta húmeda para reducir las pérdidas por evaporación y facilitar la completa absorción. Luego se termina la operación mezclando y amasando con las manos, continua y vigorosamente durante 90 segundos. En este último paso y en el siguiente, el operador debe usar guantes de caucho bien ajustados.

B.4.Llenado de los moldes

El llenado de los moldes debe hacerse tan pronto termina la operación anterior. Se colocan dos capas aproximadamente iguales, presionando la pasta con los dedos pulgares o índices para obtener el mejor llenado posible y cuidando de obtener una perfecta compactación alrededor de los topes de medida y a lo largo de la superficie del molde. Luego se retira la pasta sobrante pasando un palustre de bordes finos a ras del molde y, por último, se pule la superficie, deslizando suavemente el palustre.

B.5.Almacenamiento y fraguado

Inmediatamente después que termina la preparación de las muestras, se colocan los moldes en la cámara húmeda donde deben permanecer no menos de 20 horas; si las muestras se sacan de los moldes antes de 24 horas, deben colocarse de nuevo en la cámara húmeda hasta el momento de ser ensayadas

6.3.2.4.6. PROCEDIMIENTO

- a. Después de 24 horas \pm 30 minutos de iniciado el período de almacenamiento y fraguado, deben sacarse de las muestras de la cámara húmeda e inmediatamente medir su longitud, colocándolas luego en el autoclave a temperatura ambiente, de manera que todos sus lados queden expuestos a la acción del vapor. El autoclave debe contener suficiente agua a una temperatura inicial de 20 a 28°C (68 a 82°F) para mantener una atmósfera de vapor saturado durante todo el ensayo. Ordinariamente el agua debe ocupar de 7 a 10% del volumen del autoclave.
- b. Con el fin de evacuar el aire del autoclave al iniciar su calentamiento, la válvula de desfogue debe permanecer abierta hasta que comience a salir el vapor, luego se cierra ésta y se regula la calefacción del autoclave, de tal forma, que se obtenga la presión del ensayo 2 MPa (295 lb/pulg²), entre los 45 y 75 minutos siguientes al momento en que se inició la calefacción. Durante las 3 horas siguientes, la presión debe mantenerse en $2 \pm 0,07$ MPa. Al terminar ese período se suprime la calefacción y se enfría el autoclave, de manera que al cabo de 90 minutos la presión manométrica sea inferior a 0,07 MPa (10 lb/pulg²). La presión residual se elimina lentamente dejando escapar el vapor poco a poco por la válvula de desfogue, hasta alcanzar la presión atmosférica. Se abre entonces el autoclave y se colocan inmediatamente las muestras en agua que esté a más de 90°C (194°F); luego se disminuye la temperatura de manera uniforme por adición de agua fría, de modo que descienda a 23°C (74°F) en 15 minutos. Se mantiene esta temperatura por un período adicional de 15 minutos, al cabo del cual se retiran las muestras, se secan cuidadosamente y se mide nuevamente su longitud entre los extremos libres de los topes de medida.

Nota 2: Si se prefiere hacer todas las medidas a 26,5°C (80°F) se recomienda que, al retirar las muestras de la cámara húmeda, se coloquen en agua a 26,5°C (80°F) durante 15 minutos como mínimo. Luego se mide su longitud y se colocan en el autoclave. Retiradas de él y puestas en agua a más de 90°C, la temperatura de ésta debe hacerse descender en 15 minutos a 26,5°C (80°F); transcurrido un período adicional de 15 minutos (durante el cual la temperatura se mantiene constante) se retiran las muestras y se miden.

6.3.2.4.7. CÁLCULOS

- La longitud de cada muestra se mide antes y después del ensayo para determinar la diferencia, la cual se expresa en porcentaje de la longitud efectiva con aproximación de 0,01%. En caso de que haya contracción, el resultado se indica por un número negativo.

B.1.Reensayos.

Si el ensayo da un resultado desfavorable, se puede repetir el ensayo usando muestras nuevas, dentro de los 28 días siguientes al ensayo. En este caso, se deben ensayar tres muestras distintas y el promedio de los resultados obtenidos con ellas será la expansión del cemento al autoclave

6.3.2.4.8. PRECISIÓN

Operador individual: los resultados de dos ensayos efectuados por el mismo operador, sobre una misma muestra, no diferirán en más del 21% de su promedio.

Laboratorios distintos.

Los resultados de dos ensayos efectuados en laboratorios distintos, sobre una misma muestra, no diferirán en más del 47% de su promedio.

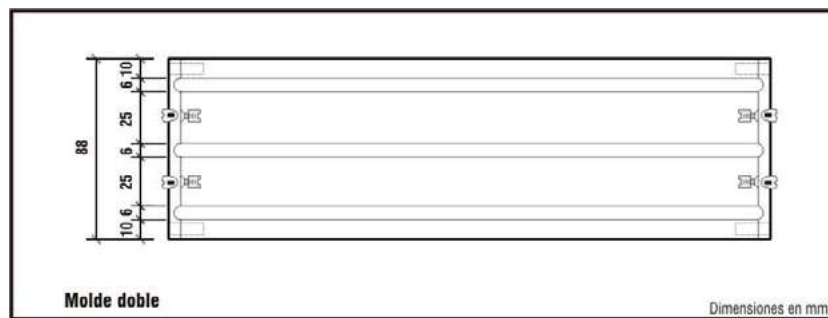


Tabla 6.3_34. MOLDE DOBLE.

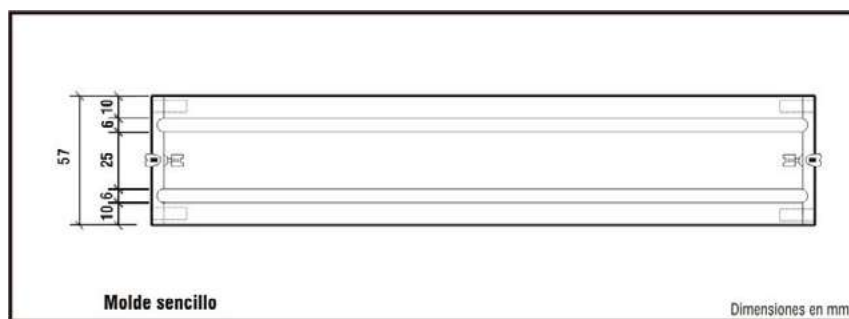


Figura 6.3_16. MOLDE SIMPLE.

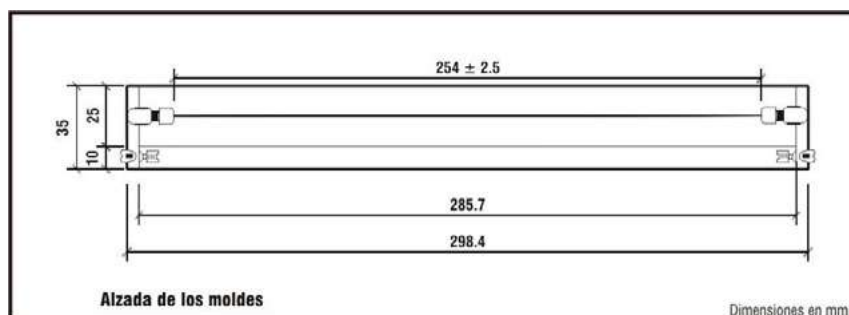


Figura 6.3_17. CALZADA DE LOS MOLDES.

SECCION 6.3.2.5.

TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO HIDRÁULICO MÉTODO DEL APARATO DE VICAT (ASTM C 191 AASHTO T131)

6.3.2.5.1. OBJETO

Este método tiene por objeto establecer el método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante el aparato de Vicat.

6.3.2.5.2. EQUIPO Y MATERIALES

1. Balanzas

Deben cumplir con los siguientes requisitos: la precisión para las balanzas en uso de baja carga de 1.000 g puede ser hasta de ± 1 g y para balanzas nuevas puede llegar hasta la mitad de dicho valor.

2. Probetas

Para medir el agua de amasado deben tener una capacidad a 20°C, de 150 a 250 ml. La precisión debe ser de ± 1 ml. Se pueden omitir las graduaciones para los primeros 5 ml en probetas de 150 ml y para los primeros 10 ml en las de 200 ml.

3. Aparato de Vicat

Debe cumplir con los requisitos establecidos en la Sección 6.3.2.10.

La escala graduada, comparada con una escala patrón con exactitud de 0.1 mm en todos los puntos, no debe indicar en ninguna parte una desviación mayor de 0.25 mm.

4. Reloj

Que permita lecturas en segundos.

5. Cámara húmeda

Debe tener las dimensiones adecuadas para que las muestras puedan ser almacenadas con facilidad. Además, debe mantenerse a una temperatura de $23 \pm 1,7^\circ\text{C}$ y a una humedad relativa no menor de 90%.

6. Mezcladora

Consta de una paleta y un recipiente. Será impulsada eléctricamente, debe ser del tipo epicíclico, que imparte a la paleta movimiento de rotación y planetario; la mezcladora tendrá mínimo dos (2) velocidades, controladas por medios mecánicos (No se aceptarán ajustes de velocidad por medio de reóstatos); la velocidad primera, o baja, girará la paleta a razón de 140 ± 5 rpm y el movimiento del planetario será aproximadamente 62 rpm. La segunda o rápida, robará la paleta a razón de 285 ± 10 rpm, con movimiento del planetario de aproximadamente 125 rpm. El motor que acciona el sistema, tendrá una potencia mínima de 125 W (1/6 hp).

Cuando la mezcladora está en posición de trabajo, la distancia entre el borde inferior de la paleta y el fondo del recipiente de mezcla, no será mayor de 2,54 mm, ni menor de 0,76 mm.

6.3.2.5.3. CONDICIONES AMBIENTALES

Son las mismas establecidas en la **Sección 6.3.2.10**.

6.3.2.5.4. PREPARACIÓN DE LA PASTA DE CEMENTO

7. Deben mezclarse 500 g de cemento con el porcentaje de agua de amasado (**Nota 1**) requerido para la consistencia normal, siguiendo el procedimiento descrito en la **Sección 6.3.2.11** “Mezcla mecánica de pastas y morteros de consistencia plástica”.

Nota 1: En los ensayos de referencia o especiales debe usarse agua destilada.

El espécimen de ensayo usado para la determinación de la consistencia normal puede ser usado para la determinación adicional del tiempo de fraguado mediante el aparato de Vicat, siguiendo el método del Numeral 8.

6.3.2.5.5. PROCEDIMIENTO

8. Moldeo de la muestra de ensayo

A la pasta preparada como se describe en el numeral 6, rápidamente debe dársele forma esférica con las manos enguantadas, y lanzarse de una mano a la otra por seis veces estando éstas a una distancia de 15 cm aproximadamente. Se toma el molde en una mano y con la otra se presiona la bola hasta llenar el molde completamente por la base mayor. Quítese el exceso en esta base con un solo movimiento de la palma de la mano. El molde debe colocarse con su base mayor sobre la placa de vidrio y el exceso de pasta que aparezca en la base menor debe retirarse pasando el palustre oblicuamente de modo que forme un ángulo pequeño con el borde superior del molde. La parte superior de la muestra debe alisarse, si es necesario, con una o dos pasadas del borde del palustre. Durante las operaciones para retirar el exceso de pasta y para alisarla, debe tenerse cuidado de no ejercer presión alguna sobre ésta. Inmediatamente después de terminado el moldeo, debe colocarse la muestra en el cuarto o cámara húmeda, de donde debe sacarse únicamente para las determinaciones del tiempo de fraguado. La muestra debe permanecer en el molde, soportada por la placa de vidrio, durante todo el período de ensayo.

9. Determinación del tiempo de fraguado

La muestra usada para determinar el tiempo de fraguado, debe mantenerse dentro de la cámara húmeda durante 30 minutos después del moldeo sin que sufra ninguna alteración. Debe determinarse la penetración de la aguja de 1 mm en ese instante y luego debe repetirse cada 15 minutos (para cementos de tipo 3 debe repetirse cada 10 minutos), hasta que se obtenga una penetración de 25 mm o menos. Para el ensayo de penetración debe hacerse descender la aguja D del vástago B, hasta que el extremo haga contacto con la superficie de la pasta de cemento.

Debe apretarse el tornillo de sujeción E y ajustarse el índice F, en el extremo superior de la escala o anotarse una lectura inicial. Se suelta el vástago rápidamente aflojando el tornillo de sujeción E y dejando que la aguja penetre durante 30 segundos, momento en el cual debe tomarse la lectura para determinar la penetración. (Si durante las primeras lecturas la pasta se mantiene blanda, el descenso del vástago, se puede hacer lentamente para evitar la deformación de la aguja de 1 mm, pero las determinaciones de penetración para el tiempo de fraguado se deben hacer aflojando el tornillo).

Las penetraciones deben estar separadas por lo menos 6 mm ($\frac{1}{4}$ ") entre sí y 10 mm ($\frac{1}{4}$ ") del borde interior del molde. Se anotan los resultados de todas las penetraciones y por interpolación debe determinarse el tiempo obtenido para una penetración de 25 mm, el cual indica el Tiempo de Fraguado.

6.3.2.5.6. PRECAUCIONES

El aparato no debe estar sometido a vibraciones durante la penetración. La aguja, de 1 mm de diámetro, debe ser recta y estar limpia, pues la acumulación de pasta en su periferia puede retardar la penetración, así como la pasta en la punta puede aumentar la misma. Esta determinación es sólo aproximada, puesto que no sólo la temperatura y la cantidad de agua de amasado influyen en el resultado, sino también la temperatura y humedad del aire.

SECCION 6.3.2.6.

TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO HIDRÁULICO MÉTODO DE LAS AGUJAS DE GILLMORE (ASTM C 266 AASHTO T154)

6.3.2.6.1. OBJETO

Este método tiene por objeto establecer el método de ensayo para determinar los tiempos de fraguado de pastas de cemento hidráulico, por medio de las agujas de Gillmore.

6.3.2.6.2. EQUIPO Y MATERIALES

B.1. Balanzas y pesas

Deben cumplir con los requisitos establecidos en la **Sección 6.3.2.5.**

B.2. Probetas

Deben cumplir con los requisitos establecidos en la **Sección 6.3.2.5.**

Aparato de Gillmore (Figura 6.3_18). Consta de los siguientes elementos:

- Un soporte con dos brazos rígidamente unidos a él, que mantiene en posición vertical los dispositivos de penetración.
- Un dispositivo de penetración inicial

Tiene un vástago móvil, con un compensador de peso y una aguja en uno de sus extremos. El conjunto debe pesar $113,5 \pm 0,5$ g ($\frac{1}{4}$ lb \pm 8 granos). El diámetro de la aguja debe ser de $2,12 \pm 0,05$ mm ($1/12 \pm 0.002$ ") y su longitud de 4,8 mm ($3/16$ ").

- Un dispositivo de penetración final

Tiene un vástago móvil, con un compensador de peso y una aguja en uno de sus extremos. El conjunto debe pesar $453,6 \pm 0,5$ g (1 lb \pm 8 granos). El diámetro de la aguja debe ser de $1,06 \pm 0,05$ mm y su longitud de 4,8 mm ($3/16$ ").

- Cámara húmeda

Debe tener las dimensiones adecuadas para que las muestras puedan almacenarse con facilidad. Además, debe mantenerse a una temperatura de $23 \pm 1,7$ °C y a una humedad relativa no menor de 90%.

6.3.2.6.3. CONDICIONES AMBIENTALES

Son las mismas establecidas en la **Sección 6.3.2.5.**

6.3.2.6.4. PROCEDIMIENTO

a. Preparación de la pasta

Se efectúa según la **Sección 6.3.2.5**.

b. Preparación de la muestra

Se extiende la pasta sobre una placa de vidrio; luego con ayuda de la paleta de albañil, se lleva la pasta desde la periferia hacia el centro, hasta formar un tronco de cono de bases paralelas, de unos 76 mm de diámetro en la base mayor y unos 13 mm de altura. Inmediatamente después se alisa la superficie con el palustre (**ver Figura 6.3_18 (a)**). La placa de vidrio debe ser cuadrada, de unos 100 mm de lado, limpia y plana.

c. Determinación de los tiempos de fraguado

El conjunto constituido por la muestra y la placa, se introduce en la cámara húmeda, hasta que las determinaciones empiecen. El método que se sigue para las penetraciones consiste en colocar la muestra debajo de los dispositivos de penetración y luego bajar éstos suavemente hasta que descansen sobre ella. Se repite el método hasta que las agujas de los dispositivos de penetración no dejen huella sobre la muestra. Los extremos de las agujas deben ser planos y perpendiculares a su eje. Entre cada determinación y la siguiente, la muestra de ensayo debe permanecer en la cámara húmeda.

Se toman como tiempo inicial y final de fraguado, los transcurridos entre el momento en que se le agrega agua al cemento y aquellos en que los dispositivos de penetración inicial y final respectivamente, no dejan huella sobre la muestra.

6.3.2.6.5. PRECAUCIONES

Como la temperatura, cantidad de agua de amasado y humedad del aire afectan el ensayo, esta determinación es sólo aproximada.



Figura 6.3_18. HORMIGÓN SOBRE PLACA DE VIDRIO

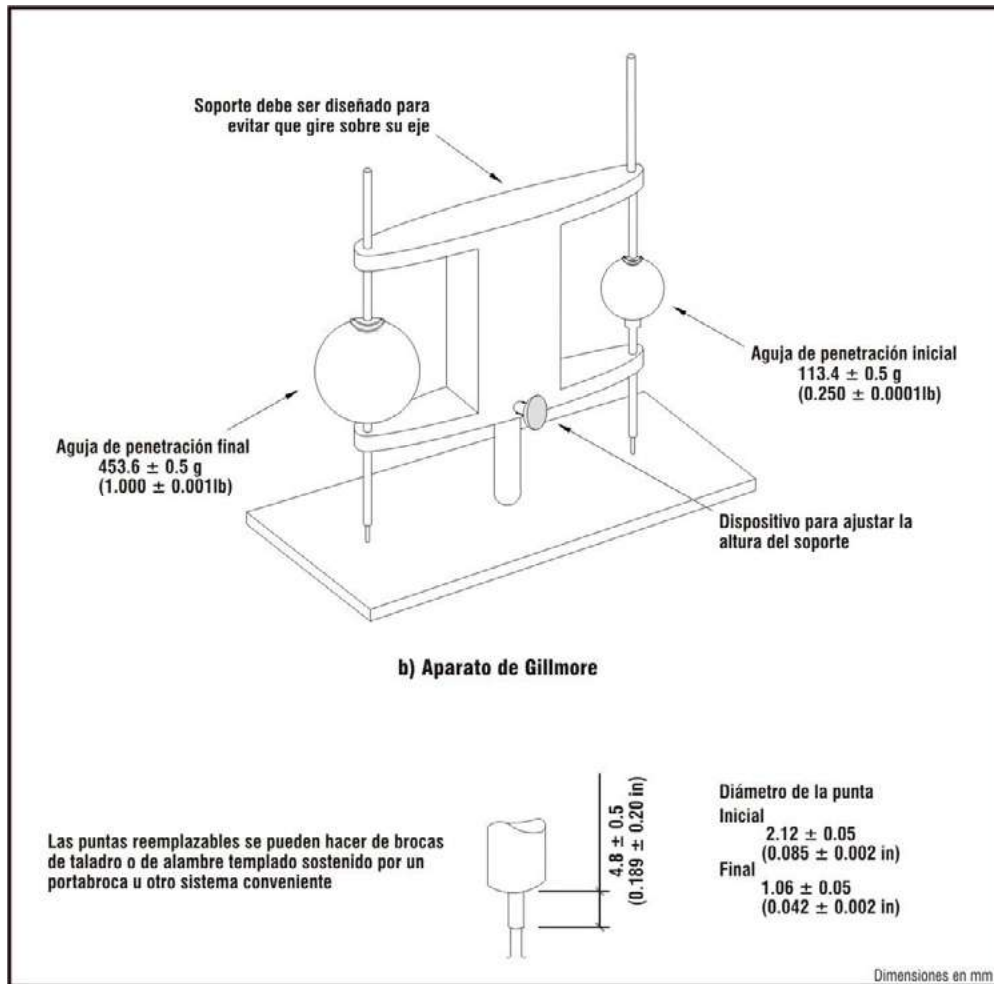


Figura 6.3_19. AGUJAS DE GILLMORE

SECCION 6.3.2.7.

PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO HIDRÁULICO (ASTMC 188 AASHTO T133)

6.3.2.7.1. OBJETO

Este método tiene por objeto establecer el método de ensayo para determinar el peso específico del cemento hidráulico. Su principal utilidad está relacionada con el diseño y control de las mezclas de hormigón.

6.3.2.7.2. EQUIPO Y MATERIALES

1. Frasco patrón de Le Chatelier

Debe cumplir con las dimensiones indicadas en la **Figura 6.3_20**. Los requisitos con respecto a las tolerancias, inscripción y longitud, espaciamiento y uniformidad de la graduación serán tenidos en cuenta en forma estricta. Deberá existir un espacio de por lo menos 10 mm entre la marca más alta de la graduación y el punto más bajo del esmerilado hecho para el tapón de vidrio. El cuello deberá ser graduado de 0 a 1 ml y de 18 a 24 ml, con separaciones de 0,1 ml. El error de cualquier capacidad indicada, no deberá ser superior a 0,05 ml.

2. El material de construcción deberá ser vidrio de la mejor calidad y libre de estrías. El vidrio debe ser químicamente resistente y tener histéresis térmica. Todo frasco debe ser templado cuidadosamente antes de ser graduado. Deberá ser de espesor suficiente para asegurar una buena resistencia a la rotura.
3. En la determinación del peso específico se debe emplear kerosene libre de agua, o nafta con una gravedad no inferior a 62° A.P.I.
4. El uso de equipo alternativo o de métodos alternos para determinar el peso específico del cemento hidráulico es permitido siempre y cuando el resultado obtenido por un operador solo, mediante el equipo o método alternativo, no difiera en más de 0,03 g/cm³ del resultado obtenido mediante este método.

6.3.2.7.3. PROCEDIMIENTO

5. Debe determinarse el peso específico del cemento tal como se recibe, a menos que se especifique otra cosa. Si la determinación del peso específico se requiere sobre una muestra sometida previamente al ensayo de la pérdida al fuego, debe ponérsela primero en ignición como se indica en el procedimiento descrito en la **Norma ASTM C 114 o AASHTO T 105**.
6. Debe llenarse el frasco con cualquiera de los líquidos especificados en el numeral 3 hasta un punto situado entre las marcas 0 y 1 ml. Se debe secar el interior del frasco por encima del nivel líquido, si es necesario, después de verterlo. Debe anotarse la primera lectura después de sumergir el frasco en el baño de agua como se indica en el numeral 7. Entonces, se debe agregar Cemento Pórtland, aproximadamente 64 g, en pequeñas cantidades, a la misma temperatura que el líquido, procurando evitar salpicaduras y observando que el cemento no se adhiera a las paredes del frasco por encima del líquido.

Puede usarse un vibrador para acelerar la adición del cemento dentro del frasco y evitar que éste se tranque en el cuello. Después de agregar todo el cemento, debe colocarse el tapón

en el frasco y hacerse girar en posición inclinada o en círculo horizontal poco a poco, hasta que no asciendan burbujas a la superficie del líquido, para sacarle el aire. Si se ha añadido una cantidad apropiada de cemento, el nivel del líquido debe estar en su posición final en cualquier punto en la serie superior de graduaciones. Debe hacerse la lectura final una vez que el frasco se haya sumergido en el baño de agua, de acuerdo con el numeral 7.

7. Debe sumergirse el frasco en un baño de agua a temperatura ambiente durante un tiempo suficiente, antes de hacer cualquiera de las lecturas, para evitar variaciones mayores de 0,2°C en la temperatura del líquido dentro del frasco. Todas las lecturas se deben comprobar hasta obtener un valor constante para asegurarse de que los contenidos del frasco han alcanzado la temperatura del baño de agua.

6.3.2.7.4. CÁLCULOS

La diferencia entre las lecturas inicial y final representa el volumen líquido desplazado por el peso de cemento usado en el ensayo. El peso específico debe calcularse como sigue:

$$\text{Peso específico} = \frac{\text{Peso de cemento (g)}}{\text{volumen desplazado (ml)}}$$

6.3.2.7.5. PRECISIÓN

8. Los resultados de dos ensayos efectuados por un mismo operador, sobre una misma muestra, no diferirán en más de 0,03 g/ml.
9. Los resultados de dos ensayos efectuados en laboratorios distintos, sobre una misma muestra, no diferirán en más de 0,10 g/ml.

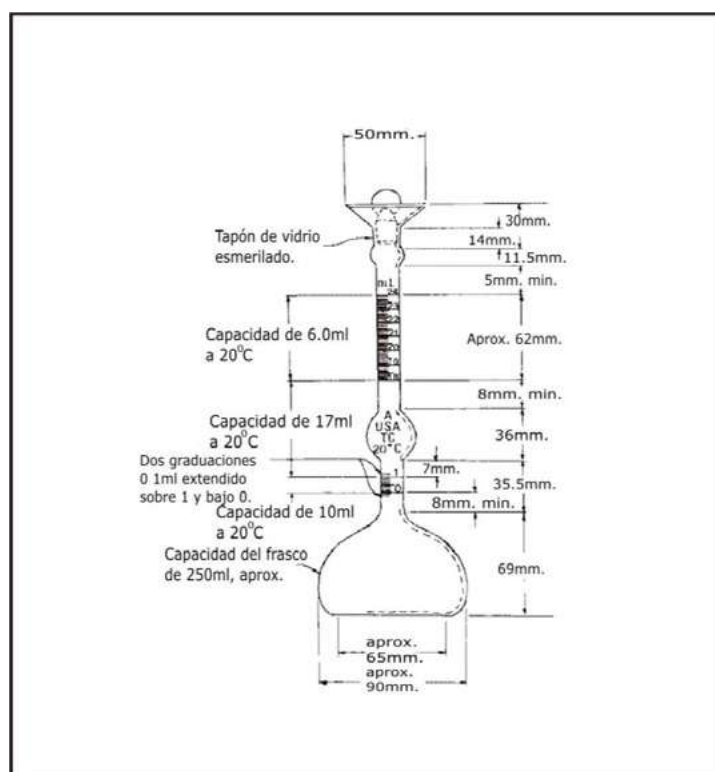


Figura 6.3_20. FRASCO PATRÓN DE LE CHATELIER

SECCION 6.3.2.8.

FALSO FRAGUADO DEL CEMENTO PORTLAND MÉTODO DE LA PASTA (ASTM C 451AASHTO T186)

6.3.2.8.1. OBJETO

Este método tiene por objeto establecer el método para determinar el falso fraguado de pastas de cemento portland.

6.3.2.8.2. DEFINICIONES

B.1.Falso fraguado

Endurecimiento rápido de una pasta de cemento portland, mortero u hormigón, sin desprendimiento apreciable de calor. La plasticidad se recupera continuando la mezcla de la pasta endurecida sin adición de agua.

B.2.Fraguado rápido o instantáneo

Endurecimiento rápido de una pasta de cemento portland, mortero u hormigón, generalmente con desarrollo de apreciable cantidad de calor. La rigidez de la pasta no se elimina, ni su plasticidad se recupera, continuando la mezcla de la pasta endurecida sin adición de agua.

6.3.2.8.3. USO Y SIGNIFICADO

El propósito de este método es determinar el estado en el cual una pasta de cemento desarrolla un falso fraguado o establecer si un cemento cumple o no con un límite especificado para el falso fraguado.

Cuando se use para determinación del cumplimiento de un límite especificado, tal límite generalmente se establece como la mínima penetración final permisible, en porcentaje, calculada según el numeral 6. Cuando se use para estimar la tendencia relativa de un cemento a manifestar falso fraguado se obtiene información adicional empleando el procedimiento de remezclado del numeral 5. Bajo ciertas condiciones, puede hacerse un juicio comparando el comportamiento en el ensayo inicial y en el de remezclado, para diferenciar una tendencia relativamente menos seria y menos persistente al falso fraguado, de otra que sea más persistente y en consecuencia más seria.

Un falso fraguado muy marcado puede causar dificultades desde el punto de vista de la colocación y manipulación. Pero esto no es probable donde el hormigón se mezcla generalmente por un tiempo largo, como ocurre en un camión mezclador, o cuando éste es remezclado antes de colocarlo o transportarlo, como sucede en operaciones de hormigón bombeado. Esto es mucho más importante, cuando el hormigón se mezcla por un tiempo corto en mezcladoras fijas y se transporta en equipos sin agitador, como sucede en algunos trabajos de pavimentación.

El falso fraguado, por sí mismo, no tiene efectos perjudiciales sobre la calidad del hormigón; sin embargo, los cementos con un falso fraguado muy marcado, generalmente requieren un poco más de agua de mezcla para producir la misma consistencia y se puede esperar como resultado, una ligera disminución de la resistencia e incremento de la contracción por secado.

Un fraguado rápido de suficiente intensidad como para causar dificultades desde el punto de

vista de la colocación y manipulación, generalmente hace que el cemento no cumpla con los requisitos de fraguado.

6.3.2.8.4. EQUIPO Y MATERIALES

B.1. Balanzas y Pesas

Deben cumplir con lo especificado en la **Sección 6.3.2.4** o **6.3.2.5**.

B.2. Probetas graduadas

Deben cumplir con lo especificado en la **Sección 6.3.2.4** o **6.3.2.5**.

B.3. Aparato de Vicat

Debe cumplir con lo especificado en la **Sección 6.3.2.10**.

B.4. Palustre

Debe ser de acero con longitud de 125 ± 25 mm (4 a 6") y de bordes rectos.

B.5. Mezcladora, recipiente y paleta

Deben cumplir con lo especificado en la **Sección 6.3.2.11**.

B.6. Agua

El agua potable es satisfactoria para los ensayos de rutina, pero debe tenerse especial cuidado en el tipo de agua cuando se trate de ciertos tipos de cementos.

6.3.2.8.5. CONDICIONES GENERALES

La temperatura ambiente, de los materiales secos, del recipiente y la paleta, del anillo tronco-cónico y de la placa de base deberán ser mantenidas entre 20 y 27.5°C (68 y 81.5°F). La temperatura del agua de mezcla deberá permanecer en el intervalo 23 ± 1.7 °C (73.4 ± 3 °F).

La humedad relativa en el laboratorio no debe ser inferior del 50%.

6.3.2.8.6. PROCEDIMIENTO

1. Preparación de la pasta de cemento

- a) Deben mezclarse 500 g de cemento con agua suficiente para obtener una pasta con una penetración inicial de 34 ± 4 mm, empleando el siguiente procedimiento:
- b) Se colocan la paleta y el recipiente, secos, en posición de trabajo en la mezcladora.
- c) Se introducen los materiales en el recipiente y se mezclan de la siguiente manera:
- d) Se vierte el agua de amasado en el recipiente.
- e) Se agrega el cemento y se deja 30 segundos para que absorba el agua.
- f) Se pone en movimiento la mezcladora a velocidad de 140 ± 5 rpm durante 30

segundos.

- g) Se detiene la mezcladora 15 segundos; durante este tiempo la pasta adherida a las paredes se coloca nuevamente en el centro del recipiente.
- h) Se pone en movimiento la mezcladora a velocidad de 285 ± 10 rpm durante 150 segundos.

2. Moldeo de la muestra de ensayo

Rápidamente debe moldearse la pasta de cemento con las manos enguantadas dándole forma esférica. Con la muestra que cabe en una mano se llena completamente por la base mayor el molde G sostenido en la otra llenando completamente el molde con la pasta. Se debe quitar el exceso en esta base con un simple movimiento de la palma de la mano. Colóquese el molde sobre su base mayor en una placa de vidrio (H); quítese el exceso de pasta de la parte superior del molde, con un solo paso del palustre, el cual debe colocarse formando un pequeño ángulo con la base superior del molde. Debe alisarse la parte superior de la muestra, si es necesario, con una o dos pasadas suaves del extremo puntiagudo del palustre, o sacudiendo suavemente el conjunto.

Durante estas operaciones, debe tenerse el cuidado de no comprimir la pasta.

3. Determinación de la penetración inicial

Colóquese la pasta confinada en el molde, el cual descansa sobre la placa de vidrio (H), bajo el vástago B de tal manera que la sonda C quede en contacto con la superficie de la pasta en un punto que esté aproximadamente a un tercio del diámetro del molde a partir de su borde; por medio del tornillo de sujeción E, fíjese el vástago en la posición indicada. Colóquese el índice móvil F, marcando el cero superior de la escala y suéltese el vástago exactamente 20 segundos después de completarse la mezcla. El aparato no debe estar sometido a vibración durante el ensayo. Se considera que la pasta tiene consistencia para penetración inicial cuando la sonda penetra 34 ± 4 mm abajo de la superficie, después de 30 segundos. Háganse pastas de prueba con diferentes porcentajes de agua hasta obtenerse esta consistencia.

Dicha consistencia corresponde a la penetración inicial. Durante los 30 segundos necesarios para la penetración inicial, debe ponerse el exceso de pasta en el recipiente; tápese éste y la paleta de mezclar.

4. Determinación de la penetración final

Después de hecha la lectura inicial, retírese la sonda de la pasta y límpiense; colóquese el molde y la placa en una nueva posición. Esta operación debe llevarse a cabo alterando lo menos posible la pasta confinada en el molde Vicat. Colóquese la sonda nuevamente en contacto con la superficie de la pasta. Transcurridos 5 minutos después de terminado el período de mezcla, repítase el proceso enunciado para penetración inicial; la lectura obtenida corresponde a la penetración final.

5. Procedimiento de remezclado

Si la penetración determinada por el procedimiento descrito, muestra endurecimiento rápido del cemento, puede obtenerse información adicional sobre su naturaleza por el siguiente ensayo: Al terminar la medida de la penetración final, trasládese inmediatamente la pasta del molde al recipiente. Póngase en marcha la mezcladora, levántese el recipiente a la posición de mezcla y remézclase a velocidad de 285 ± 10 rpm durante 1 minuto.

Llénese el molde y determínese la penetración de la misma manera como se especifica en el

numeral 4.

6.3.2.8.7. CÁLCULOS E INFORME

6. Se debe mostrar el porcentaje de penetración como sigue:

Penetración inicial..... mm

Penetración final..... mm

$$\% \text{ de penetracion} = \frac{\text{penetracion final}}{\text{penetracion inicial}} \times 100$$

Penetración de remezclado mm.

SECCION 6.3.2.9.

CALOR DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C 186)

6.3.2.9.1. OBJETO

Este método tiene por objeto establecer el método para determinar el calor de hidratación del cemento hidráulico.

6.3.2.9.2. DEFINICIONES

Calor de hidratación. Diferencia entre el calor de disolución del cemento anhidro en condiciones determinadas y el calor de disolución del mismo parcialmente hidratado a 7 y 28 días, en las mismas condiciones de ensayo.

6.3.2.9.3. EQUIPO

1. Calorímetro

Consiste como se muestra en la Figura 6.3_ 21, en un vaso Dewar (vaso de boca ancha para vacío) de 500 ml de capacidad aproximadamente, provisto de un tapón de corcho, que se coloca en un recipiente adecuado para protegerlo de las variaciones de temperatura. El vaso se reviste interiormente con una película de material resistente al ácido fluorhídrico, tal como una resina fenólica o cera virgen o un forro plástico.

Este revestimiento debe conservarse intacto y libre de grietas. El calorímetro debe cumplir la condición, que al llenar el vaso Dewar con 425 g del ácido especificado en el numeral 28, taparlo y dejarlo en reposo durante 30 minutos, la temperatura del ácido no debe descender más de 0.001°C por minuto y por grado centígrado de diferencia con la temperatura del laboratorio donde se realiza el ensayo. La temperatura para esta verificación deberá aproximarse a las temperaturas iniciales que se presentan cuando se hace la determinación.

2. Aislante

El aislante deberá ser hecho de lámina de algodón o de material similar, el cual deberá tener por lo menos 25 mm (1") de espesor y deberá rodear el vaso en sus paredes y fondo, pero permitiendo el fácil manejo del vaso.

3. Termómetros diferencial y de referencia

El termómetro diferencial debe ser del tipo Beckmann, graduado por lo menos cada 0.01°C y debe medir como mínimo, un intervalo de 6°C. El límite superior del termómetro debe ajustarse a una temperatura aproximadamente igual a la del laboratorio. La parte del termómetro que queda dentro del calorímetro se debe proteger con una película resistente al ácido fluorhídrico, análoga a la descrita en el numeral 1. El termómetro debe estar equipado con lupas que permitan leer las temperaturas con precisión.

El cero del termómetro Beckmann deberá ser determinado sumergiéndolo en un líquido y posteriormente comparándolo con el termómetro de referencia.

4. Embudo

Se usa para verter la muestra en el calorímetro y debe ser de vidrio o de material plástico. Su vástago debe tener una longitud de unos 80 mm (3") y un diámetro interior no menor de 6 mm (¼").

5. Dispositivo de agitación

El agitador debe ser de plástico inerte o de vidrio; en este último caso, la parte que queda dentro del líquido se debe proteger con resina fenólica, cera virgen o con cualquier material resistente al ataque del ácido fluorhídrico. La longitud debe ser tal, que su extremo llegue hasta 10 ó 20 mm del fondo del vaso. El agitador debe ser movido por un motor adecuado, provisto de los engranajes necesarios para que la velocidad de agitación sea constante y esté comprendida entre 350 y 700 rpm.

Nota 1: La Norma ASTM C 186 recomienda el agitador de hélices mostrado en la Figura 6.3_22, hecho de polietileno, con un diámetro de hélices de 34 mm (1 3/8"), diámetro del eje de 6 mm (¼") y longitud del eje 457 mm (18"). Este agitador cumple una doble función: mantener una temperatura uniforme a través del líquido y proporcionar suficiente agitación para mantener los sólidos en suspensión en la mezcla de ácido.

Debido a que un agitador capaz de mantener los sólidos en suspensión genera considerable calor en el calorímetro, es importante que la velocidad del agitador, y por lo tanto la tasa de generación de calor, se mantenga constante. Por ello, es indispensable utilizar un motor sincrónico y un regulador de velocidad junto al agitador.

6. Batidora

Debe ser mecánica, capaz de mezclar íntimamente el agua y el cemento hasta producir una pasta uniforme.

7. Cámara con temperatura constante

Debe tener dispositivos adecuados para conservar la temperatura en $23 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$ ($73.4 \pm 3^{\circ}\text{F}$) y suficiente espacio para almacenar las muestras.

8. Mortero

Debe tener 200 mm (8") de diámetro aproximadamente; se emplea para pulverizar las muestras parcialmente hidratadas.

9. Tubos de vidrio o plástico

Deben tener una longitud de 100 mm (3.9") aproximadamente, un diámetro de unos 20 mm (0.8") y estar provistos de sus correspondientes tapones de corcho. Se utilizan para guardar las muestras de cemento parcialmente hidratadas cuyo calor de disolución a los 7 y 28 días va a determinarse.

10. Horno

Debe mantener una temperatura entre 100 y 110°C.

11. Cronómetro

12. Tamices

Se utilizan los tamices 150 μm (No.100) y 850 μm (No.20).

13. Crisoles

Deben ser de platino, tener unos 30 ml de capacidad y estar provistos de tapas. Se utilizan para determinar las pérdidas por calcinación.

14. Horno o mufla

Debe mantener una temperatura entre 900 y 950°C.

15. Balanza analítica

La balanza, lo mismo que las pesas, deben cumplir con los requisitos exigidos por las normas de ensayos químicos del cemento portland (ASTM C 114). Se utiliza para pesar las muestras antes de introducirlas al calorímetro y para determinar las pérdidas por calcinación.

16. Balanza

Debe estar dentro de una caja de vidrio, tener una capacidad de 1 kg y pesar con una precisión de 0.05 g. Se utiliza para pesar el ácido que se vierte al calorímetro.

17. Frascos pesasustancias

6.3.2.9.4. REACTIVOS

18. Óxido de zinc

Debe ser químicamente puro y someterse al tratamiento siguiente: en un crisol de porcelana se calcinan unos 50 g durante 1 hora, entre 900 y 950°C y se dejan enfriar en un desecador.

Una vez frío el óxido de zinc se pulveriza hasta que pase íntegramente por el tamiz 150 µm (No.100) y en estas condiciones se conserva en el desecador. Inmediatamente antes de iniciar la determinación de la capacidad calorífica del sistema, 7 g de óxido de zinc así preparados, se calcinan (entre 900°C - 950°C) durante 5 minutos, se enfrían hasta temperatura ambiente en un desecador y se pesan para su introducción al calorímetro.

19. Ácido fluorhídrico

Se utiliza en solución al 48%. (Peso específico 1.15)

20. Ácido nítrico

Debe ser 2 N y debe prepararse en bastante cantidad, puesto que cada vez que se utiliza una nueva preparación de ácido, debe determinarse la capacidad calorífica del sistema.

Opcionalmente, se pueden tomar 127 ml de ácido nítrico concentrado (1.421 de peso específico), diluyéndolos hasta completar un litro de solución.

21. Parafina, o una cera apropiada para sellar los tubos de vidrio o plásticos.

6.3.2.9.5. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD CALORÍFICA DEL SISTEMA

El método para determinar la capacidad calorífica del sistema, o sea el calor necesario para elevar la temperatura del calorímetro y su contenido en 1°C, mediante la disolución de 7 g de óxido de zinc calcinado en una mezcla de los ácidos especificados, es el siguiente:

22. Se vierten unos 400 g de ácido nítrico 2 N, enfriado a la temperatura indicada por el límite inferior del termómetro Beckmann, (que ordinariamente es de 4 a 5°C por debajo de la del laboratorio) dentro del vaso Dewar. Se pesan 8 ml de ácido fluorhídrico al 48% y se vierten dentro del vaso. Se añade luego suficiente ácido nítrico 2 N, hasta completar un peso total de mezcla de 425 g. Se coloca el calorímetro en posición de trabajo y se agita la mezcla mediante el dispositivo de agitación, durante todo el ensayo.

Debe tenerse cuidado de que el dispositivo de agitación no golpee el termómetro, el vaso ni el tapón.

El extremo del vástago del embudo debe quedar unos 6 mm ($\frac{1}{4}$ ") por debajo de la cara inferior del tapón y por lo menos 12 mm ($\frac{1}{2}$ ") por encima del nivel del líquido. La parte superior del bulbo del termómetro debe quedar por lo menos 38 mm ($1\frac{1}{2}$ ") por debajo del líquido y debe ser colocada a la misma profundidad en todas las determinaciones.

Después de un período inicial de 20 minutos de mezclado, que permite que la temperatura del sistema sea uniforme, se lee la temperatura ambiente con aproximación de 0.1°C y la temperatura del ácido con aproximación de 0.001°C; se empieza a contar el tiempo e inmediatamente se introduce por el embudo, a una velocidad uniforme, el óxido de zinc preparado según el numeral 18. La temperatura de éste al verterlo en el vaso, se considera igual a la del laboratorio. Se debe tomar de 1 a 2 minutos en verter el óxido de zinc. Las porciones de éste que queden adheridas a las paredes del embudo, se deben empujar al calorímetro con un cepillo apropiado.

23. Se lee la temperatura, a los 20 y a los 40 minutos después de iniciar la introducción del óxido al calorímetro, con una aproximación de 0.001°C. En los primeros 20 minutos se obtiene cambio de temperatura correspondiente al período de disolución. El segundo período de 20 minutos, sirve para hallar los posibles cambios de temperatura del sistema. La diferencia entre la lectura al final del primer período y la correspondiente al final del segundo período, es la corrección que debe ser sumada o restada al cambio de temperatura del primer período, ya sea que la temperatura del calorímetro suba o baje, durante el segundo período.

24. El cálculo del cambio de temperatura se hace como sigue:

$$R_0 = t_{20} - t_0$$

$$R = R_0 - (t_{40} - t_{20})$$

Donde:

R_0 : Cambio de temperatura del periodo (°C)

t_{20} : Temperatura del calorímetro al final del primer periodo de disolución.

t_0 : Temperatura del calorímetro al introducir el óxido de zinc (°C).

R: Cambio de temperatura corregida (°C).

t_{40} : Temperatura del calorímetro al final del segundo periodo (°C).

25. La capacidad calorífica del sistema se calcula con la siguiente fórmula:

$$C = P \frac{2561,1 + 0,1 (30 - t) + 0,12(T - t)}{R}$$

Donde:

C: Capacidad calorífica del sistema (cal/°C).

- P: Peso del óxido de zinc (g).
- t: Temperatura final del primer periodo en °C (t_{20} más la temperatura (°C) a la cual el termómetro BECKMANN marca 0)
- T: Temperatura del óxido de zinc.
- R: Cambio de temperatura corregida (°C)

26. Si al abrir el calorímetro se encuentra una cantidad apreciable de óxido de zinc adherido al extremo del embudo o en el tapón, el ensayo se debe repetir.

27. Se debe volver a determinar la capacidad calorífica del sistema en los siguientes casos:

- Cuando se altera la posición del termómetro dentro del tapón de corcho.
- Cuando se aplica una nueva capa protectora al termómetro, al agitador o al vaso.
- Cuando se ponen en servicio un termómetro, un agitador o un vaso nuevos.
- Cuando se usa una nueva preparación de ácido.
- Cuando el operador lo considere necesario por alguna otra causa.

6.3.2.9.6. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CALOR DE HIDRATACIÓN

28. Antes del mezclado, la temperatura del agua y la del cemento deben ser de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3^\circ\text{F}$). Con una espátula, se mezclan 150 g de cemento y 60 ml de agua destilada y se agita la mezcla en la batidora por 5 minutos. Una vez preparada la mezcla, se colocan cantidades aproximadamente iguales de pasta en cuatro o más tubos de vidrio, llenándolos hasta unos 13 mm ($\frac{1}{2}$ " del borde. Inmediatamente después de llenados los tubos, se cierran con tapones de corcho; si es necesario, séllese con parafina. Los tubos se guardan luego en posición vertical dentro de la cámara a una temperatura constante de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ hasta el momento del ensayo.

29. Preparación de la pasta parcialmente hidratada para el ensayo. Después del tiempo especificado para el ensayo, se saca uno de los tubos que estaba en la cámara y, mientras transcurren los 20 minutos del período inicial del mezclado en el calorímetro, se rompe el tubo para sacar la muestra y rápidamente se pulveriza en el mortero hasta que pase totalmente por el tamiz de $850 \mu\text{m}$ (No.20); enseguida, se pasa a un frasco pesa sustancias bien tapado. Las muestras se deben exponer al aire el menor tiempo posible, especialmente las de 7 días, para reducir a un mínimo la acción del CO_2 e impedir las pérdidas por evaporación.

30. Determinación del calor de disolución del cemento seco

Se determina en la misma forma que la capacidad calorífica del sistema, salvo que se usan 3 g de cemento, pesados con una precisión de 0,001 g, en lugar de óxido de zinc (ver punto "Procedimiento para la determinación de la capacidad calorífica del sistema").

Los resultados se deben calcular y expresar con base en el peso del cemento calcinado. Esta determinación debe hacerse inmediatamente antes de la correspondiente a la muestra parcialmente hidratada a los 7 días.

31. Determinación del calor de disolución del cemento parcialmente hidratado. Se determina en la misma forma que el del cemento seco, salvo que se usan $4,18 \pm 0,05$ g de muestra,

pesados con una precisión de 0,001 g. Se deben calcular los resultados con base en el peso del cemento calcinado.

32. Determinación de las pérdidas por calcinación

Cuando se pesa la muestra que va a introducirse dentro del calorímetro, se debe tomar otra aproximadamente igual, para determinar las pérdidas por calcinación. En el caso del cemento seco, se coloca la muestra en un crisol y se pone en la mufla durante 90 minutos por lo menos, a una temperatura entre 900 a 950°C. Luego se coloca el crisol en un desecador, se deja enfriar a la temperatura del laboratorio e inmediatamente se pesa.

En el caso del cemento parcialmente hidratado, la muestra pesada, se seca en un horno a una temperatura entre 100 a 110°C por 1 hora y luego se coloca en la mufla a 900 – 950°C durante toda la noche o sobre un mechero de gas por un tiempo mayores 5 horas.

El peso del cemento introducido al calorímetro se expresa con base en el peso después de calcinado, por medio de la siguiente fórmula:

$$W_i = \frac{W_2}{W_1} W$$

Donde:

W_i = Peso del cemento introducido al calorímetro, sobre la base del peso después de calcinado, g.

W_2 = Peso de la muestra calcinada, g.

W_1 = Peso de la muestra antes de la calcinación, g.

W = Peso del cemento introducido al calorímetro, g.

6.3.2.9.7. CÁLCULOS

B.1. Calor de disolución del cemento seco

Se calcula el aumento corregido de temperatura debido a la disolución del cemento, según el numeral 30. Si la temperatura de la solución dentro del calorímetro al final del primer período, es distinta de la temperatura de la solución al ser introducido el cemento, debe corregirse de la siguiente manera: como el cemento seco tiene un calor específico aproximado de 0,2 cal/g.°C de cemento calcinado, si la temperatura al final del primer período excede la de la muestra de cemento en el momento de ser introducida al calorímetro, se añade el calor de disolución, 0,2 cal por gramo y por grado centígrado de diferencia entre las dos temperaturas.

El calor de disolución se calcula como sigue:

$$H_i = \frac{R \times C}{W_i} - 0,2(T - t_d)$$

Donde:

H_i = Calor de disolución, en cal/g de cemento seco.

R = Cambio de temperatura corregido, en °C.

C = Capacidad calorífica del sistema en cal/°C.

W_i = Peso del cemento introducido al calorímetro con base en el peso calcinado, en g.

T = Temperatura del cemento cuando fue introducido al calorímetro, en °C (temperatura del laboratorio).

t_d = Temperatura del calorímetro al final del primer período, sobre cemento seco, en °C (t_{20} más la temperatura a la cual se puso en cero el termómetro Beckmann).

B.2. Calor de disolución del cemento parcialmente hidratado

Se calcula en la forma indicada en el numeral 31, con las siguientes correcciones:

Como en la determinación del calor de disolución del cemento parcialmente hidratado, un aumento de 1°C en la temperatura al final del primer período causa en dicho calor una disminución aproximada de 0,3 cal/g, si la mencionada temperatura excede la del final del primer período en la determinación del calor de disolución del cemento seco, debe agregarse al valor obtenido para la muestra parcialmente hidratada, 0,3 cal/g por cada °C de diferencia.

Debe corregirse también el calor de disolución, si la temperatura dentro del calorímetro al final del primer período, es distinta a la de la solución al ser introducido el cemento. Esta corrección debe hacerse en la siguiente forma: Como el cemento parcialmente hidratado tiene un calor específico de unos 0.4 cal/g, si la temperatura al final del primer período excede a la de la muestra en el momento de ser introducida al calorímetro, se añaden al calor de disolución 0.4 cal/g por cada °C de diferencia entre las dos temperaturas. El calor de disolución se calcula como sigue:

$$H_2 = \frac{R \times C}{W_i} - 0,4(T - t_h) - 0,3(t_d - t_h)$$

Donde:

H_2 = Calor de disolución del cemento parcialmente hidratado, en cal/g.

t_h = Temperatura del calorímetro al final del primer período, sobre cemento parcialmente hidratado, en °C (t_{20} más la temperatura a la cual se puso en cero el termómetro Beckmann).

R, C, W_i , T y t_d = El mismo significado que el numeral 32

B.3. Calor de hidratación

Debe expresarse con base en 25°C. Una temperatura mayor de 25°C eleva el calor de hidratación aproximadamente en 0.1 calorías por °C y por gramo de cemento calcinado. Por ejemplo, si la temperatura final es de 27°C, deben sustraerse 0.2 calorías del calor de hidratación observado, con el objeto de referirlo a 25°C. En los casos extremos, deben hacerse correcciones adecuadas para determinar la temperatura final del calorímetro. El calor de hidratación se calcula con una aproximación de 1 caloría, como sigue:

$$H_h = H_2 - 0,1 (t_h - 25)$$

Siendo:

H_h = Calor de hidratación, del cemento calcinado en cal/g.

H_1 = Calor de disolución del cemento seco

H_2 = Calor de disolución del cemento parcialmente hidratado.

t_h = El mismo significado que en el numeral 33.

6.3.2.9.8. REENSAYOS

En caso de que no se cumplan los requisitos exigidos para determinar el calor de disolución a los 28 días, se puede ensayar una muestra de reserva de más de 28 días, añadiendo 0.5 cal/g por día de exceso al calor de disolución observado. El período en el cual esta corrección puede ser hecha está limitado a 4 días. En caso de que la falla se presente en la determinación a los 7 días, debe hacerse el ensayo de nuevo, incluyendo el mezclado de la pasta. No es necesario determinar nuevamente el calor de disolución del cemento seco en reensayos.

6.3.2.9.9. PRECISIÓN

Los resultados de los ensayos efectuados por un mismo operador, sobre una misma muestra, no diferirán en más de 8 cal/g para el calor de disolución, ni más de 10 cal/g para el calor de hidratación.

Los resultados de dos ensayos efectuados por laboratorios distintos, sobre una misma muestra, no diferirán en más de 13 cal/g para el calor de disolución, ni más de 11 cal/g para el calor de hidratación.

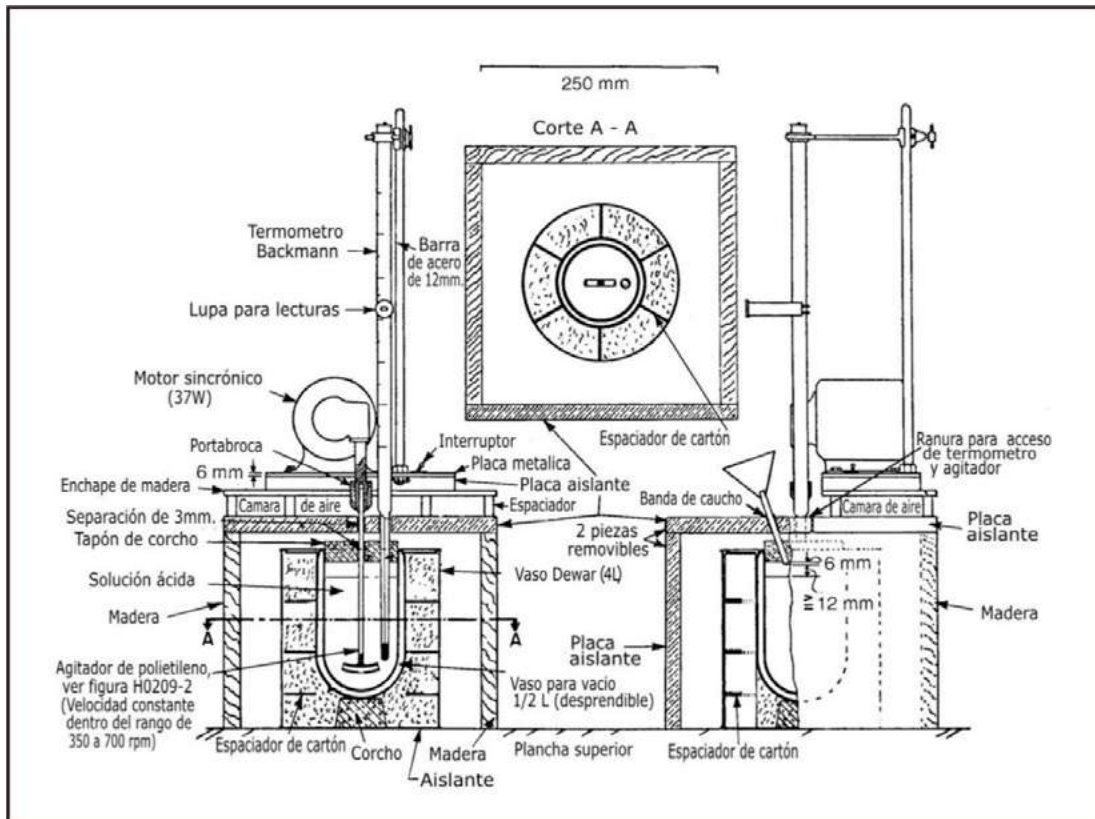


Figura 6.3_21. CALORÍMETRO

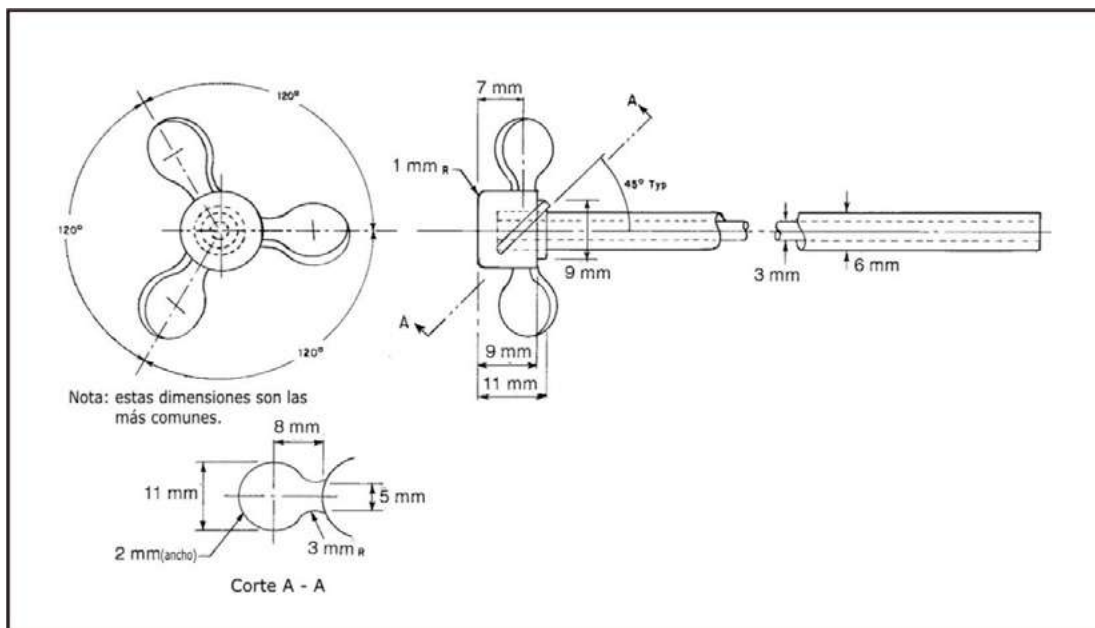


Figura 6.3_22. AGITADOR

SECCION 6.3.2.10. | CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO (ASTM C 187AASHTO T129)

6.3.2.10.1. OBJETO

Este método tiene por objeto establecer el método de ensayo para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico mediante el aparato de Vicat o determinar la cantidad de agua requerida para preparar pastas de cemento hidráulico, de consistencia normal, para su posterior ensayo.

6.3.2.10.2. EQUIPO

B.1. Balanzas y pesas

Deben cumplir con los requisitos establecidos en la Sección 6.3.2.4 o **6.3.2.5**.

B.2. Probetas

Deben cumplir con los requisitos establecidos en la **Sección 6.3.2.4** o **6.3.2.5**.

B.3. Aparato de Vicat

El aparato de Vicat consiste en un soporte (A) que tiene un vástago móvil (B), que pesa 300 g. Uno de sus extremos (C) el de sondeo, tiene 10 mm de diámetro y una longitud mínima de 50 mm; el otro extremo tiene una aguja (D) de 1 mm de diámetro y 50 mm de longitud. El vástago (B) es reversible; puede sostenerse en la posición deseada por medio de un tornillo (E) y tiene un índice ajustable (F) que se mueve sobre una escala graduada en milímetros, rígidamente unida al soporte. **(Véase Figura 6.3_ 23)**

El aparato de Vicat también puede estar construido con vástago no reversible, pero en este caso debe tener un dispositivo de compensación de su peso que permita cambiar el émbolo por la aguja. Las secciones terminales de la aguja y del émbolo deben ser planas y perpendiculares al eje del vástago.

El molde en el cual se coloca la pasta debe ser de forma tronco-cónica y su base mayor debe reposar sobre una placa de vidrio. El molde debe ser de material no absorbente que resista física y químicamente al ataque de las pastas de cemento. El aparato de Vicat y el molde deben cumplir con los siguientes requisitos:

Peso del émbolo	300 ± 0,5 g	(0.661 lb ± 8 gramos)
Diámetro del émbolo	10 ± 0,05 mm	(0.394 ± 0.002")
Diámetro de la aguja	1 ± 0,05 mm	(0.039 ± 0.002")
Diámetro interior de la base mayor del molde	70 ± 3 mm	(2.75 ± 0.12")
Diámetro interior de la base menor del molde	60 ± 3 mm	(2.36 ± 0.12")
Altura del molde	40 ± 1 mm	(1.57 ± 0.04")

La escala graduada, comparada con una escala patrón de exactitud de ± 0,1 mm en todos sus puntos, no debe indicar en ninguna parte una desviación mayor de 0,25 mm.

6.3.2.10.3. CONDICIONES AMBIENTALES

La temperatura ambiente en la sala de trabajo, así como la de las herramientas y materiales, excepto el agua, debe mantenerse entre 20 y 27.5°C. La temperatura del agua de mezcla debe ser de $23 \pm 1.7^\circ\text{C}$. La humedad relativa en el laboratorio no debe ser menor de 50%.

6.3.2.10.4. PROCEDIMIENTO

a. Preparación de la pasta de cemento

Sobre una superficie pulida y no absorbente se coloca una muestra de 500 g en forma de cono y se le hace un hoyo en el centro. Se vierte en el hoyo una cantidad medida de agua destilada y luego, con ayuda del palustre, se pasa al hoyo el cemento seco que lo rodea exteriormente, empleando en esta operación 30 segundos. Durante los siguientes 30 segundos, mientras se permite la absorción del agua, el cemento que aún permanece seco en el exterior del cono debe mezclarse suavemente mediante el palustre con la pasta húmeda para reducir las pérdidas por evaporación y facilitar la completa absorción. Luego se termina la operación mezclando y amasando con las manos, continua y vigorosamente durante 90 segundos. En este último paso y en el siguiente, el operador debe usar guantes de caucho bien ajustados.

De forma opcional se puede seguir el procedimiento descrito en la **Sección 6.3.2.11** "Mezcla mecánica de pastas y morteros de consistencia plástica".

b. Llenado de moldes

La pasta de cemento preparada se moldea con las manos, dándole forma esférica y se lanza 6 veces de una mano a otra a través de una distancia de unos 150 mm (6"). Con la muestra que permanece en una mano se llena completamente por la base mayor el molde, sostenido en la otra, quitando el exceso en esta base con un solo movimiento de la palma de la mano. Se coloca la placa de vidrio (H) sobre la base mayor, se voltea el conjunto y con ayuda de un palustre se quita el exceso en la base menor. Finalmente, el conjunto se sacude suavemente. Durante estas operaciones se debe tener cuidado de no comprimir la muestra.

c. Determinación de la consistencia normal

El conjunto constituido por la placa, la pasta y el molde se lleva al aparato y se centra debajo del vástago (B), se hace descender el mismo hasta que el extremo del émbolo (C) haga contacto con la superficie de la pasta y se fija en esta posición por medio del tornillo (E). Se lee la posición inicial del índice (F) en la escala o se desplaza el índice hasta que coincida con el cero superior; 30 segundos después de terminada la mezcla, se suelta el vástago cuidando que el aparato no esté sometido a ninguna vibración durante el ensayo. Se considera que la pasta tiene consistencia normal cuando el émbolo penetra 10 ± 1 mm, 30 segundos después de haber sido soltado. Si no se obtiene la consistencia normal en el primer ensayo, debe repetirse toda la operación, variando la cantidad de agua, hasta obtenerla; cada vez hay que emplear cemento nuevo.

6.3.2.10.5. CÁLCULOS

La cantidad de agua requerida para obtener una pasta de consistencia normal debe calcularse como un porcentaje en peso del cemento seco, con aproximación del 0.1% y reportarse con aproximación del 0.5%.

6.3.2.10.6. PRECISIÓN

Los resultados de dos ensayos obtenidos ya sea por un mismo operador o por distintos laboratorios, no diferirán en más de 1,10%.

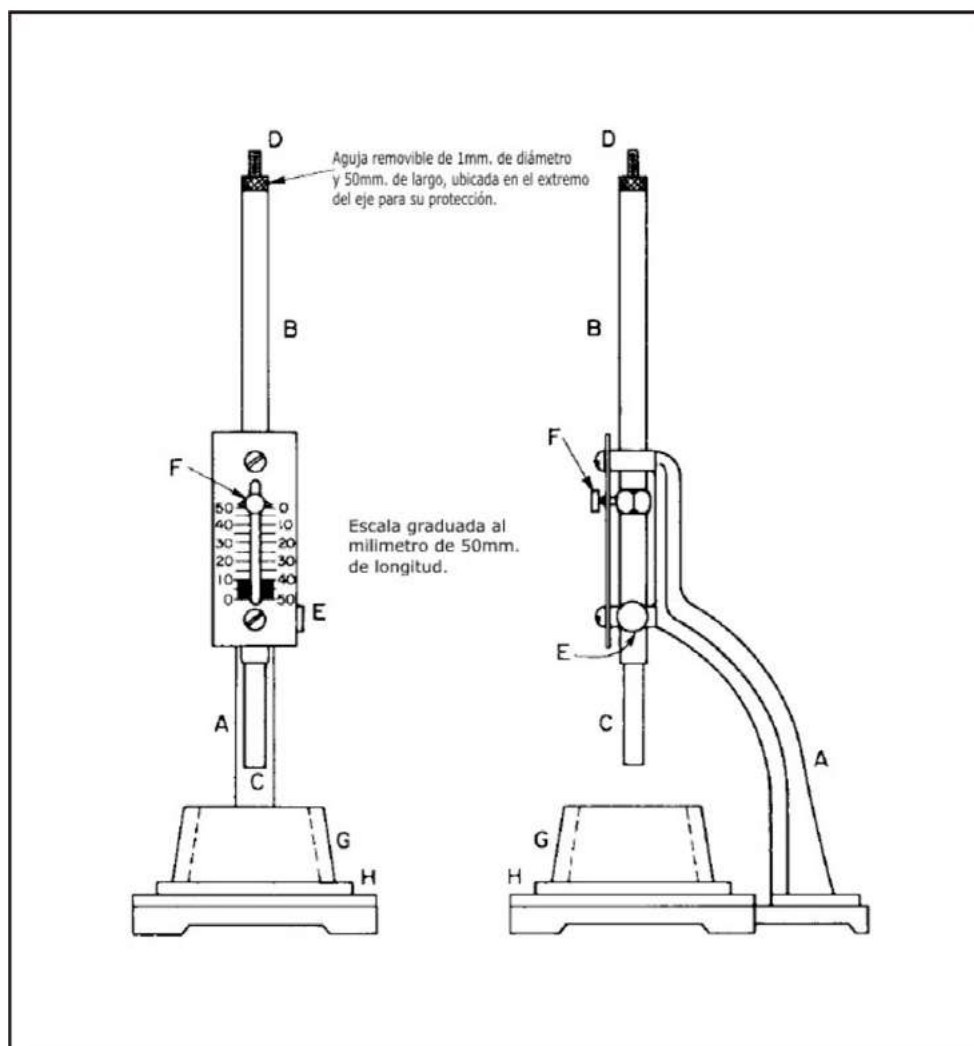


Figura 6.3_23. APARATO DE VICAT

SECCION 6.3.2.11.

MEZCLA MECÁNICA DE PASTAS DE CEMENTO HIDRÁULICO Y MORTEROS DE CONSISTENCIA PLÁSTICA (ASTM C 305 AASHTO T162)

6.3.2.11.1. OBJETO

Este método tiene por objeto, establecer el método para efectuar la mezcla mecánica de pastas de cemento hidráulico y morteros de consistencia plástica.

6.3.2.11.2. EQUIPO

B.1. Mezcladora

Consta de una paleta y un recipiente. Será impulsada eléctricamente, debe ser del tipo epicíclico, que imparte a la paleta movimiento de rotación y planetario; la mezcladora tendrá mínimo dos (2) velocidades, controladas por medios mecánicos (No se aceptarán ajustes de velocidad por medio de reóstatos); la velocidad primera, o baja, girará la paleta a razón de 140 ± 5 rpm y el movimiento del planetario será aproximadamente 62 rpm. La segunda o rápida, robará la paleta a razón de 285 ± 10 rpm, con movimiento del planetario de aproximadamente 125 rpm. El motor que acciona el sistema, tendrá una potencia mínima de 125 W (1/6 hp).

Cuando la mezcladora está en posición de trabajo, la distancia entre el borde inferior de la paleta y el fondo del recipiente de mezcla, no será mayor de 2,54 mm, ni menor de 0,76 mm.

B.2. Paleta mezcladora

Será de fácil remoción, construida de acero inoxidable, y cumplirá con el diseño mostrado en la **Figura 6.3_24**. Sus medidas serán tales que, cuando se encuentre en funcionamiento, su contorno se adapte al del recipiente usado con la mezcladora y quede entre ambos una luz de unos 4 mm, pero no menor de 0,76 mm, en el momento de su mayor proximidad.

B.3. Recipiente de mezcla

Será removible, construido de acero inoxidable, con las dimensiones y formas mostradas en la **Figura 6.3_25**, tendrá una capacidad nominal de $4,75 \text{ dm}^3$. Estará equipado con los elementos necesarios para su fijación a la base de la mezcladora. Estará provisto de una tapa de material no absorbente ni atacable por las mezclas de cemento.

B.4. Raspador

Es una paleta de caucho semiduro, de unos 75 mm de largo, por 50 mm de ancho y espesor que va disminuyendo hacia el borde hasta 2 mm. Lo anterior estará unido a un mango de alrededor de 150 mm de largo.

B.5. Equipo Suplementario

Balanzas, pesas, probetas graduadas, y cualquier otro aparato utilizado en la medición y preparación de pasta y morteros antes del mezclado, cumplirán con los requisitos especificados en las normas correspondientes sobre métodos de ensayo.

6.3.2.11.3. TEMPERATURA Y HUMEDAD

La temperatura en el cuarto donde se realiza el ensayo se mantendrá entre 20 y 27,5°C (68 y 81.5°F). Los materiales secos, la paleta y el recipiente mezclador, estarán dentro de los rangos anteriores, al momento del ensayo. El agua para la mezcla estará a una temperatura de $23 \pm 1,7^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3^\circ\text{F}$). La humedad relativa del laboratorio no será inferior al 50%.

6.3.2.11.4. MATERIALES

Las proporciones y calidades de los materiales, cumplirán los requisitos exigidos en el método particular para el cual se preparen la pasta o el mortero.

6.3.2.11.5. PROCEDIMIENTO

B.1. Para mezcla de pastas

Se colocan la paleta mezcladora y el recipiente de mezcla secos, en la posición de trabajo y se procede así:

- a) Se vierte la totalidad del agua de amasado en el recipiente.
- b) Se agrega el cemento y se deja en reposo 30 segundos, para que absorba el agua.
- c) Se mezcla a la velocidad lenta (140 ± 5 rpm) durante 30 segundos.
- d) Se detiene la mezcladora por 15 segundos, durante los cuales, con el raspador se pasa la pasta que se ha adherido a las paredes, al fondo del recipiente.
- e) Se mezcla a velocidad rápida (285 ± 10 rpm) durante 60 segundos.

B.2. Para la mezcla de morteros

Se coloca la mezcladora en posición de trabajo (secando la paleta y el recipiente) y se procede así:

- a) Coloque toda el agua de amasado en el recipiente.
- b) Agregar el cemento al agua y mezclar en baja velocidad por 30 segundos.
- c) Agregar lentamente la totalidad de la arena en un lapso de 30 segundos, mientras la mezcladora funciona a baja velocidad.
- d) Se detiene la mezcladora, se cambia a la velocidad rápida y se mezcla durante 30 segundos.
- e) Se detiene la mezcladora durante 90 segundos. En los primeros 15 segundos de este intervalo, se arrastra rápidamente hacia el fondo, el mortero que se ha adherido a las paredes. Para el resto del intervalo se tapa el recipiente.
- f) Finalmente se mezcla a velocidad rápida, durante 60 segundos.

Al requerirse un período de mezclado adicional, lo cual se debe establecer en el método respectivo, se arrastra hacia el fondo el material adherido a las paredes, antes de iniciar el mezclado adicional.

6.3.2.11.6. ADVERTENCIA

La luz entre el contorno de la paleta y el recipiente, especificada en este método, es adecuada para morteros ejecutados con arena normalizada. Cuando se use arena gruesa se debe reajustar la distancia entre el borde de la paleta y el recipiente, para evitar serios desperfectos al equipo.

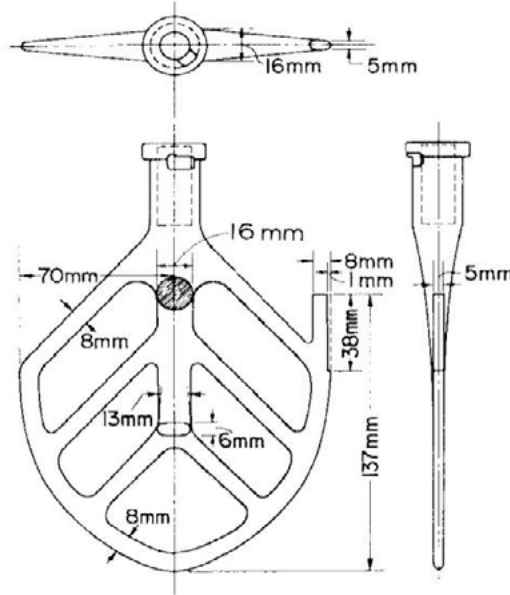


Figura 6.3_24. PALETA MEZCLADORA

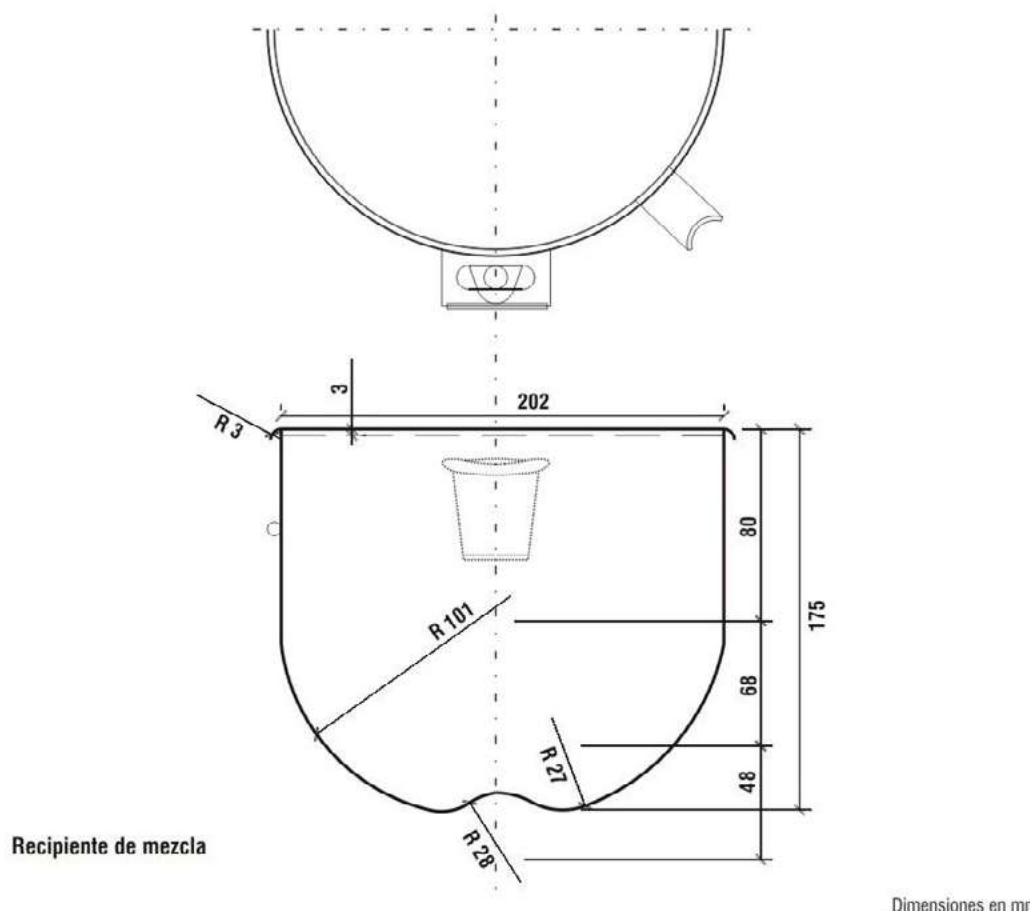


Figura 6.3_25. RECIPIENTE DE MEZCLA

SECCION 6.3.2.12.

EXUDACIÓN DE PASTAS Y MORTEROS DE CEMENTO (ASTM C 243)

6.3.2.12.1. OBJETO

Este método tiene por objeto determinar la velocidad y capacidad de exudación de las pastas y morteros de cemento.

6.3.2.12.2. EQUIPOS

B.1. Balanzas

Tendrán una capacidad de 5.000 g con precisión de 5 g para una carga total.

B.2. Pesas

Se usará un juego de las siguientes:

$1000 \pm 0,50$ g; $500 \pm 0,35$ g; $300 \pm 0,30$ g; $250 \pm 0,25$ g; $200 \pm 0,20$ g

B.3. Compactador

Construido de un material no absorbente ni abrasivo (caucho, madera dura), con una sección transversal de 12 x 25 mm y una longitud de 130 a 150 mm. La superficie de compactación debe ser plana y perpendicular a su eje longitudinal.

B.4. Aparato para medir la exudación

Consta de lo siguiente:

- a) Recipiente para la pasta o mortero, construido de metal anticorrosivo, de 127 mm (5") de diámetro, 102 mm (4") de altura. Un anillo exterior de 152 mm (6") de diámetro, soldado al perímetro del recipiente 12.7 mm (0.5") por debajo del borde superior y que sobresalga 38 mm (1.5") por encima del borde.

- b) Anillo colector

Debe ser de metal anticorrosivo, de 76 mm (3") de diámetro interior y con el borde inferior chaflanado para dirigir el ascenso del agua al embudo.

- c) Bureta y embudo

El conjunto de bureta y embudo deben ser de vidrio y con unión pulida, para facilitar la subida del agua en la bureta. La capacidad de la bureta debe ser de 25 ml y su longitud máxima de 46 cm., debe estar sostenida por un soporte, para la correcta colocación del embudo sobre el anillo colector. El diámetro exterior del embudo debe tener 74 mm (2.9") y el extremo del cuello debe cortarse perpendicularmente al eje longitudinal y tener el borde redondeado.

- d) Tubo capilar reducido, Llave de paso y Aspirador. Este conjunto debe colocarse en la partesuperior de la bureta, por medio de un adecuado tapón de caucho.

B.5. Mezcladora mecánica

Debe usarse la mezcladora indicada en la **Sección 6.3.2.11** “Mezcla Mecánica de Pastas de Cemento Hidráulico y Morteros de consistencia Plástica”.

B.6. Mesa de Flujo

Se debe usar la mesa señalada en la **Sección 6.3.2.15** “Método para determinar la Fluidéz de Morteros de Cemento Hidráulico”.

B.7. Molde

Se usará el molde que se utiliza en la **Sección 6.3.2.15** “Método para determinar la Fluidéz de Morteros de Cemento Hidráulico”.

6.3.2.12.3. CONDICIONES AMBIENTALES

La temperatura del laboratorio y la de los componentes de la mezcla será de $23 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ ($73,4 \pm 3^{\circ}\text{F}$).

La humedad relativa del laboratorio no debe ser menor de 50%.

6.3.2.12.4. ENSAYO SOBRE PASTAS

- La pasta que se debe emplear, cumplirá la siguiente proporción:
2300 g de cemento y 1035 g de agua.
- Al mezclar mecánicamente la pasta, deben seguirse los pasos siguientes:
- Colocar toda el agua en el recipiente de la mezcladora.
- Agregar el cemento y mezclar por 3 minutos a velocidad lenta (140 ± 5 rpm).
- Dejar la pasta en reposo durante 3 minutos, en los primeros 15 segundos de este período, se raspa la pasta adherida a las paredes de la mezcladora, luego se tapa durante el período restante.
- Repetir la operación de mezclado por 3 minutos a velocidad lenta.

B.1. Procedimiento

Una vez que se ha preparado la mezcla, se vierte cuidadosamente en el recipiente muestreador y se enrasa el borde superior por medio de una regla de acero. El enrasado debe ejecutarse en 15 segundos e inmediatamente comenzarse el ensayo. Se debe colocar el anillo colector en el centro de la superficie de la pasta e introducirlo aproximadamente 19,1 mm ($3/4$ ”). Se cubre la superficie de la pasta con tetracloruro de carbono hasta una altura de 32,0 mm ($1\frac{1}{4}$ ”).

Nota 1: Se requieren aproximadamente 500 ml de tetracloruro por ensayo. Se baja el conjunto bureta-embudo, colocado directamente sobre el anillo colector, de manera que quede a menos de 6,4 mm ($1/4$ ”) de éste. Se hace ascender tetracloruro de carbono hasta la marca de la bureta mediante el aspirador, cerrando luego la llave de paso, la marca en la bureta será el “cero”. Cuatro (4) minutos después se debe hacer la primera lectura; a continuación se hacen lecturas cada dos (2) minutos, durante un intervalo de 30 minutos y luego cada 10 minutos hasta cuando cese la exudación.

6.3.2.12.5. ENSAYO SOBRE MORTEROS

Para la preparación del mortero, se deben emplear 930 g de cemento y 2325 g de arena natural de sílice; la cantidad de agua necesaria, medida en gramos, será tal que produzca un flujo entre 105 y 110, determinado de acuerdo con la Sección 6.3.2.15, y debe expresarse como un porcentaje del peso de cemento.

Como guía, para el ensayo inicial, el peso de agua en porcentaje del cemento, para producir el flujo requerido, debe ser aproximadamente de 50 a 52% para cemento Portland con aire incluido y de 52 a 54% para cemento Portland sin aire incluido.

La mezcla se hará de la siguiente forma:

- a. Se coloca toda el agua en la mezcladora.
- b. Se adiciona el cemento y se inicia la mezcla durante 30 segundos a velocidad lenta (140 ± 5 rpm).
- c. Se agrega la arena lenta y cuidadosamente durante 30 segundos.
- d. Se continúa el mezclado a velocidad lenta durante un período adicional de dos (2) minutos.
- e. Se detiene la mezcladora y se deja en reposo el mortero durante tres (3) minutos; durante los primeros 15 segundos de este intervalo, se raspa el mortero adherido a las paredes, a continuación se cubre el recipiente con la tapa o con un paño húmedo.
- f. Finalmente se repite la operación de mezclado a velocidad lenta por tres (3) minutos.

B.1. Determinación del flujo

El flujo en la mezcla de mortero se determina de acuerdo al procedimiento descrito en el **Sección 6.3.2.15** con las siguientes excepciones:

La mesa de flujo se deja caer desde una altura de 13 mm ($\frac{1}{2}$ "), diez (10) veces en seis (6) segundos.

Cuando se haya obtenido una cantidad de mezcla (tongada) que tenga el flujo apropiado, la porción utilizada para hacer la determinación del flujo, se descarta y no se utiliza en la determinación de la pérdida de agua por exudación.

B.2. Procedimiento

Inmediatamente después del ensayo de flujo, el mortero que queda en el recipiente de mezclado, se vuelve a mezclar durante 30 segundos, dentro de un tiempo total no mayor de 2 minutos y 30 segundos, después de completar la mezcla original de mortero. Empiece colocando el mortero en el recipiente muestreador, en tres (3) capas, apisonando cada capa 40 veces con el compactador y nivelando la superficie con el borde del recipiente, alisándola con la platina de acero de borde recto. Continúe el ensayo de manera similar para la pasta (punto "Ensayo sobre la pasta"), tomando como tiempo inicial el de la terminación de la nivelación de la superficie del mortero en el recipiente.

6.3.2.12.6. CÁLCULOS

B.1. Velocidad de Exudación

Se calcula la velocidad inicial de exudación, utilizando los valores tomados durante los primeros 30 minutos del ensayo, cuando la pérdida de agua tiene velocidad uniforme.

Nota 2: Puesto que muchos cementos no pierden agua a velocidad uniforme durante los primeros 30 minutos del ensayo, se hace necesario dibujar un gráfico de valores de “pérdida de agua contra tiempo” para determinar la correcta pendiente inicial de la curva, la cual es la rata de exudación inicial.

$$R_B = V_1 / A \times t$$

Donde:

R_B = Velocidad de exudación, $\text{cm}^3/\text{cm}^2.\text{s}$

V_1 = Volumen de la pérdida de agua en cm^3 , medido durante el intervalo de tiempo t .

A = Area, en cm^2 , comprendida entre el anillo colector (76,2 mm (3") diámetro).

t = Tiempo, en segundos, durante el cual la pérdida de agua tiene la velocidad uniforme.

Capacidad de Exudación

Se calcula como sigue:

$$C_B = V_2 / V_3$$

Donde:

C_B = Capacidad de exudación, cm^3/cm^3 .

V_2 = Volumen total de la pérdida de agua, cm^3 .

V_3 = Volumen del cilindro de pasta o mortero directamente debajo del anillo colector en cm^3 .

6.3.2.12.7. INFORME

En el informe de cálculo y resultados, los valores de velocidad y capacidad de exudación, se expresan con aproximación de 3 cifras significativas.

6.3.2.12.8. PRECAUCIÓN

El aparato para la medida de exudación, deberá colocarse en un lugar donde no haya vibraciones y preferiblemente sobre una lámina de caucho o equivalente.

SECCION 6.3.2.13.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C 109)

6.3.2.13.1. OBJETO

Este ensayo cubre la determinación del esfuerzo de compresión de morteros de cemento hidráulico, usando cubos de 50,8 mm (2") de lado.

La compresión se medirá sobre dos (2) cubos de 50,8 mm (2") compactados en dos (2) capas.

Los cubos serán curados un día en los moldes y se desmoldarán y sumergirán en agua-cal hasta su ensayo.

6.3.2.13.2. EQUIPO

B.1. Balanzas, con capacidad de 2.000 g y precisión de 2 g.

B.2. Tamices

Se requiere una serie con los siguientes:

1,18 mm (No.16)	300 µm (No.50)
600 µm (No.30)	150 µm (No.100).

B.3. Probetas

Las probetas de vidrio, deben tener con preferencia una capacidad que permita medir el agua total de mezcla, en una sola operación; serán graduadas por lo menos cada 5 ml y tendrán una precisión de 2 ml, al indicar el volumen a 20°C (68°F).

B.4. Cámara húmeda

Se requiere una cámara que tenga condiciones adecuadas, para almacenar con facilidad las muestras, y mantener una temperatura de $23 \pm 1,7^\circ\text{C}$, con una humedad relativa no menor del 90%.

B.5. Moldes

Para los cubos de 50,8 mm (2") se requieren moldes que no tengan más de tres (3) compartimentos, ni consten de más de dos (2) elementos separables. Estos elementos deben estar dotados de dispositivos que aseguren una perfecta y rígida unión; serán fabricados de metal duro, no atacable por las mezclas de cemento y que no vayan a producir ensanchamientos o pandeos en los especímenes.

Las caras interiores, serán planas y lisas con variación máxima de 0,025 mm; la distancia entre las caras opuestas, (50,8 mm) tendrá variación máxima de 0,508 mm y la altura de 50,8 mm tendrá una variación permisible de 0,38 mm. El ángulo formado por las caras interiores adyacentes será de $90 \pm 0,5^\circ$.

B.6.Mezcladora

Cumplirá con los requisitos de la **Sección 6.3.2.11.**

B.7.Mesa de Flujo

Cumplirá con los requisitos de la **Sección 6.3.2.15.**

B.8.Compactador

Cumplirá con lo especificado en la **Sección 6.3.2.15.**

B.9.Palustre

Será de una longitud entre 100 y 150 mm (4" y 6") con hoja de acero.

B.10.Máquina de Ensayo

Podrá ser mecánica o hidráulica, con una abertura suficiente entre los apoyos, para que permita colocar la muestra y los aparatos de comprobación. La carga aplicada a la muestra, deberá medirse con una tolerancia de $\pm 1,0\%$. El soporte superior, tendrá una esfera metálica firmemente asegurada al centro del apoyo superior de la máquina (sistema de rótula). El centro de la esfera estará sobre la perpendicular levantada el centro de la superficie del bloque en contacto con la muestra (cubo).

El bloque se colocará asentando sobre la esfera, pero podrá inclinarse libremente en cualquier dirección. La diagonal o diámetro de la superficie de apoyo será ligeramente mayor que la diagonal de la cara de la muestra (cubo), para facilitar su centrado. Debajo del cubo se colocará un bloque metálico para minimizar el desgaste del plato inferior de la máquina. Este bloque tendrá marcas grabadas, que permitan centrar exactamente el cubo y su dureza Rockwell no será inferior a 60 HRC. Las superficies que van a hacer contacto con los cubos, deben ser planas y con variación permisible de 0,025 mm (0.001").

6.3.2.13.3. MATERIALES - ARENA

La arena usada para hacer las muestras (cubos), en este ensayo, será natural de sílice; normalizada para ensayo y gradada de acuerdo con los siguientes tamices:

Tabla 6.3_35. TAMICES PARA NORMALIZACIÓN Y GRADACIÓN DE ARENA

Tamices		% que pasa
	Alternativa	
1,18 mm	(No.16)	100
600 μm	(No.30)	96 - 100
300 μm	(No.50)	23 - 33
150 μm	(No.100)	0 - 4

Para comprobar la gradación normalizada, se toma el contenido de un saco lleno de arena, de aproximadamente 45 kg, se extiende en una superficie plana y por cuarteo se toman unos 700 g; de esta muestra, se toman unos 100 g y se hace el tamizado, tomando las mallas en forma independiente; en 60 segundos de continuo tamizado no pasarán por el tamiz más de 0,5 g. El material retenido en cada malla estará de acuerdo con la gradación presentada antes.

6.3.2.13.4. CONDICIONES DE ENSAYO

Condiciones Ambientales. La temperatura del aire en las vecindades de la mezcladora, moldes, materiales, prensa, etc., será de 20 a 27,5°C (68 a 81.5°F).

El agua de mezclado tendrá una temperatura de $23 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ ($73.4 \pm 3^{\circ}\text{F}$). La humedad relativa no será menor del 50%. Se deberá comprobar el flujo del mortero conforme lo establecido en la **Sección 6.3.2.15**.

Se deben hacer varios morteros de prueba con variantes en el porcentaje de adición del agua hasta obtener el flujo especificado. Cada prueba se hará con mortero nuevo. (**Sección 6.3.2.15**).

6.3.2.13.5. PROCEDIMIENTO

B.1.Preparación de los moldes

A los moldes se les aplicará en sus caras interiores una capa delgada de aceite mineral ligero. Las superficies de contacto de los elementos separables se revestirán de una capa de aceite mineral pesado, luego se unen estos elementos y se elimina el exceso de aceite en cada uno de los compartimentos. Luego se coloca el molde sobre una placa plana, no absorbente, cubierta con una delgada capa de aceite. En la parte exterior de las juntas de las partes que componen el molde, o de éstos con la placa, se aplicará una mezcla de 3 partes en peso de parafina y 5 partes de resina o cera calentada a $110 - 120^{\circ}\text{C}$, para impermeabilizar.

B.2.Composición del mortero

Las proporciones en peso de materiales para el mortero normal serán de una (1) parte de cemento y 2,75 partes de arena gradada, usando una relación agua - cemento de 0,485 para los cementos Portland y 0,460 para las que contienen aire; sin embargo, será tal que produzca un flujo de 110 ± 5 , expresada en porcentaje del cemento.

Las cantidades que deben ser mezcladas para formar la tongada parra seis (6) cubos de ensayo, serán de 500 g de cemento y 1375 g de arena y 242 ml de agua, aproximadamente. Para nueve (9) cubos se requieren 740 g de cemento, 2035 g de arena y 359 ml de agua.

B.3.Moldeo de especímenes

Después de preparado el mortero, hay que dejarlo quieto en la mezcladora por 90 segundos, sin cubrirla. Durante los últimos 15 segundos de este intervalo, rápidamente se debe raspar el mortero pegado en las paredes y luego remezclar por 15 segundos a velocidad lenta. Dentro de un tiempo transcurrido no mayor de 2 minutos y 30 segundos después de completar la mezcla original de la tongada, se inicia el llenado de los compartimentos, colocando una capa de más o menos 25 mm (1") de espesor (aproximadamente la mitad del molde), en cada uno de los compartimentos, y se apisonan con 32 golpes que se aplicarán sobre la superficie, en 4 etapas de 8 golpes adyacentes cada una, como se ilustra en el siguiente esquema.

1	2	3	4
8	7	6	5

4	5
3	6
2	7
1	8

Los golpes de cada etapa se darán siguiendo una dirección perpendicular a los de la anterior; la presión del compactador será tal, que asegure el llenado de los compartimentos. Se deben completar las cuatro (4) etapas de compactación, en cada compartimento, antes de seguir con el siguiente. Una vez terminada la etapa de la primera capa en todos los compartimentos, se llenan con una segunda capa y se procede como en la primera.

Durante la compactación de la segunda capa, al completar cada etapa y antes de iniciar la siguiente, se introduce en el compartimento el mortero que se ha depositado en los bordes del molde. A lo largo de estas operaciones, el operario usará guantes de caucho.

Al finalizar la compactación, las caras superiores de los cubos, deben quedar un poco más altas que el borde superior de los moldes. La superficie de los cubos debe ser alisada con la parte plana del palustre, retirando el mortero sobrante, con un movimiento de vaivén.

B.4. Almacenamiento de los especímenes

Terminada la operación de llenado, el conjunto de molde y placa, se colocará en la cámara húmeda durante 20 o 24 horas, con la cara superior expuesta al aire húmedo, pero protegidos contra la caída de gotas. Si los cubos se retiran del molde antes de las 24 horas, se dejarán en la cámara húmeda hasta completar este tiempo. Los cubos que no se van a ensayar a las 24 horas, se sumergen en agua-cal saturada dentro del tanque de almacenamiento, construido con material no corrosivo; el agua del tanque se renovará frecuentemente para que permanezca limpia.

B.5. Ensayo

Los cubos que van a ser ensayados a las 24 horas, se sacan de la cámara húmeda cubriéndolos con un paño húmedo, mientras se van pasando a la máquina. Para los otros cubos, deben sacarse del tanque de almacenamiento uno a uno y probarse inmediatamente. Todos los cubos se ensayarán dentro de las siguientes tolerancias de tiempo: a las 24 horas $\pm \frac{1}{2}$ hora; a los 3 días ± 1 hora; a los 7 días ± 3 horas; y a los 28 días ± 12 horas.

Los cubos deberán secarse y dejarse limpios de arena suelta, o incrustaciones, en las caras que van a estar en contacto con los bloques de la máquina de ensayo. Se debe comprobar por medio de una regla, que las caras están perfectamente planas.

Colóquese cuidadosamente el espécimen en la máquina de ensayo, debajo del centro de la parte superior de la máquina, comprobándose antes de ensayar cada cubo, que la rótula gira libremente en cualquier dirección. No se usarán amortiguadores entre el cubo y los bloques de carga.

Cuando se espera que el cubo resista una carga máxima superior a 13,3 kN (3000 lbf), se aplica a éste una carga inicial de la mitad del valor esperado, a velocidad conveniente; si se espera que la carga que va a resistir sea menor de 13,3 kN (3000 lbf), no se aplicará carga inicial al cubo. La velocidad de aplicación de la carga se calcula en tal forma que la carga restante para romper los cubos con resistencia esperada mayor de 13,3 kN (3000 lbf) o la carga total en los otros, se aplique sin interrupción en un tiempo comprendido entre 20 y 80 segundos, desde el inicio de la carga. No se hará ningún ajuste a la máquina mientras se esté efectuando el ensayo.

6.3.2.13.6. CÁLCULOS E INFORME

Se anotará la carga máxima indicada por la máquina de ensayo en el momento de la rotura y se calcula la resistencia a la compresión, siendo el área nominal de la sección del cubo de 2581 mm², la cual no debe variar de la real en ± 38 mm²; si hay variación mayor, el cálculo se hará con base en el área real.

Los cubos defectuosos o los que den resistencias que difieran en más del 10% del promedio de todas las muestras hechas de la misma mezcla y ensayadas al mismo tiempo, no se tendrán en cuenta al determinar la resistencia. Cuando se trate de ensayos especiales, se fundirá un número mayor para obtener un promedio final de más de tres (3) resultados.

SECCION 6.3.2.14.

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C 348)

6.3.2.14.1. OBJETO

Este método tiene por objeto definir el método para determinar la resistencia a la flexión, de morteros de cemento hidráulico.

El ensayo se ejecutará sobre prismas de 40 x 40 x 160 mm (1.575 x 1.575 x 6.3 pulg) moldeados en dos (2) capas y curados durante 24 horas.

6.3.2.14.2. EQUIPO

- Balanzas, pesas, tamices, probetas y mezcladora; deberán cumplir con lo establecido en la **Sección 6.3.2.13**
- Mesa de Flujo, de acuerdo a la **Sección 6.3.2.15**.
- Moldes. Serán construidos de metal no atacable por los morteros de cemento y de espesor tal, que no presenten deformaciones al ser llenados con la muestra; constarán de tres (3) compartimentos de 40 x 40 x 160 mm (1.575 x 1.575 x 6.3 pulg) cada uno, con las siguientes tolerancias para el ancho y alto: de $\pm 0,13$ mm (0.01") para moldes nuevos, o 0,25 mm (± 0.02 ") para moldes en uso; la longitud puede variar en $\pm 2,54$ mm (± 0.10 "). Las caras interiores serán planas; los ángulos entre dos caras interiores adyacentes deben ser de $90 \pm 0.5^\circ$. El molde debe colocarse sobre una placa de unos 10 mm (3/8") de espesor, con una superficie plana de 178 mm (7") por 203 mm (8") con variación permisible de 0.025 mm (0.001").
- Compactador. El compactador debe ser de un material no absorbente ni quebradizo, como caucho de dureza media o madera curada, deberá cumplir con la forma y dimensiones de la **Figura 6.3_26**.
- Guía del compactador. Se construirá de un metal no atacable por el mortero, como bronce; de dureza no inferior de 55B. De acuerdo a la forma y dimensiones de la **Figura 6.3_27**, ésta debe acoplarse al molde en tal forma, que sus bordes inferiores no se separen de los superiores del molde, en más de 0.38 mm (0.015"). La altura total de la guía debe ser de 25,4 mm (1").
- Paleta de albañil. Constará de una hoja de acero de 112 x 254 mm (4½ x 10").
- Dispositivos para la prueba de flexión. Serán diseñados en tal forma, que cumplan con los siguientes requisitos:
 - a) La muestra será cargada en su punto medio.
 - b) Las distancias entre los puntos de apoyo y el de aplicación de la carga, permanecerán constantes.
 - c) La carga será aplicada normal a la superficie de la muestra de manera que no produzca excentricidades.
 - d) Las direcciones de las reacciones serán paralelas a la de la carga aplicada durante

el ensayo.

- e) La carga será aplicada a velocidad uniforme y sin producir impacto.

Las **Figuras 6.3_28 y 6.3_29** muestran dispositivos diseñados para cumplir las condiciones anteriores, que pueden ser acoplados a la máquina de compresión o a la de tensión, respectivamente.

Si se emplea una máquina de compresión hidráulica, con suficiente abertura entre las superficies de apoyo, para permitir el uso de los aparatos de comprobación, deberá usarse el dispositivo mostrado en la **Figura 6.3_28**.

Si se utiliza Máquina de Tensión, **Sección 6.3.2.17**, se utilizará el dispositivo mostrado en la **Figura 6.3_29**.

6.3.2.14.3. MUESTRAS

Deben prepararse tres (3) o más muestras para cada período de ensayo.

Se usará arena gradada normalizada, del tipo Ottawa, o la especificada en el ensayo, **Sección 6.3.2.17**.

La temperatura del ensayo estará, entre 20 y 27,5°C (68 y 81.5°F); el agua de amasado estará a $23 \pm 1,7^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3^\circ\text{F}$). La humedad relativa no será menor del 50%.

Las proporciones en peso para formar un mortero normal, deben ser de una (1) parte de cemento y 2,75 partes de arena gradada seca. Para obtener tres (3) muestras, deberán usarse 500 g de cemento y 1375 g de arena.

La cantidad de agua de amasado, dada en ml, será la que produzca una fluidez de 110 ± 5 , determinada de acuerdo a la **Sección 6.3.2.15**. La mezcla se ejecutará mecánicamente, según la **Sección 6.3.2.11**.

6.3.2.14.4. PREPARACIÓN Y LLENADO DE LOS MOLDES

A los moldes se les aplicará una capa delgada de aceite mineral. Las superficies de contacto de los elementos separables, se revestirán con una capa delgada de aceite mineral pesado o grasa ligera. Luego, se unen los elementos que componen el molde y se eliminan los excesos de aceite o grasa, y se coloca el molde en una placa plana no absorbente y cubierta con una capa delgada de aceite mineral. En la parte exterior de las juntas de los elementos, se aplicará una mezcla de tres (3) partes de parafina y cinco (5) de resina, o cera, en peso, calentadas entre 110 y 120°C (230 y 248°F), para impermeabilizarlas.

Preparado el mortero y remezclado por 15 segundos a velocidad lenta, se vierte una capa de aproximadamente 20 mm (3/4") de espesor, uniformemente distribuida en cada compartimento, acoplado previamente la guía del compactador al molde y se procede a compactar el mortero en cada molde, por 12 veces, aplicadas en tres (3) etapas de 4 golpes cada una, como se muestra en el esquema. Para dar cada golpe del compactador, se coloca la cara inferior de éste en posición horizontal a unos 25 mm (1") de la superficie de la capa, y se baja verticalmente con una fuerza tal, que haga salir una pequeña cantidad de mortero debajo de la superficie de compactación.

Se termina el llenado total de los compartimentos con capas de mortero uniformemente distri-

buidas, que se compactan en la forma utilizada con la primera capa.

Se retira la guía de compactación y se alisa la superficie de la muestra; se enrasa y se elimina el exceso de mortero; se reparan las rajaduras en la cara superior y se alisa la superficie con 2 ó 3 pasadas del palustre. Las muestras se almacenan como se indica en la **Sección 6.3.2.13**.

Tabla 6.3_36. ORDEN DE APISONADO DE LAS CAPAS

1	2
4	3

6.3.2.14.5. ENSAYO

Las muestras que van a ser ensayadas a las 24 horas se sacan de la cámara húmeda, se secan y limpian superficialmente y se pasan a la máquina de prueba. Si son varias las muestras que se sacan de la cámara húmeda o del tanque, se cubrirán con una toalla húmeda. Todas las muestras se probarán dentro de las siguientes tolerancias.

Tabla 6.3_37. TOLERANCIAS

Edad de la muestra	Tolerancia
24 horas	± ½ hora
3 días	± 1 hora
7 días	± 3 horas
28 días	± 12 horas

Se debe comprobar por medio de una regla, que las caras sean perfectamente planas; si tienen curvatura, se tratará de rasparlas y si no es posible, se desecharán.

Se acoplan los dispositivos para la prueba de flexión en la máquina de ensayo. Se coloca la muestra sobre los cilindros de apoyo en tal forma, que quede sobre éstos una cara que haya estado en contacto con la pared del molde. El eje longitudinal de la muestra y los puntos medios de los cilindros en contacto con ella, deben estar en el mismo plano vertical. Se acopla a la máquina el dispositivo para la aplicación de la carga, en tal forma que el eje longitudinal del cilindro de carga, forme ángulo recto con el eje longitudinal de la muestra, sea paralelo a la cara a la que se le aplica la carga y pase por el punto medio de la longitud de la muestra. Se debe garantizar durante el ensayo, un contacto perfecto entre el cilindro de carga y la muestra.

La carga será aplicada a una velocidad de 272 ± 12 kg/min (600 ± 25 lbf/min), la cual se leerá con aproximación de $\pm 1\%$ en un tablero graduado. Debe anotarse la carga de rotura, con una aproximación de 2 kg (5 lbf).

6.3.2.14.6. CÁLCULOS

Se anota la carga máxima de rotura y se calcula la resistencia a la flexión por la fórmula:

$$S = 0.28P$$

Siendo:

S = Resistencia a la flexibilidad, KPa
 P = Carga máxima total, N

$$S = 0.278P$$

Siendo:
 S = Resistencia a la flexión, en kg/cm².
 P = Carga máxima aplicada en kg., ó

$$S = 1.8P$$

S = Resistencia a la flexión, en lb/pulg²
 P = Carga máxima total en, lbf.

La resistencia del mortero a la flexión es el promedio de los resultados obtenidos con la misma muestra (tongada) y en el mismo período de ensayo.

Nota 1: Las muestras defectuosas o las resistencias que difieran más del 10% del promedio no se tendrán en cuenta para promedio.

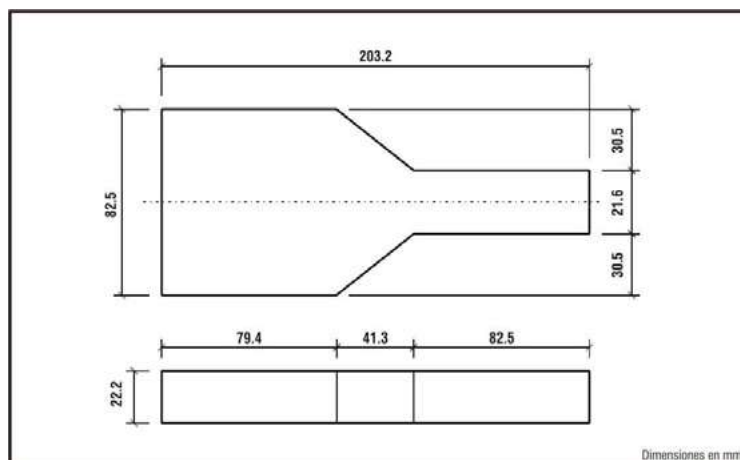


Figura 6.3_26. COMPACTADOR

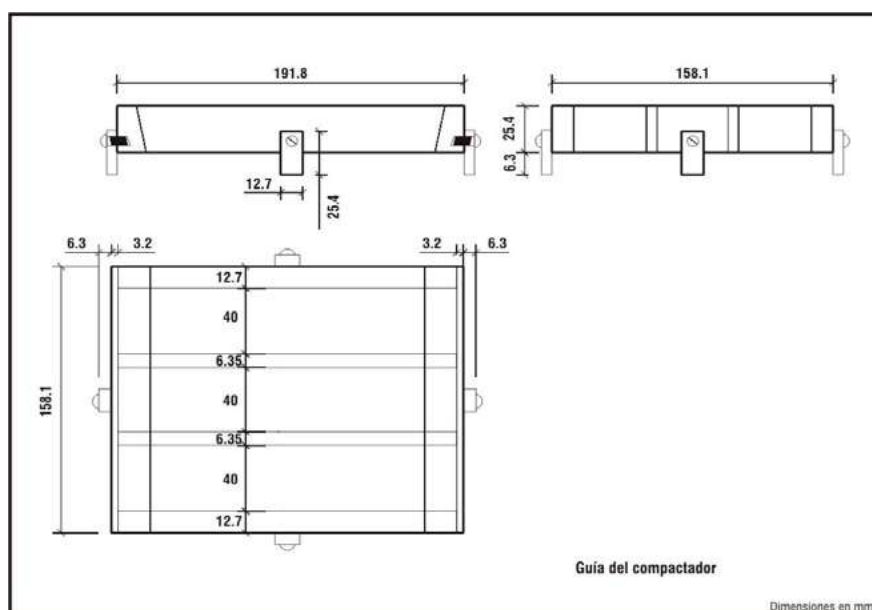


Figura 6.3_27. GUÍA DE COMPACTADOR

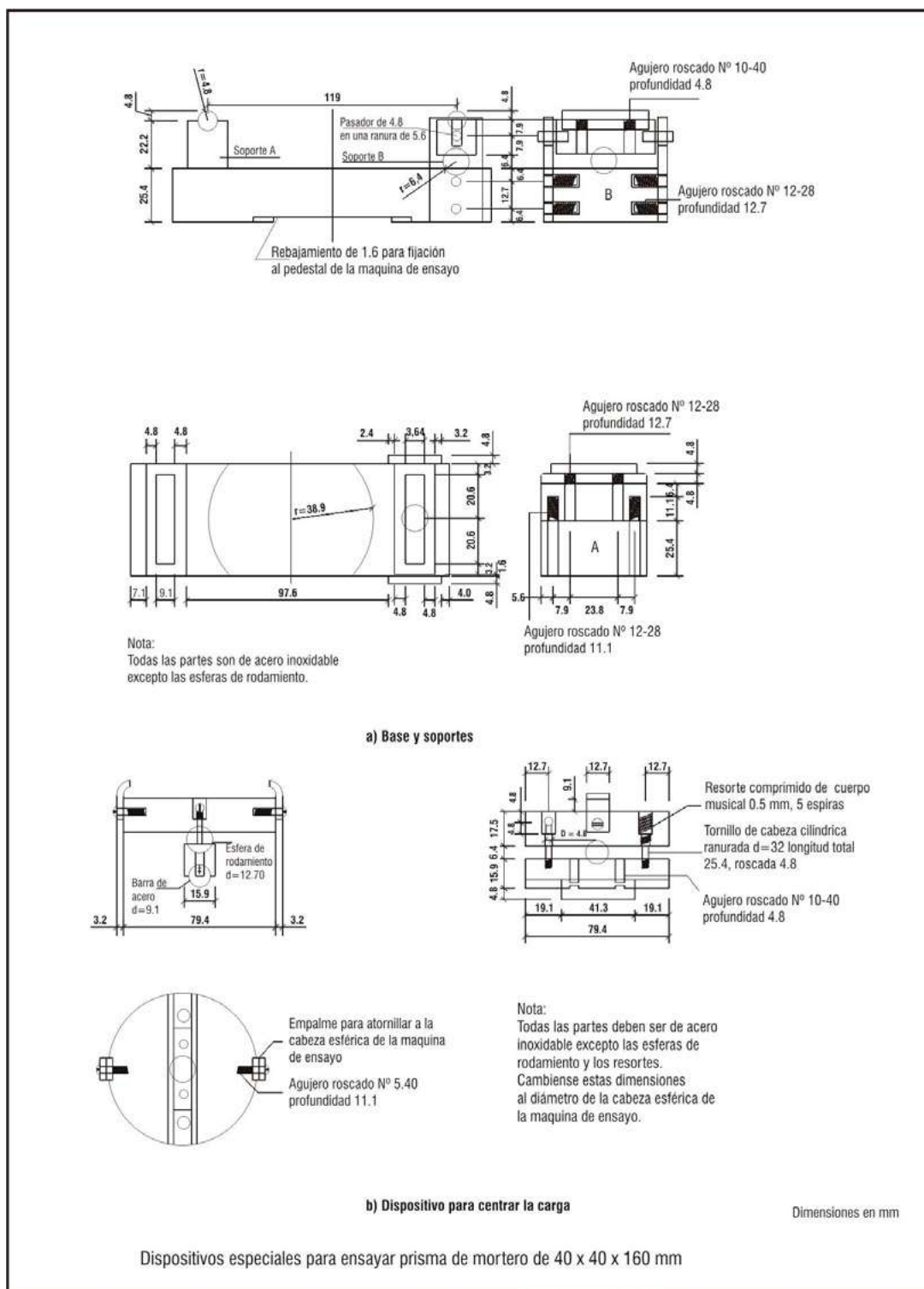


Figura 6.3_28. DISPOSITIVOS ESPECIALES PARA ENSAYAR PRISMAS DE MORTEROS DE 40 X 40 X 160 MM

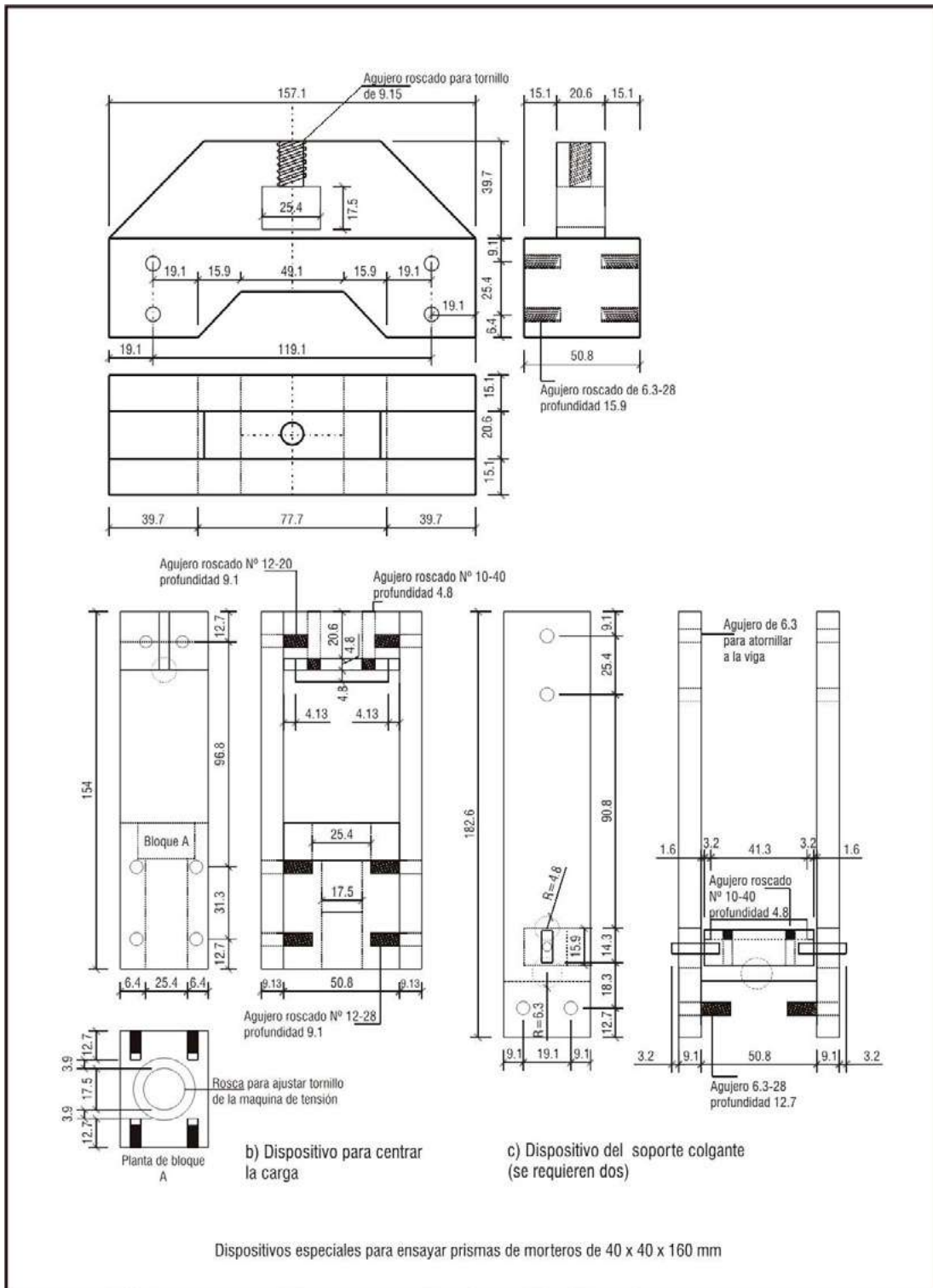


Figura 6.3_29. DISPOSITIVOS ESPECIALES PARA ENSAYAR PRISMAS DE MORTEROS DE 40 X 40 X 160 MM

SECCION 6.3.2.15.

FLUIDEZ DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C 230 AASHTO M152)

6.3.2.15.1.OBJETO

Este método, establece el método para determinar la fluidez de morteros de cemento hidráulico, utilizando la mesa de flujo.

6.3.2.15.2. EQUIPO

B.1.Mesa de flujo

Se trata de una mesa como se muestra en la **Figuras 6.3_30 y 6.3_31** y consta en esencia de lo siguiente: Un soporte, un árbol y una plataforma circular.

La plataforma o mesa será circular de $254 \pm 2,54$ mm (10 ± 0.1 ") de diámetro y 7,62 mm (0.3") de espesor; debe ser de bronce o latón de dureza Rockwell no menor de 25 B y debe tener en la cara inferior 6 nervios integrales de refuerzo, dispuestos radialmente. La cara superior debe ser plana, pulida y libre de defectos superficiales.

El árbol es un elemento que va unido perpendicularmente al centro de la plataforma por medio de una rosca, y que a su vez se montará rígidamente en el soporte, de tal forma que pueda bajar y subir verticalmente, dentro de una altura determinada, por medio de una leva rotativa. La tolerancia para la altura es de $\pm 0,13$ mm (± 0.005 ") para mesas nuevas, y de $\pm 0,38$ mm (± 0.015 ") para mesas en uso.

La leva y el árbol (ver Figuras 6.3_31, Fig. 2B y 2C) deben ser de acero semiduro; el acero del árbol debe ser endurecido por templado. El árbol debe ser recto. La tolerancia entre el diámetro del cilindro del soporte y el árbol, estará comprendida entre 0,05 y 0,08 mm (0.002" y 0.003") para mesas nuevas, y entre 0,05 y 0,25 mm (0.002 y 0.010") para mesas usadas. La leva debe tener forma de espiral, con un radio que aumenta de 12,7 a 31,75 mm ($\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{4}$ ") en 360 grados. El extremo del árbol no debe golpear la leva en el punto de caída, debe hacer contacto con ésta suavemente antes de 120 grados, contados a partir de dicho punto. La leva y el árbol deben diseñarse en tal forma que la plataforma no rote más de una vuelta en 25 caídas. Las superficies de la cara superior del soporte y del resalte del árbol, deben hacer contacto perfecto en el momento de la caída de la plataforma; para esto, deben mantenerse pulidas, planas y paralelas a la cara superior de la mesa.

El soporte debe ser de hierro fundido de grano fino de alta calidad y debe tener tres (3) nervios de refuerzo integrales, a lo largo de toda la altura, separados 120° grados. Un mínimo de 6.35 mm ($\frac{1}{4}$ ") de la cara superior del soporte, debe endurecerse por templado.

La mesa de flujo debe ser accionada por un motor de 0,3 W (1/20 HP) como mínimo, conectado al eje de la leva por medio de un engranaje helicoidal blindado, que reduzca la velocidad. La velocidad de la leva debe ser de 100 r.p.m. El motor no debe montarse o soportarse en la base del soporte, ni en el árbol.

B.2.Montaje de la mesa de flujo

El soporte de la mesa se atornillará firmemente a una platina de hierro o acero, de 254 mm (10") de lado y 25,4 mm (1") de espesor, cuya cara superior sea fresada hasta obtener una su-

perficie plana y pulida. La placa debe anclarse a un pedestal de hormigón por medio de cuatro (4) pernos de 12,7 mm ($\frac{1}{2}$ ") de diámetro, embebidos en el pedestal un mínimo de 152,4 mm (6").

La base del pedestal y la cara inferior de la placa deben hacer contacto en todos sus puntos. El pedestal será un tronco piramidal monolítico de 635 a 762 mm (25" a 30") de altura, con sección cuadrada superior, cuyo lado sea entre 254 y 280 mm (10 y 11") y cuya base cuadrada tiene lado entre 381 y 406 mm (15 y 16").

Bajo cada esquina del pedestal debe colocarse un empaque cuadrado de corcho de 100 mm (4") de lado, por 12,7 mm ($\frac{1}{2}$ ") de espesor. Se debe controlar frecuentemente el nivel de la mesa, la firmeza del pedestal y el ajuste de los pernos de anclaje.

Una vez que ha sido montado el árbol en el pedestal, la mesa de flujo deberá nivelarse en las posiciones alta y baja, a lo largo de diámetros perpendiculares entre sí.

El árbol de la mesa de flujo, debe mantenerse limpio y cuidadosamente lubricado con aceite liviano, tipo (SAE-10), lo mismo que la leva, para disminuir el desgaste. Cuando la mesa no haya sido usada durante algún tiempo, debe levantarse y dejarse caer la plataforma por lo menos 12 veces antes de empezar los ensayos.

B.3. Molde

Debe ser de bronce o latón, de dureza Rockwell no inferior a 25 B, su peso no será inferior a 907 g, y su espesor mínimo de 5,1 mm (0.2"), su forma es de tronco de cono recto, con base superior de $69,8 \pm 0,5$ mm (2.75 ± 0.02 ") de diámetro para moldes nuevos y $69,8 \pm 1,3$ mm (2.75 ± 0.05 ") de diámetro para moldes usados; la base inferior será de $100 \pm 0,5$ mm (4 ± 0.02 ") de diámetro y altura de $50 \pm 0,5$ mm (2 ± 0.02 ").

La base menor estará provista de un collar integral, para facilitar su remoción; en la base inferior del molde, debe colocarse una corona de un material no atacable por el mortero y unos 254 mm de diámetro mayor y 100 mm de diámetro menor, con el objeto de evitar que el mortero que queda fuera del molde, cuando esté lleno, caiga sobre la plataforma.

B.4. Calibrador

Se usará uno para medir los diámetros de la base del mortero, durante el ensayo. Las divisiones de la escala deberán estar grabadas sobre la superficie metálica.

B.5. Compactador

Será de material no absorbente, abrasivo ni quebradizo, como caucho de dureza media o madera (Roble curado). La sección transversal debe ser rectangular de unos 13 x 16 mm ($\frac{1}{2}$ x 0.6") y una longitud entre 130 y 150 mm (5' y 6").

6.3.2.15.3. PROCEDIMIENTO

a. Llenado del Molde

Se limpia y se seca la plataforma de la mesa de flujo, se coloca el molde en el centro, se vierte en el molde una capa del mortero que se requiere ensayar, de unos 25 mm (1") de espesor, y se apisona con 20 golpes del compactador, uniformemente distribuidos; con una segunda capa de mortero, se llena totalmente el molde y se apisona como la primera capa.

La presión del compactador, será la suficiente que asegure el llenado uniforme del molde. Se

retira el exceso de mortero de la capa superior y se alisa la superficie por medio de un palustre.

b. Ensayo

Lleno el molde, se limpia y se seca la plataforma de la mesa, teniendo cuidado de secar el agua que está alrededor de la base del molde.

Después de un (1) minuto de terminada la operación de mezclado, se retira el molde, levantándolo e inmediatamente se deja caer la mesa de flujo desde una altura de 12,7 mm (½") 25 veces en 15 segundos. Luego se mide el diámetro de la base de la muestra, por lo menos en cuatro puntos equidistantes y se calcula el diámetro promedio.

c. Interpretación de los resultados

La fluidez es el aumento del diámetro de la muestra, expresado como un porcentaje del diámetro de la base mayor del molde, según la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Fluidez} = \frac{\text{Diámetro promedio} - 101,6 \text{ mm}}{101,6 \text{ mm}} \times 100$$

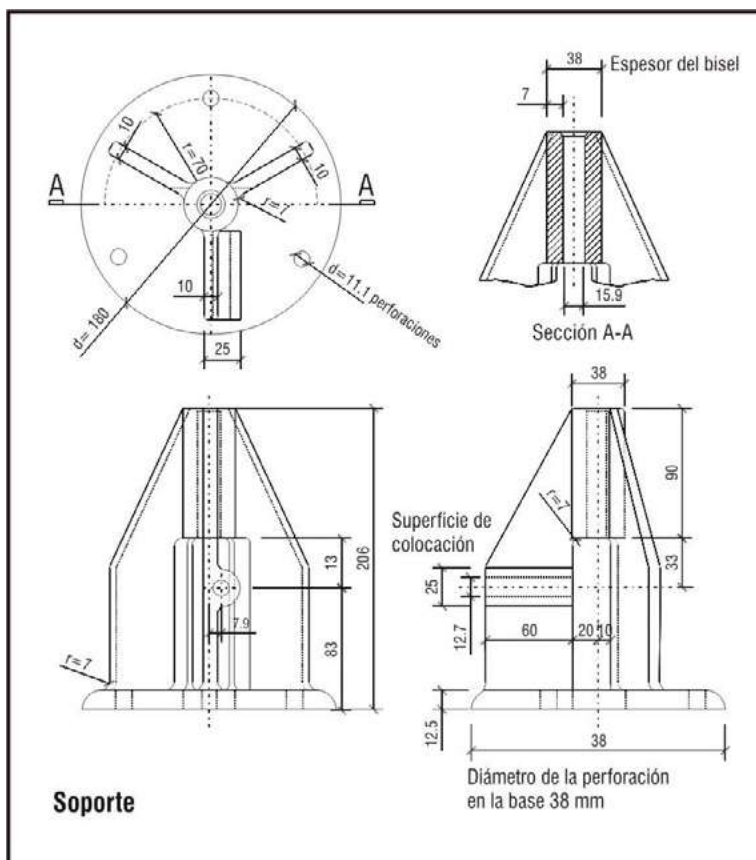


Figura 6.3_30. SOPORTE

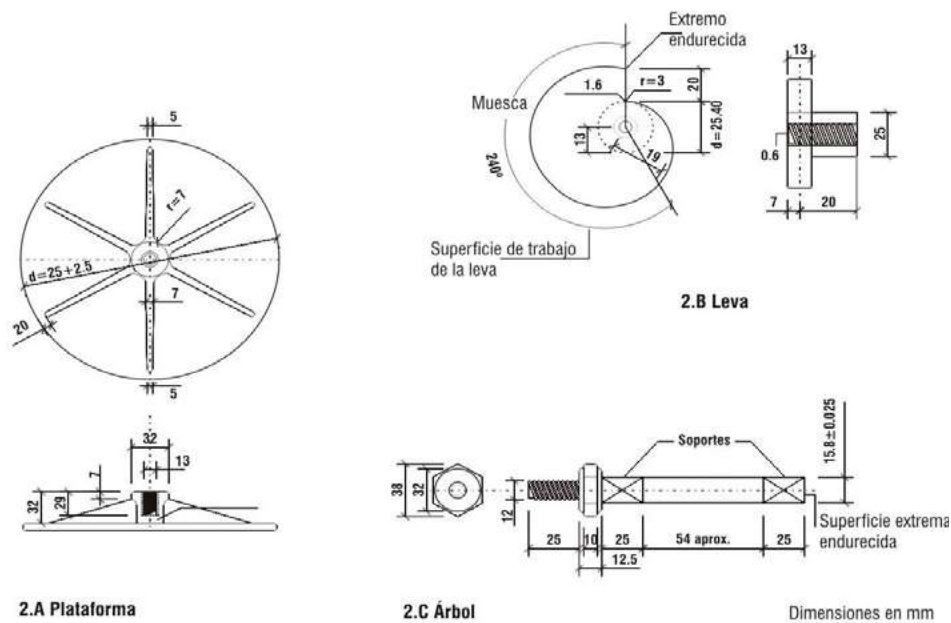


Figura 6.3_31. PLATAFORMA, LEVA Y ÁRBOL

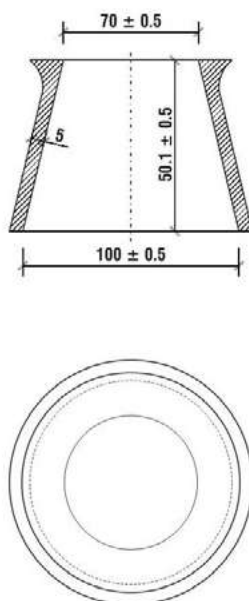


Figura 6.3_32. MOLDE

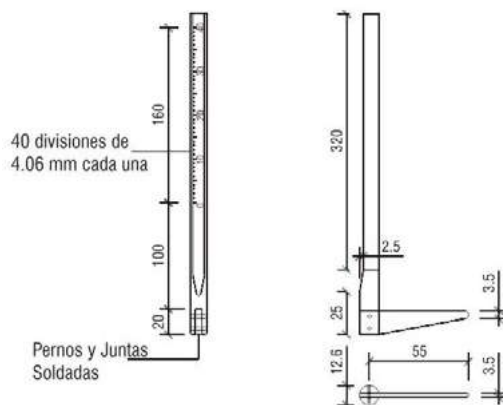


Figura 6.3_33. CALIBRADOR

SECCION 6.3.2.16.

CONTRACCIÓN POR SECADO DE MORTEROS DE CEMENTO PÓRTLAND (ASTM C 596)

6.3.2.16.1. OBJETO

Este método establece un método para determinar el efecto producido por el Cemento Portland, sobre la contracción de una arena gradada sujeta a unas condiciones de temperatura, humedad relativa y tasa de evaporación establecidas para el ambiente.

6.3.2.16.2. DEFINICIÓN

El término “contracción por secado” se define como la disminución en la longitud del espécimen de ensayo, medida a lo largo del eje longitudinal, donde la disminución es causada por cualquier otro factor que no sean cargas externamente aplicadas, bajo condiciones de temperatura, humedad relativa y tasa de evaporación establecidas para el ambiente. El término incluye el efecto neto de la variedad de fenómenos que tienden a ocasionar tanto aumentos como disminuciones en la longitud, durante el período en el cual el espécimen de ensayo en consideración se encuentra almacenado en el ambiente especificado y en el cual un número de procesos, incluyendo la hidratación de los componentes del cemento, se presentan a una variedad de tasas.

6.3.2.16.3. USO Y SIGNIFICADO

La contracción por secado, según se determina en este método, tiene una relación lineal con la contracción del hormigón hecho con el mismo cemento y expuesto a las mismas condiciones de secado. Así, este método puede ser usado cuando se desee obtener información del efecto producido por el cemento Portland, sobre la contracción por secado del hormigón hecho con este cemento.

6.3.2.16.4. EQUIPO

- Balanzas, pesas, probetas graduadas, moldes, palustres y comparador de longitudes, todo esto conforme a la **Sección 6.3.2.4.** “Expansión del cemento en el autoclave”.
- Apisonador. Deberá ser hecho con un material no absorbente y no abrasivo, como caucho de dureza media o madera de roble con propiedad de no absorción lograda mediante inmersión en parafina a 200°C (392°F). Deberá tener una sección transversal de 13 x 25 mm (½ x 1”) y una longitud de 150 mm (6”), aproximadamente. Su cara apisonadora deberá ser plana y perpendicular a su eje longitudinal.
- Dispositivo para desmoldar, construido de forma adecuada para extraer los especímenes de los moldes.

6.3.2.16.5. TEMPERATURA Y HUMEDAD

B.1.Sala de trabajo

La temperatura ambiente de la sala de trabajo, así como de los materiales secos deberá ser mantenida entre 20 y 27,5°C (68 y 81.5°F). La humedad relativa deberá ser del 50%. La temperatura del agua de mezcla no deberá variar del valor de 23°C (73.4°F) en más de 1,7°C (3°F).

B.2.Cámara húmeda

Debe tener las dimensiones adecuadas para que las muestras puedan almacenarse con facilidad. Además, debe mantenerse a una temperatura de $23 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ ($73.4 \pm 3^{\circ}\text{F}$) y a una humedad relativa no menor de 90%.

B.3.Cuarto de secado y controles

Un cuarto de secado con bastidores apropiados deberá proporcionarse para almacenar los especímenes al aire. Los bastidores deberán ser diseñados de tal forma que permitan la circulación libre del aire alrededor de los especímenes, exceptuando en el sitio de los soportes.

Los especímenes deberán estar situados con respecto a las paredes del cuarto o a cualquier otra obstrucción, de tal manera que no se restrinja la circulación de aire en el espacio entre ellos. Los soportes deberán ser horizontales y deberán componerse de dos miembros no absorbentes con una altura no mayor de 25 mm (1") y un ancho de no más de 6 mm ($\frac{1}{4}$ "). Deberá hacerse circular aire acondicionado hacia adentro y hacia afuera del cuarto de forma tal, que la tasa de evaporación especificada sea lograda sobre cada uno de los especímenes.

El aire dentro del cuarto deberá mantenerse a una temperatura de $23,0 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ ($73.4 \pm 3.0^{\circ}\text{F}$) y una humedad relativa de $50 \pm 4\%$. La tasa de evaporación deberá ser de 7 ± 30 ml/24h medida con un Atmómetro o de 13 ± 5 ml/24h medida con un beaker tipo Griffin de 400 ml de bajo tamaño que esté lleno hasta 20 mm ($\frac{3}{4}$ ") por debajo de su borde superior. La tasa de evaporación se medirá a diario, mediante el uso del Atmómetro o por la pérdida de agua del frasco Griffin. (Para mayores detalles referirse a la Norma ASTM C-157/86).

6.3.2.16.6. TOMA DE MUESTRAS

Efectúese la toma de muestras del cemento o los cementos, según la **Sección 6.3.2.1** "Muestreo y aceptación del Cemento Hidráulico".

6.3.2.16.7. PREPARACIÓN DE LOS ESPECIMENES DE ENSAYO

a. Cantidad de especímenes

Deben hacerse cuatro (4) especímenes de ensayo en total. Aunque el conjunto de especímenes de ensayos puede conformarse de cuatro (4) especímenes hechos con mortero de una sola tongada, es preferible hacer doce (12) especímenes hechos de tres tongadas, elaborando cuatro especímenes de cada tongada y cada tongada hecha un día distinto a las otras.

b. Preparación de los moldes

Los moldes y los topes de medida se deben limpiar perfectamente; se arman los moldes y se recubren interiormente con una capa delgada de aceite mineral para que la muestra se pueda retirar con facilidad. Luego se colocan los topes en su sitio, cuidando que estén libres de aceite.

c. Preparación de la pasta de cemento

Una tongada de mortero deberá consistir de 750 g de cemento, 1500 g de arena gradada y una cantidad de agua suficiente para producir un flujo de $110 \pm 5\%$ (**Sección 6.3.2.15**). La arena gradada deberá ser como se especifica en la **Sección 6.3.2.13**. El mezclado deberá hacerse según la **Sección 6.3.2.11**.

d. Llenado de moldes

Colóquese el mortero en el molde, aproximadamente en dos capas iguales. Compáctese cada capa con el apisonador. Cuídese de obtener una perfecta compactación en las esquinas, alrededor de los topes de medida y a lo largo de la superficie del molde. Debe lograrse una compactación uniforme. Después que la capa superior haya sido compactada, enrásese el mortero con la parte superior del molde y alísese la superficie con algunos golpes de palustre. Inmediatamente después de terminado el llenado de los moldes, aflójese el dispositivo que sostiene los topes de medida en posición en cada extremo del molde, para prevenir cualquier restricción de la expansión inicial del espécimen por parte de los topes.

6.3.2.16.8. PROCEDIMIENTO

- Cúrese el espécimen de ensayo en la cámara húmeda, teniendo cuidado de evitar los goteos o escurrimientos de agua. Remuévanse los especímenes de los moldes, cuando se hayan cumplido $23\frac{1}{2} \pm \frac{1}{2}$ horas después de la adición del agua al cemento en la operación de mezclado. Cúrese en agua por un período de 48 horas. Al cumplir una edad de 72 ± 1 horas después de la adición del agua al cemento, retírense del agua los especímenes, séquense con un trapo húmedo y médase inmediatamente su longitud.
- Inmediatamente después de la medición inicial tomada al final del período de curado, alcénense al aire los especímenes en el cuarto de secado por un período de 25 días. Cada espécimen deberá estar separado de cualquier otro o de cualquier sólido del cuarto de secado una distancia de por lo menos 25 mm (1"), en cualquier punto. Tómense lecturas de longitud de los especímenes a los 4, 11, 18 y 25 días de almacenamiento al aire. Tómense las lecturas preferiblemente en un ambiente con humedad relativa de $50 \pm 4\%$, mientras se mantienen los especímenes a una temperatura de $23,0 \pm 1,7^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3^\circ\text{F}$). Téngase especial cuidado en conservar la temperatura y la humedad dentro de las tolerancias y alrededor del promedio.

6.3.2.16.9. CÁLCULOS

Repórtese la contracción lineal de cada espécimen basándose en la medición inicial (tomada después del período de curado a una edad de 72 horas) y las mediciones después de 4, 11, 18 y 25 días de almacenamiento al aire, como millonésima y como porcentaje de la longitud de medición efectiva.

Repórtese el cambio promedio por unidad de longitud, expresado en millonésimas y como un porcentaje de la longitud de medición efectiva, de los cuatro especímenes pertenecientes a una misma tongada de mortero, como contracción por secado del mortero. Si uno de los cuatro especímenes de una tongada resulta defectuoso, pueden efectuarse los cálculos con los otros tres.

Si más de un espécimen resulta defectuoso, debe repetirse el ensayo con una nueva tongada de cemento. Si se ha ensayado más de una tongada, repórtese el promedio de los resultados de las tongadas.

Nota 1: Cuando la persona que efectúa el ensayo esté claramente consiente de que hubo una desviación importante en el procedimiento prescrito, los resultados observados deben descartarse, sea que resulten o no coherentes con otros que sí son confiables.

Puede darse la situación, como en el caso de la temperatura, que pueda hacerse una corrección, la cual puede hacer valer los resultados.

Puede calcularse una contracción por secado última del mortero, dibujando los valores de contracción en función del recíproco del tiempo. El tiempo incluye el período de curado en húmedo.

6.3.2.16.10. PRECISIÓN

Resultados de los ensayos (cada uno obtenido de cuatro determinaciones de la misma tongada) efectuados por un mismo operador en días diferentes, no deberán diferir por más de 70 milonésimas.

Los resultados del ensayo (cada uno obtenido por el promedio de las cuatro determinaciones de la misma tongada) obtenidas por dos laboratorios, no deberán diferir por más del 25% de su promedio.

SECCION 6.3.2.17.

RESISTENCIA A LA TENSIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C 190 AASHTO T132)

6.3.2.17.1. OBJETO

Este ensayo define el método para determinar la resistencia a la tensión de morteros de cemento hidráulico.

6.3.2.17.2. EQUIPO Y MATERIALES

B.1. Balanzas

Deben ser equipos de precisión para efectuar pesadas de 1000 g a 2000 g.

B.2. Tamices

Se requieren los tamices de 850 μm (No.20) y 600 μm (No.30).

B.3. Probetas Graduadas

Preferentemente de un tamaño tal, que permitan medir el agua de amasado en una sola operación, pueden ser de 100, 150, 200 ml etc.; la precisión debe ser de ± 1.0 ml.

B.4. Moldes

Estarán contruidos con un metal no atacable por los morteros de cemento, y con espesor suficiente para evitar deformaciones al verter el mortero. Pueden usarse moldes en cadena como los mostrados en la **Figura 6.3_ 34**.

Las dimensiones del molde que conforma una briqueta se muestran en la **Figura 6.3_ 36** y además deberán cumplir lo siguiente: la distancia entre las caras interiores a lo largo del eje de simetría transversal será de 25,4 mm (1") con variación permisible de $\pm 0,13$ mm (± 0.005 ") para moldes nuevos y de $\pm 0,25$ mm (± 0.01 ") para moldes en uso. La altura medida en los puntos de mayor espesor de las paredes, a cada lado de la cintura, debe ser de 25,4 mm (1"), con variación permisible de + 0,10 mm (+ 0.004") y -0,05 mm (-0.002") para moldes nuevos; y de 0,5 mm (-0.02") para moldes en uso.

B.5. Máquina de ensayo

Deberá poder aplicar a la muestra sin interrupción, una carga de 272 ± 12 kg/minuto (600 ± 25 lbf/min) y estará dotada de dispositivos para regular la velocidad de aplicación de la carga. Deberá cumplir los siguientes requisitos de exactitud: Para cargas no menores de 45 kg (100 lbf) no excederá $\pm 1,0\%$ para máquinas nuevas, ni de $\pm 1,5\%$ para las usadas. La máquina debe ser calibrada frecuentemente.

B.6. Agarraderas

Las agarraderas donde se coloca la muestra para someterla a tensión, estarán de acuerdo con la **Figura 6.3_ 35**.

B.7. Palustre herramientas menores

El palustre tendrá una hoja de acero de 100 a 150 mm (4" a 5").

B.8.Arena

Debe ser de sílice natural, normalizada para ensayos, que pase por el tamiz de 850 µm (No.20) y quede retenida en el tamiz de 600 µm (No.30). Se considera que cumple la condición normalizada, si al tomar una muestra de 100 g se retiene menos de 15 g en el tamiz de 850 µm (No.20) y no más de 5 g pasan el tamiz de 600 µm (No.30), después de 5 minutos de tamizado continuo.

6.3.2.17.3. CONDICIONES AMBIENTALES

La temperatura de la sala de trabajo, herramientas, materiales estará entre 20° y 27,5°C (68° y 81.5°F). El agua de curado y la utilizada para sumergir las muestras, estará entre 23° ± 1,7°C (73.4°F ± 3°F). La humedad relativa no debe ser menor del 50%. Se debe contar con cámara húmeda con suficiente espacio y con una humedad relativa no menor del 90%.

6.3.2.17.4. MUESTRAS PARA ENSAYO

Tres o más briquetas, deben construirse para cada período de ensayo, teniendo en cuenta las dimensiones mostradas en la **Figura 6.3_ 36**.

Las proporciones en peso para formar el mortero, deben ser de una (1) parte de cemento seco por tres (3) partes de arena seca. Las cantidades que deben mezclarse por cochada, son: para 6 muestras entre 1000 y 1200 g; para 9 muestras entre 1500 y 1800 g.

El porcentaje de agua requerido para la mezcla, dependerá del porcentaje requerido para producir una pasta normal de cemento puro, del mismo que se va a usar en el mortero y de acuerdo a la **Tabla 6.3_ 38**.

Cuando se usan proporciones de cemento y arena diferentes de 1:3, la cantidad de agua de amasado se calcula con la siguiente fórmula:

$$Y = 2/3 [P/n+1] + K$$

Donde:

Y = Porcentaje de agua, requerido para elaborar el mortero de arena (referido al peso de los materiales secos).

P = Porcentaje de agua necesario para producir una pasta de cemento puro, de consistencia normal.

n = Número de partes de arena, por una de cemento, en peso.

K = Constante que depende de la arena usada, para la arena normalizada de Ottawa, tiene un valor de 6.5.

Tabla 6.3_38. PORCENTAJE DE AGUA PARA MORTEROS ESTÁNDAR

Porcentaje de agua para producir una pasta de consistencia normal	Porcentaje de agua para elaborar un mortero de 1 parte de cemento por 3 partes de arena normalizada
15	9,0
16	9,2
17	9,3
18	9,5
19	9,7
20	9,8
21	10,0
22	10,2
23	10,3
24	10,5
25	10,7
26	10,8
27	11,0
28	11,2
29	11,3
30	11,5

6.3.2.17.5. PROCEDIMIENTO

a. Preparación del Mortero

Se pesan los materiales secos, se colocan sobre una placa lisa y no absorbente; cuidadosamente se mezclan arena y cemento y se forma un cono, luego se le abre un cráter en el centro, dentro de éste se vierte la cantidad de agua determinada y con ayuda del palustre se va pasando el material seco dentro del cráter, empleando en esta operación 30 segundos.

Durante los próximos 30 segundos y mientras se permite la absorción de agua, se van cubriendo con mortero seco las manchas de humedad que van apareciendo por evaporación y facilitar la absorción completa. Luego se termina la operación, mezclando durante 90 segundos en forma continua y vigorosa. Durante esta operación, el operador debe usar guantes de caucho bien ajustados.

b. Llenado de los moldes

Antes de proceder a llenar los moldes, se recubren con una capa delgada de aceite mineral y se colocan sobre una placa de vidrio o metal sin aceitar. Terminada la operación de mezclado, se llena el molde con el mortero, teniendo cuidado de no compactarlo y en tal forma que sobresalga por encima de los bordes del molde. Luego el mortero debe presionarse 12 veces con los pulgares en cada briqueta en puntos distribuidos sobre la totalidad de la superficie de la muestra.

La fuerza aplicada por los pulgares debe estar comprendida entre 7 y 9 kg (15 a 20 lbf) y no debe durar más tiempo que el necesario para obtenerla.

Luego se vierte más mortero sobre la superficie de la muestra, se enrasa y alisa con el palustre.

Al alisar la superficie, no se debe ejercer una fuerza mayor de 2 kg (4 lbf) ni deslizarlo más veces de las necesarias. Luego se coloca en la cara inferior del molde, una placa de vidrio o metal previamente aceitada. Luego, con ayuda de las manos, se hacen girar el molde y las placas, alrededor de su eje longitudinal y se deja descansar sobre la placa que ha sido aceitada. Se retira la placa superior y sobre la superficie de la muestra se hacen las mismas operaciones de sobrellenado, presión con los pulgares y alisado, hechas a la otra superficie. No se debe compactar la muestra con pisones.

c. Almacenamiento de muestras

Terminada la operación de llenado, el conjunto formado por las muestras, el molde y la placa, se lleva a la cámara húmeda durante 20 o 24 horas, con las caras superiores de las muestras

expuestas al aire húmedo y protegidas contra la eventual caída de gotas. Si las muestras se retiran antes de las 24 horas, permanecerán en la cámara hasta que se complete este tiempo. Si las muestras no van a ser ensayadas a las 24 horas, deberán sumergirse en agua limpia, dentro de los tanques construidos para tal fin. El agua del tanque deberá renovarse frecuentemente, para que siempre esté limpia.

6.3.2.17.6. ENSAYO

Las muestras que se van a ensayar a las 24 horas, se sacarán de la cámara e inmediatamente se pasan a la máquina de prueba. Si se sacan varias muestras, deben cubrirse con una toalla húmeda hasta el momento de pasar a la máquina de prueba. En el caso de que las muestras se encuentren en el tanque, se sacarán una a una y se llevarán a la máquina de prueba. Si es necesario demorar la prueba, después de haber sacado la muestra del tanque, deberá sumergirse en agua a temperatura de $23 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ ($73.4 \pm 3^{\circ}\text{F}$) hasta el momento del ensayo.

Las superficies de las muestras deben secarse y retirar los granos de arena desprendidos. Las superficies de las agarraderas que van a estar en contacto con la muestra, deben conservarse limpias. Los rodillos de apoyo, deben aceitarse y mantenerse en tal forma que puedan girar libremente. Los soportes de las agarraderas deben estar libres de residuos y los pivotes deben tener un ajuste correcto para que las agarraderas puedan girar libremente.

Las muestras se centrarán cuidadosamente en las agarraderas y se les aplicará una carga en forma continua, a una tasa de $272 \pm 12 \text{ kg/min.}$ ($600 \pm 25 \text{ lbf/min.}$).

Todas las muestras deben ser probadas dentro de las tolerancias de tiempo establecidas en la **Tabla 6.3_39**

Tabla 6.3_39. TOLERANCIAS

Edad de las muestras	Tolerancia permisible
24 horas	$\pm \frac{1}{2}$ hora
3 días	± 1 hora
7 días	± 3 horas
28 días	± 12 horas

6.3.2.17.7. CÁLCULOS

Se anotará la carga máxima indicada por la máquina de ensayo en el momento de la rotura y se calcula la resistencia a la tensión en kg/cm^2 o lbf/pie^2 . La resistencia del mortero será el promedio de los resultados obtenidos con las muestras de la misma tongada y el mismo período de ensayo.

Las muestras defectuosas o resistencias que difieran en más del 15% del promedio, no se tendrán en cuenta. Si una vez hecho este descarte, se dispone de un solo valor, deberá repetirse el ensayo.

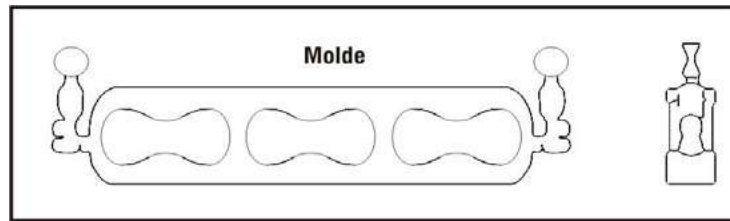


Figura 6.3_34. MOLDE

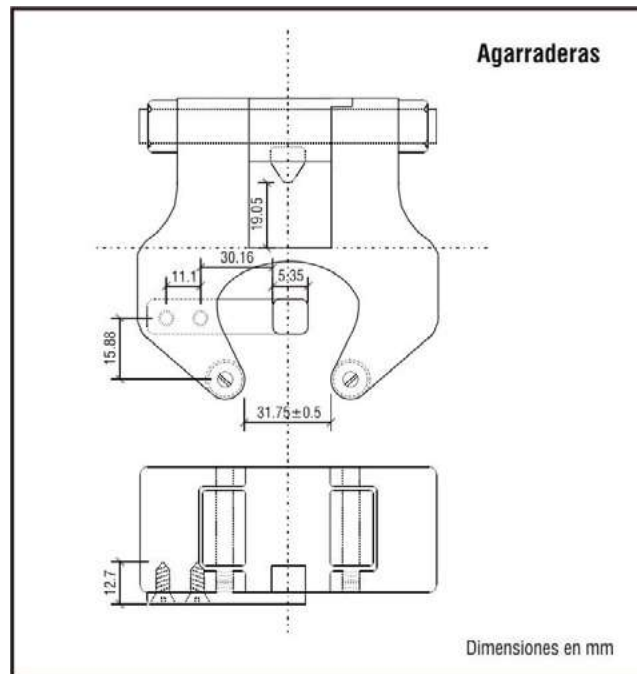


Figura 6.3_35. AGARRADERAS

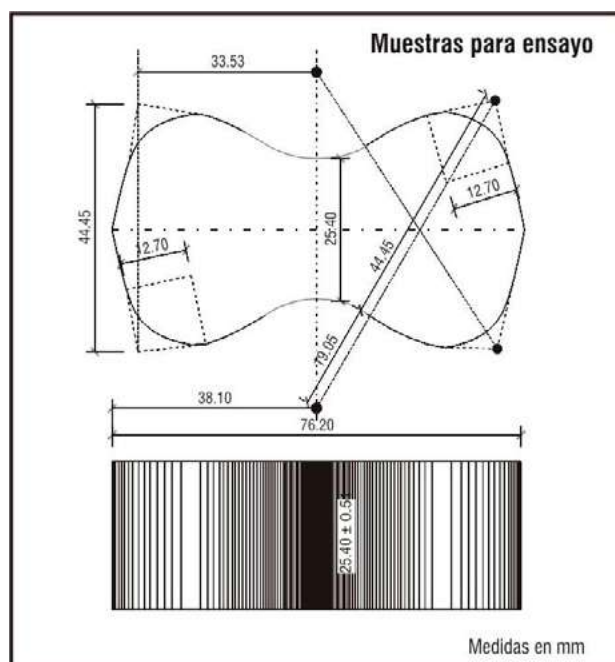


Figura 6.3_36. MUESTRAS PARA ENSAYOS

SECCION 6.3.2.18.

CONTENIDO DE AIRE EN MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO (ASTM C 185 AASHTO T137)

6.3.2.18.1. OBJETO

Este método describe el procedimiento que debe emplearse para la determinación del contenido de aire en un mortero de cemento hidráulico.

6.3.2.18.2. CONDICIONES GENERALES

B.1. Temperatura y Humedad

La temperatura ambiente y la de los materiales secos debe mantenerse entre 20 y 27,5°C (68° y 81,5°F). La temperatura del agua de amasado debe ser de $23 \pm 1,7^\circ\text{C}$ ($73,4 \pm 3^\circ\text{F}$).

La humedad relativa del laboratorio no debe ser inferior al 50%

6.3.2.18.3. EQUIPOS Y MATERIALES

- Mesa de flujo, molde de flujo y calibrador, de conformidad con los requerimientos de la **Sección 6.3.2.15**.
- Medidor

Debe ser un cilindro de medida con un diámetro interior de $76,2 \pm 1,6$ mm y una profundidad aproximada de 90mm, patronado para contener 400 ± 1 ml de agua a 23°C (73,4°F) (Ver Nota 1).

Para los fines de este ensayo, la capacidad del medidor en ml, es el peso de agua en gramos contenida en éste, dividido por 0,998, sin hacer corrección por el efecto de flotación en el aire. Debe tener paredes de espesor uniforme, lo mismo que el fondo, y no inferiores a 2,92 mm. El peso del medidor vacío, no debe ser mayor de 900 g; se construye de un material inatacable por el mortero de cemento.

Nota 1: La medida de 400 ml en el medidor puede ser calibrada rápidamente, llenándolo con agua destilada a 23°C (73,4°F), hasta un punto donde el menisco sobrepase en forma apreciable el borde, colocando una placa de vidrio limpio encima del medidor y permitiendo que el exceso de agua se escape. La ausencia de burbujas de aire debe ser comprobada a través del vidrio, para asegurar que el medidor está completamente lleno.

Se tendrá cuidado de secar el exceso de agua de las paredes del medidor, antes de pesarlo.

- Mezcladora, recipiente y espátula. Deben cumplir con lo especificado en la **Sección 6.3.2.11**.
- Regla. Debe ser recta, de acero, con una longitud no menor de 102 mm y un espesor de $2,4 \pm 0,8$ mm.
- Espátula

Debe ser metálica, con una hoja de 150 mm de longitud y 13 mm de ancho, con bordes rectos y mango de madera.

- **Balanzas**

Deben tener la capacidad suficiente para pesar el mortero y el recipiente (aprox. 2 kg), la precisión en 2 kg será ± 1 g.

- **Tamices**

Deben usarse los Tamices de 850 μm (No.20) y 600 μm (No.30).

- **Probeta**

Deben ser de vidrio, con una capacidad de 250 ml graduadas cada 2 ml, para medir el agua de mezcla y que viertan el volumen indicado a 20°C (68°F). La precisión es ± 2 ml. Las líneas de las graduaciones principales deben ser circulares y numeradas. Las intermedias deben distinguirse por una longitud no menor de 1/5 de las principales y las menores deben tener una longitud no inferior a 1/7 de las principales. Las subdivisiones pueden ser omitidas para los primeros 10 ml.

- **Apisonador**

Debe ser hecho de un material no absorbente, ni abrasivo, ni frágil, como por ejemplo un compuesto de caucho, con dureza Shore A de 80 ± 10 durómetros, o roble seco no absorbente por inmersión durante 15 min. en parafina a una temperatura aproximada de 200°C(392°F); debe tener una sección transversal de 13 x 26 mm y una longitud conveniente (130 a150 mm). La cara apisonadora debe ser plana y normal a su eje longitudinal.

- **Barra para golpear**

Debe ser de madera dura, con un diámetro de 16 mm y una longitud de 150 mm.

- **Cuchara**

Debe ser metálica, ordinaria, tipo cocina, con una longitud total aproximada de 230 mm, la cavidad debe ser aproximadamente de 100 mm de largo, 63 mm de ancho y de 13 a19 mm de profundidad.

- **Arena**

La arena usada para hacer el mortero normal debe ser de sílice natural, normalizada para ensayos, que pase por el tamiz de 850 μm (No.20) y que quede retenida en el tamiz de 600 μm (No.30). Se considera que cumple con la condición anterior, si al tomar una muestra de 100 g, una cantidad menor de 15 g es retenida en el tamiz de 850 μm (No.20) y no más de 5 g pasan por el tamiz de 600 μm (No.30), después de 5 minutos de tamizado continuo.

6.3.2.18.4. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- **Mortero**

La proporción del mortero patrón debe ser de 350 g de cemento y 1400 g de arena (estándar 20-30) con agua suficiente para obtener un flujo de $87,5 \pm 7,5\%$ en la mesa de flujo, cuando se determina de acuerdo con el numeral 2.

6.3.2.18.5. PROCEDIMIENTO

1. Mezcla de mortero

Debe hacerse de acuerdo con la **Sección 6.3.2.11**.

2. Determinación del flujo

Debe secarse cuidadosamente la parte superior de la mesa de flujo y colocarse el molde de flujo en el centro de ésta. Usando la cuchara debe colocarse en el molde una capa de mortero de 25 mm de espesor aproximadamente, y golpearse 20 veces con el apisonador, ejerciendo una presión apenas suficiente para asegurar un llenado uniforme del molde.

Luego debe llenarse el molde con mortero y apisonarse del mismo modo como se especificó para la primera capa. A continuación, debe cortarse el mortero para obtener una superficie plana y nivelarse la pasta en la parte superior del molde usando la regla con un movimiento de corte.

Debe secarse y limpiarse la mesa, teniendo especial cuidado de limpiar el agua existente alrededor de los bordes del molde. Al cabo de 1 minuto de haber terminado la operación de mezcla, debe retirarse el molde del mortero e inmediatamente después golpearse la mesa, dejándola caer desde una altura de 12 mm, 10 veces en 6 segundos. El flujo es el consecuente incremento del diámetro promedio de la masa de mortero debido a los golpes y se determina usando el calibrador, midiendo en la mesa de mortero al menos cuatro diámetros, equiespaciados entre sí y expresando tales diámetros como porcentaje del diámetro original.

Se debe hacer el mismo procedimiento para distintos morteros de prueba, variando los porcentajes de agua hasta que el flujo especificado sea obtenido, usando mortero fresco en cada ocasión.

3. Peso para 400 ml de mortero: Una vez encontrada la cantidad de agua que produce un flujo entre 80% y 95%, inmediatamente debe determinarse el peso para 400 ml de mortero, usando la masa sobrante de la mezcla para la cual se obtuvo el flujo mencionado y no aquella que se utilizó en la determinación de éste. Usando la cuchara, se deposita suavemente el mortero dentro del medidor de 400 ml, en tres capas iguales, distribuyendo cada capa mediante el clavado de la espátula 20 veces alrededor de la superficie en el interior del medidor en una revolución completa. Debe considerarse un clavado de la espátula con un movimiento completo de ésta hacia arriba y hacia abajo, sostenida en posición vertical y penetrando en la capa de mortero. Al distribuir la primera capa, la espátula no debe tocar el fondo del medidor. Al distribuir la segunda y la última capa, la espátula debe empujarse tan sólo con la fuerza suficiente para penetrar la superficie de la capa inmediatamente anterior.

Después de haber llenado el medidor y distribuido su última capa en la forma descrita, deben golpearse sus lados suavemente con el extremo de la barra, para golpear una vez en 5 diferentes puntos igualmente distanciados alrededor del medidor, con el fin de liberar aire posiblemente atrapado en el mortero. Debe evitarse dejar espacios entre el mortero y las paredes como resultado de la operación de distribución. Luego se enrasa el mortero para obtener una superficie plana en la parte superior del medidor, mediante movimientos de sierra, realizando dos pasadas sobre toda la superficie, la segunda pasada en dirección tal que forme ángulo recto con la primera. Si al enrasar granos sueltos de arena, causan surcos en la superficie, tales granos deben ser removidos y debe volverse a enrasar. La operación completa de llenado y enrasado del medidor debe hacerse en un tiempo de 1½ minutos.

A continuación, se limpia el mortero y el agua adherida a las paredes del medidor, y se pesa con su contenido, anotando el peso del mortero en gramos, luego de restar el peso del medidor.

6.3.2.18.6. CÁLCULOS

A.FÓRMULA USUAL

Calcúlese el contenido de aire del mortero a partir de la siguiente fórmula, la cual ha sido deducida según las características del medidor, las proporciones de la mezcla y tomando como peso específico del cemento Portland 3,15 y de la arena 2,65.

Contenido de aire:

$$\% \text{ por volumen} = 100 - W \frac{(182,7 + p)}{(2000 + 4p)} \quad (1)$$

Siendo:

W = Peso de 400 ml de mortero en gramos.

p = Porcentaje de agua en la mezcla basado en el peso del cemento usado.

Cuando el cemento hidráulico es diferente al Portland, el valor de su peso específico debe sustituirse por el 3.15 mostrado en la deducción de la fórmula que sigue a continuación.

B.DEDUCCIÓN DE LA FÓRMULA

Sean:

W_a = Peso actual o real del mortero por unidad de volumen, determinado según el ensayo.

W_e = Peso teórico del mortero, por unidad de volumen, suponiendo no existencia de aire.

Entonces:

Contenido de aire:

$$\% \text{ por volumen} = 100 \left(1 - \frac{W_a}{W_e} \right) \quad (2)$$

Ahora:

$$W_e = \frac{W}{400g} \text{ ml}$$

Donde:

W = Peso en g del mortero de los 400 ml (numeral 17).

$$W_e = \frac{350 + 1400 + 350 \times p \cdot 0,01}{\frac{350}{3,15} + \frac{1400}{2,65} + \frac{350}{1}} = \frac{5 + 0,01p}{1,827 + 0,01p}$$

Donde:

p = Porcentaje de agua de mezcla basado en el peso del cemento.

Sustituyendo W_a y W_e en la ecuación (2) se obtiene la ecuación (1).

6.3.2.18.7. INFORME

Se reportará el contenido de aire del mortero de cemento hidráulico en porcentaje por volumen, aproximando el dato al 1%.

6.3.2.18.8. PRECISIÓN Y TOLERANCIAS

Solamente deberá hacerse una determinación del contenido de aire en una mezcla. El contenido final de aire será el promedio de dos determinaciones.

Las dos determinaciones se harán sobre materiales (mortero, arena) similares.

En caso de realizarlos un mismo operario, ambas determinaciones del contenido de aire no variarán entre sí en más de 2%. Si las determinaciones son hechas en distintos laboratorios, no variarán entre sí en más de 3%

SECCION 6.3.2.19.

EXPANSIÓN POTENCIAL DE MORTEROS DE CEMENTO PORTLAND EXPUESTOS A LA ACCIÓN DE SULFATOS (ASTM C452)

6.3.2.19.1. OBJETO

Este método tiene por objeto establecer el método para determinar la expansión de barras de mortero hechas con Cemento Pórtland y yeso, en proporciones tales, que la mezcla tenga un contenido de anhídrido sulfúrico (SO_3) de 7,0 por ciento en peso. Es solamente aplicable al Cemento Pórtland.

6.3.2.19.2. EQUIPO

A. BALANZAS

La precisión de las balanzas en uso debe ser de ± 1 g bajo una carga de 1.000 g y de ± 2 g bajo una carga de 2.000 g.

- Pesas, probetas graduadas, moldes, topes de medida. Deben cumplir con los requisitos establecidos en la **Sección 6.3.2.4**, "Expansión del cemento en el autoclave".

B. MESA DE FLUJO

Deben cumplir con los requisitos establecidos en la **Sección 6.3.2.15** "Fluidez de morteros de cemento hidráulico (Mesa de flujo)".

- Mezcladora mecánica, paleta mezcladora y recipiente de mezcla. Deben cumplirse con los requisitos establecidos en la **Sección 6.3.2.11** "Mezcla mecánica de pastas y morteros de consistencia plástica".

C. PALUSTRE Y VARILLA COMPACTADORA

Deben cumplir con los requisitos establecidos en la **Sección 6.3.2.13** "Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico".

D. CÁMARA HÚMEDA

Debe tener las dimensiones adecuadas para que las muestras puedan almacenarse con facilidad. Además, debe mantenerse a una temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3^\circ\text{F}$) y a una humedad relativa no menor de 90%.

6.3.2.19.3. MATERIALES

- La arena gradada para elaborar las muestras de ensayo debe cumplir con los requisitos establecidos en la **Sección 6.3.2.13** "Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico".
- En el ensayo se emplea yeso natural de alta pureza que cumpla con la granulometría especificada en la **Tabla 6.3_40**.

Tabla 6.3_40. GRANULOMETRÍA PARA EL YESO A SER USADO

Tamiz	% que pasa
150 μm (No.100)	100
75 μm (No.200)	94+
45 μm (No.325)	90+

Los porcentajes de cemento y yeso, requeridos para proporcionar una mezcla que contenga 7,0% de anhídrido sulfúrico (SO₃) en peso, se calculan con las siguientes expresiones:

$$\text{Cemento \%} = \frac{g - 7,0}{g - c} \times 100$$

$$\text{Yeso, \%} = \frac{7,0 - c}{g - c} \times 100$$

Siendo:

g: Contenido de anhídrido sulfúrico (SO₃) en el yeso, en porcentaje.

c: Contenido de anhídrido sulfúrico (SO₃) en el cemento portland, en porcentaje.

6.3.2.19.4. TEMPERATURA Y HUMEDAD

La temperatura del sitio de ensayo, la de los materiales secos y la del agua de mezcla deberá mantenerse entre 20 y 27,5°C (68 y 81.5°F) y la humedad relativa del sitio de ensayo no deberá ser menor del 50%.

6.3.2.19.5. NÚMERO Y DIMENSIONES DE LOS ESPECÍMENES DE ENSAYO

1. Normalmente, deben prepararse seis especímenes para cada cemento, de 25 x 25 x 285 mm (1 x 1 x 11¼"), haciendo dos mezclas separadas y tomando tres muestras de cada una.
2. En ensayos rutinarios, deben usarse especímenes de 25 x 25 x 160 mm (1 x 1 x 6¼"), pero en caso de que se encuentren discrepancias, deben regir los resultados obtenidos con las muestras descritas en el numeral 1.

6.3.2.19.6. PREPARACIÓN DE LOS MOLDES

Los moldes deben limpiarse perfectamente; si es necesario, sus juntas externas y las líneas de contacto de los moldes y de las placas de base deben sellarse con cera. Se arman y se recubren interiormente con una cinta plástica o una capa de aceite mineral, para que la muestra pueda retirarse fácilmente. Luego se limpian los topes y se colocan en su sitio, cuidando que estén libres de aceite.

6.3.2.19.7. PROPORCIONES, CONSISTENCIA Y MEZCLA DEL MORTERO

3. Las cantidades de materiales secos requeridos para cada dosificación son: 400 g (cemento más yeso) y 1.100 g de arena.
4. La cantidad de agua de mezclado medida en mililitros, debe ser tal, que produzca un flujo comprendido entre 100 y 115 ml determinado por el procedimiento descrito en la **Sección 6.3.2.15** "Fluidez de morteros de cemento hidráulico (Tabla de flujo)".

Nota 1: La ASTM recomienda: La cantidad de agua de mezclado deberá ser de 194 ml para un Cemento Portland sin incorporación de aire y de 184 ml para un Cemento Portland con incorporación de aire.

5. El mortero se mezcla de acuerdo con el procedimiento descrito en la **Sección 6.3.2.11** "Mezcla de pasta y morteros de consistencia plástica", excepto que debe añadirse primero el yeso al agua, después, iniciarse el mezclado y mezclarse a velocidad de 140 ± 5 rpm, durante 15 segundos.

6.3.2.19.8. LLENADO DE MOLDES

Inmediatamente después de terminar el ensayo de flujo, se regresa el mortero al recipiente, se limpia el mortero de las paredes del mismo y se vuelve a mezclar a velocidad de 285 ± 10 rpm durante 15 segundos. El recipiente y la paleta se remueven y luego se quita el exceso de mortero de ésta. El molde se llena en dos capas, compactando cada una de ellas con la varilla. Se compacta el mortero en las esquinas, alrededor de los topes de medida y a lo largo de la superficie del molde con la varilla, hasta obtener un mortero homogéneo. Después de compactada la capa superior, se enrasa y se alisa la superficie con unas pocas pasadas del palustre.

6.3.2.19.9. ALMACENAMIENTO DE LOS ESPECÍMENES DE ENSAYO

A. ALMACENAMIENTO INICIAL

6. Las muestras deben curarse en la cámara húmeda dentro de los moldes a temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 22 a 23 horas. Las muestras se remueven de los moldes y se identifican adecuadamente. Luego se sumergen en agua a temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73,4 \pm 3^\circ\text{F}$) durante 30 minutos antes de medir la longitud inicial.

B. ALMACENAMIENTO SUBSIGUIENTE

7. Después de medidas las barras, se almacenan horizontalmente en agua a la misma temperatura prescrita en el numeral anterior. Las barras deben almacenarse separadas entre sí a una distancia mínima de 6 mm ($\frac{1}{4}$ ") por todos los lados y cubrirse con no menos de 13 mm ($\frac{1}{2}$ ") de agua. La relación de volumen de agua al volumen de las barras no debe exceder de 5 a 1 para prevenir la excesiva acción disolvente. El agua debe renovarse cada 7 días en los primeros 28 días y después cada 28 días.

6.3.2.19.10. MEDIDA DE LONGITUD

8. Se miden las barras con el comparador de longitudes, una por una, secándolas previamente con una tela húmeda.

9. La primera lectura debe hacerse $24 \text{ h} \pm 15$ minutos después del mezclado del cemento y el agua; la muestra debe medirse nuevamente a los 14 días.

Nota 2: Pueden obtenerse información adicional colocando nuevamente las barras en el agua de almacenamiento y haciendo medidas adicionales a otras edades.

6.3.2.19.11. CÁLCULOS

10. La diferencia en longitud de la muestra a las 24 horas y a los 14 días, calculada con aproximación del 0.001 por ciento de la longitud efectiva, debe interpretarse como la expansión de la muestra en ese período.
11. Todos los especímenes remanentes después de 14 días, deben conformar un conjunto de por lo menos tres especímenes, con un intervalo permisible de variación en los resultados dependiendo del número de especímenes remanentes, así:

Tabla 6.3_41.

No. Especímenes	Máxima Variación permisible, %
3	0,008
4	0,010
5	0,011
6	0,012

Infórmese el promedio de los especímenes que conforman el conjunto, con aproximación al 0,001.

6.3.2.19.12. PRECISIÓN

12. Los resultados de dos ensayos efectuados por un mismo operador sobre el mismo material, no diferirán en más de 0,009%.
13. Los resultados de dos ensayos, efectuados por laboratorios distintos, sobre un mismo material, no diferirán en más de 0,014%.

CAPITULO 6.3.3.

ENSAYOS DEL HORMIGÓN

SECCION 6.3.3.1.

MÉTODO PARA EXTRAER MUESTRAS DEL HORMIGÓN FRESCO (ASTM C 172 AASHTO T141)

6.3.3.1.1. OBJETO

Este método establece los procedimientos para extraer muestras representativas del hormigón fresco, destinadas a ser ensayadas. Se aplicará a hormigones de cemento hidráulico, confeccionado tanto en obra como en el laboratorio.

Este método no especifica planes de muestreo para control estadístico u otros efectos.

6.3.3.1.2. DEFINICIONES

A.HORMIGÓN FRESCO

Para los efectos de este método, hormigón fresco es la mezcla que ha terminado su proceso de preparación, que aún no ha sido colocada y que se encuentra dentro de un lapso de dos horas, si fue preparada utilizando cementos de grado corriente y una hora, si se utilizaron los de grado de alta resistencia; este tiempo se mide desde el comienzo del amasado. Transcurrido los plazos señalados, las muestras que se obtengan deben considerarse como muestras especiales y tratarse como tales.

B.MUESTRA DE FABRICACIÓN

Es la destinada a evaluar la calidad potencial del hormigón; refleja las características de los materiales, la dosificación y el mezclado. Se extrae de un lugar tan próximo como sea posible a la salida de la hormigonera.

C.MUESTRA EN SITIO

Es la destinada a evaluar la calidad del hormigón junto al sitio de colocación; se extrae de un lugar tan próximo como sea posible al de colocación.

D.MUESTRA ESPECIAL

Es la destinada a evaluar la calidad del hormigón en cualquier etapa del proceso de hormigonado. Refleja los efectos de operaciones en puntos intermedios entre la salida de la hormigonera y el lugar de colocación, o los efectos del ambiente en la que se ha conservado.

6.3.3.1.3. EQUIPOS Y MATERIALES

A.RECIPIENTES DE MUESTREO

Deben ser de material resistente, no absorbente y químicamente inerte con los componentes del hormigón, estancos al agua y de capacidad suficiente para contener la muestra o las porciones de ella. Deben encontrarse limpios y húmedos al momento de su uso.

El recipiente para muestreo de hormigón debe tener una abertura de dimensiones tales que permita el remezclado de la muestra completa por medio de la pala.

Nota 1: Comúnmente se emplean carretillas o bateas metálicas.

6.3.3.1.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRAS

A.MUESTREO

A.1.Tamaño de la Muestra

El tamaño de la muestra de hormigón fresco, será superior a una y media vez el volumen necesario para efectuar los ensayos requeridos, y en ningún caso inferior a 30 litros. Cada muestra de hormigón incluirá al menos dos especímenes

A.2.Tiempo

El tiempo transcurrido entre la obtención de la muestra y el moldeo de las probetas, incluidos los controles requeridos al hormigón fresco, deberá ser el mínimo posible y en ningún caso excederá de 15 min. Extracción de Muestras: Muestras de Fabricación.

A.3.Hormigoneras Estacionarias

Efectúe la extracción en uno o más intervalos regulares, cuando la hormigonera se encuentre aproximadamente en la mitad del período de descarga, sin incluir el principio ni el final de ésta (Nota 2), y sin restringir el flujo de salida del hormigón.

Extraiga la muestra o las porciones de muestra necesarias, pasando el recipiente de muestreo por toda la sección del flujo de descarga, o bien desviando completamente el flujo hacia el recipiente.

A.4.Camiones Hormigoneras

Regule el flujo de descarga del hormigón mediante la velocidad de rotación del tambor, sin estrangular el flujo con la compuerta.

Efectúe la extracción de la muestra en uno o más intervalos regulares durante la descarga de la hormigonera, sin incluir el principio ni el final de ésta (Nota 2).

Extraiga la porción de cada intervalo pasando una sola vez un recipiente de muestreo por toda la sección del flujo de descarga, o bien desviando completamente el flujo hacia el recipiente.

B.EXTRACCIÓN DE MUESTRAS: MUESTRAS EN SITIO

B.1.Hormigón en Acopio

Extraiga por lo menos cinco porciones de muestra de diferentes puntos del acopio. Cuando el hormigón se encuentra depositado sobre el terreno, evite que la muestra se contamine por arrastre de material de la superficie de apoyo.

B.2.Hormigón en Tolva

Extraiga la muestra retirando porciones en tres o más intervalos regulares durante la descarga de la tolva, sin incluir el principio ni el final de ésta. (Nota 2).

Nota 2: Se considera que el hormigón tiene la homogeneidad suficiente entre el 10% y el 90% de la descarga.

B.3.Hormigón en Medios de Transporte

Extraiga la muestra por uno de los procedimientos descritos en Muestras de Fabricación y muestras en Sitio prefiriendo el que mejor se adapte a las condiciones prevaletientes.

6.3.3.1.5. PROCEDIMIENTO

A.TRANSPORTE

Cuando sea necesario transportar el hormigón muestreado, hágalo en los recipientes de muestreo hasta el lugar donde se confeccionarán las probetas o se harán los controles de ensayos.

B.PROTECCIÓN

Cubra las muestras durante el período comprendido entre su extracción y la confección de las probetas o controles requeridos de hormigón fresco, a fin de protegerlas de los agentes climáticos.

Nota 3: Comúnmente se emplean arpilleras húmedas, lonas húmedas o láminas de polietileno.

C.REMEZCLADO

Antes de llenar los moldes o realizar los ensayos, remezcle la muestra con pala en el mismo recipiente de muestreo.

SECCION 6.3.3.2.

ELABORACIÓN Y CURADO EN EL LABORATORIO DE MUESTRAS DE HORMIGÓN PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN Y FLEXIÓN (ASTM 192 AASHTO T126)

6.3.3.2.1. OBJETO

Este método establece los procedimientos para preparar mezclas de prueba de hormigón en laboratorio.

Es aplicable a mezclas que se emplean en ensayos del hormigón fresco y en la confección de probetas para ensayos del hormigón endurecido con los propósitos de: verificar la calidad de los materiales componentes y su correcta dosificación, investigar procedimientos de elaboración y ensayos e investigar propiedades y características del hormigón.

6.3.3.2.2. DEFINICIONES

Los términos empleados en este método, se encuentran definidos en la **Sección 6.3.1.2.**

6.3.3.2.3. EQUIPOS Y MATERIALES

C.1. Recipientes

Los recipientes que se usen para contener materiales o para saturar áridos, deberán ser limpios, impermeables y químicamente inertes respecto de los componentes del hormigón; y estarán provistos de tapas herméticas cuando sea necesario.

C.2. Balanzas

Tendrán una capacidad mayor que la masa del recipiente, más la masa del material por pesar y una precisión igual o superior al 0,1% de la pesada.

Nota 1: En general se recomienda tener por lo menos una balanza de 60 a 100 kg de capacidad para pesar áridos y cemento y otra de 1 a 2 kg de capacidad para pesar aditivos y adiciones.

C.3. Mezclador

Se usará un mezclador mecánico o elementos para mezclar manualmente.

C.4. Dimensiones de las probetas

- a) Moldes en general. Los moldes para las muestras y los sujetadores de dichos moldes deben ser de acero, hierro forjado o de otro material no absorbente y que no reaccione con el concreto utilizado en los ensayos. Deben estar conforme a las dimensiones y tolerancias especificadas en el método para el cual deben ser ensayadas. Deben ser herméticos de tal forma que no se escape el agua de la mezcla contenida. Un sellante apropiado como arcilla, parafina o grasa, puede ser utilizado para impedir filtraciones por las uniones. Para fijar el molde a la base del mismo, éste debe tener medios adecuados para ello.
- b) Moldes cilíndricos reutilizables. Deben estar hechos de un metal de alta resistencia o de

otro material rígido no absorbente. El plano transversal del cilindro debe ser perpendicular al eje del cilindro. La tolerancia en la medida del diámetro exigido debe ser de ± 2.0 mm y en la altura la tolerancia será de ± 6.0 mm. Los moldes de 150 mm de diámetro por 300 mm de altura, deben estar de acuerdo con la especificación ASTM C-470, "Molds For Forming Concrete Test Cylinders Vertical".

- c) Vigas y moldes prismáticos. La superficie interior del molde debe ser lisa, y las caras interiores deben ser perpendiculares entre sí y libres de torceduras u ondulaciones. La tolerancia en las dimensiones nominales de la sección transversal será de ± 3.2 mm (1/16") para dimensiones mayores o iguales a 152 mm (6") y de ± 1.6 mm (1/16") para dimensiones menores de 152 mm (6"). Excepto para muestras destinadas a ensayos de módulos de rotura, la longitud nominal de los moldes debe tener una tolerancia de 1.6 mm. Estas muestras no deberán tener una longitud inferior en 1.6 mm (1/6") con respecto a la longitud especificada, pero puede excederse dicha longitud en más del valor mencionado.

6.3.3.2.4. CONDICIONES GENERALES

C.1. Antecedentes

Registre los antecedentes disponibles sobre las características de los materiales por emplear, comprobadas en ensayos previos, cuando sea necesario.

C.2. Temperatura

Use los materiales solamente cuando su temperatura alcance $20 \pm 3^\circ$ C ($68 \pm 5^\circ$ F).

C.3. Agua

Mida la cantidad (masa o volumen) de agua requerida con una precisión de $\pm 0,2\%$; evite pérdidas y contaminaciones y considere las correcciones necesarias según la humedad que presenten los áridos.

C.4. Cemento

Tamice por el tamiz 1,18 mm (Nº 16) para eliminar posibles grumos; luego homogenice revolviendo cuidadosamente, pese la cantidad requerida procurando hacerlo en una sola operación en un recipiente limpio y seco, evitando pérdidas y contaminaciones. Por último, almacene todo el cemento requerido para una mezcla o una serie completa de mezclas de prueba, en recipientes herméticos, preferentemente metálicos y guardados en un lugar seco.

Nota 2: Cuando un cemento se encuentre alterado (hidratación, contaminación, etc.), se recomienda verificar y registrar su estado antes de preparar la mezcla de prueba.

C.5. Áridos

- a) Separe los áridos según tamaños en las fracciones que sean necesarias para disminuir el peligro de segregación y constituya, con la mayor exactitud posible, la granulometría en estudio.

Nota 3: Cuando el árido grueso es una mezcla de materiales rodados y chancados, se debe registrar la proporción entre ambos tipos de partículas según el Método A0508.

- b) Almacene las fracciones separadas en recipientes adecuados, para evitar segregaciones, pérdidas y contaminaciones.
- c) Trate los áridos de acuerdo al punto 7 antes de pesarlos para asegurar una condición

de humedad definida y uniforme, considerando que el agua de absorción es parte integrante del árido y que demora en ser absorbida.

- d) Pese cada fracción de árido con una precisión de $\pm 0,3\%$ en la condición de humedad resultante después de tratada con algunos de los procedimientos que se han indicado en el punto 9.

C.6. Tratamiento de los Áridos

Elija el tratamiento por seguir de acuerdo al objetivo de la mezcla de prueba y al estado de humedad de los áridos, de entre uno de los métodos que se indican más adelante.

Nota 4: Cuando se desee investigar la influencia del grado de saturación de un árido, se debe determinar la curva tiempo/absorción del árido y luego preparar mezclas de prueba comparativas con el árido totalmente saturado y con distintos grados de saturación. Se entenderá por grado de saturación el cociente entre la cantidad de agua absorbida por el árido en un determinado momento y la máxima cantidad de agua de absorción de ese árido, calculada de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{grado de saturación} = \frac{\alpha'}{\alpha}$$

Donde:

- α' : % de absorción del árido en un momento determinado.
 α : % de absorción máxima.

C.7. Tratamiento de Áridos con Excedente de Agua

Aplique el siguiente procedimiento a las arenas:

- Determine el porcentaje de absorción de agua en 24 h, de acuerdo con la **Sección 6.3.1.10**.
- Sumerja el árido durante un período de a lo menos 24 h.
- Escorra el exceso de agua, hasta dejar el árido fino en estado húmedo con una pequeña cantidad de agua excedente, suficiente para evitar pérdidas por secado. Manténgalo protegido hasta el momento de emplearlo.
- Determine el porcentaje de humedad total resultante del tratamiento efectuado en c), referido a la masa del árido en estado seco.
- Calcule la cantidad de agua total, multiplicando la masa de árido seco requerida para la amasada por el porcentaje de humedad total.
- Pese del árido húmedo resultante en c), una cantidad igual a la masa de árido seco requerido para la amasada más el valor calculado en e).
- Calcule el porcentaje de agua libre como la diferencia entre el porcentaje de humedad total y el porcentaje de absorción de agua.
- Calcule la cantidad de agua libre, aplicando el porcentaje de agua libre a la masa de árido seco requerido para la amasada.
- Corrija el agua de amasado, restándole la cantidad de agua libre.

C.8. Tratamiento de Áridos Parcialmente Secos

Aplique el siguiente procedimiento a las gravas siempre que su absorción sea inferior a 1%:

- a) Determine el porcentaje de absorción de agua en 24 h, de acuerdo con la **Sección 6.3.1.9**.
- b) Determine el porcentaje de humedad total presente en el árido referido a la masa del árido en estado seco.
- c) Calcule la cantidad de agua total presente en el árido, multiplicando la masa de árido seco requerida para la amasada por el porcentaje de humedad total.
- d) Pese del árido parcialmente seco una cantidad igual a la suma de la masa de árido seco requerida para la amasada más el valor calculado en c).
- e) Estime el porcentaje de agua que absorberá el árido durante el proceso de mezclado como el 80% de la diferencia de los valores determinados en a) y b).
- f) Calcule la cantidad de agua que absorberá el árido, multiplicando la masa de árido seco requerida para la amasada por el porcentaje estimado en e).
- g) Corrija el agua de amasado, sumándole la cantidad de agua calculada en f).

C.9. Tratamiento de Áridos Secos

Considere como árido seco al que se ha secado en horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 10^\circ \text{F}$) hasta masa constante. Aplique el siguiente procedimiento a cualquier árido o fracciones de árido seco:

- a) Determine el porcentaje de absorción de agua en 24 h, de acuerdo con las **Secciones 6.3.1.9 o 6.3.1.10**, según corresponda.
- b) Seque los áridos en horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 10^\circ \text{F}$) hasta masa constante.
- c) Pese, en un recipiente impermeable, cada árido o fracción de árido en la condición seca, la cantidad requerida para la amasada.
- d) Cubra los áridos con agua durante a lo menos 24 h hasta saturarlos antes de su empleo.
- e) Después de la saturación extraiga cuidadosamente el agua sobrante de modo que la cantidad de agua libre que arrastre el árido sea menor que la de amasado.
- f) Pese, en el mismo recipiente, los áridos saturados más el agua libre.
- g) Calcule la cantidad de agua total en los áridos como la diferencia de las pesadas obtenidas en f) y c),
- h) Calcule la cantidad de agua de absorción, multiplicando la masa de árido seco requerida para la amasada por el porcentaje de absorción de agua.
- i) Calcule la cantidad de agua libre como la diferencia de los valores obtenidos en g) y h).
- j) Corrija el agua de amasado, restándole la cantidad de agua libre.

C.10. Aditivos Solubles

Prepare una solución de los aditivos solubles en una parte del agua de amasado. Si es líquido

considere su volumen como parte del agua de amasado.

C.11. Aditivos Insolubles

Para los aditivos insolubles, mezcle con una parte o con la totalidad del cemento o con el árido fino.

C.12. Adiciones

Las adiciones que se empleen en cantidad superior al 10% de la masa del cemento, se deben incorporar a la amasada en la misma forma que el cemento; en dosis menores al 10%, se deben incorporar como se indica en 14.

6.3.3.2.5. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA PROBETAS

- a) Probetas cilíndricas. Puede ser de varios tamaños, siendo el mínimo de 50.0 mm (2") de diámetro por 100 mm (4") de longitud. Las probetas cilíndricas para los ensayos, exceptuando el de fluencia bajo carga (creep), deben ser moldeadas con el eje del cilindro vertical y dejándolo en esta posición durante el fraguado.
- b) Probetas prismáticas. Las vigas para ensayos de flexión, cubos para compresión, adherencia, cambios de longitud o de volumen, deben ser elaboradas con el eje longitudinal en posición horizontal.
- c) Otras probetas. Otros tipos de probetas deben ser elaborados de acuerdo con las condiciones generales especificadas en esta norma.
- d) Tamaño de la probeta de acuerdo con el tamaño del agregado. El diámetro de una probeta cilíndrica o la mínima dimensión de una sección transversal rectangular deben ser por lo menos 3 veces mayores que el tamaño máximo del agregado grueso utilizado en la elaboración de la mezcla. Partículas superiores al tamaño máximo deben ser retiradas de la mezcla, durante el moldeo.
- e) Número de probetas. Para cada edad deben elaborarse tres o más probetas. Los especímenes de ensayo que tienen en cuenta el análisis de una variable, deben ser elaborados a partir de tres tongadas separadas, mezcladas en días diferentes. En todas las tongadas debe elaborarse un número igual de especímenes. Cuando sea imposible moldear al menos dos especímenes para cada variable en un día determinado, la mezcla para completar la serie entera de especímenes debe efectuarse tan pronto como sea posible (cuestión de pocos días), y una de las mezclas debe ser repetida cada día, como un estándar de comparación.

Generalmente, los ensayos se hacen a edades de 7 y 28 días para compresión a edades de 14 y 28 días para flexión. Los especímenes que contienen otro tipo de cemento son ensayados frecuentemente a 1, 3, 7 y 28 días. Tanto para el ensayo de compresión como el de flexión, pueden hacerse ensayos de 3 meses, 6 meses y un año. Para otros tipos de probetas pueden necesitarse otras edades.

6.3.3.2.6. PROCEDIMIENTO

a. Condiciones Generales

El hormigón se debe mezclar de preferencia por medios mecánicos o, en su defecto, por medios manuales.

El volumen de la amasada por preparar, será superior en un 20% o más, al volumen necesario para efectuar los ensayos del hormigón fresco y/o confeccionar probetas.

b. Mezclado Mecánico

El procedimiento será aplicable a todo tipo de hormigones, debiéndose prestar especial atención para evitar, en lo posible, la pérdida de mortero por adherencia a las superficies interiores del tambor del mezclador y a las paletas. La cantidad de mezcla quedará determinada por la capacidad del mezclador utilizado.

Se recomienda utilizar un mezclador de eje vertical, que permita recuperar todo el mortero adherido a las paletas. Para mezcladoras que no cumplan este requisito, se recomienda mezclar previamente una amasada de igual dosificación a la especificada para el ensayo y desecharla, para que quede una capa de mortero adherida a las superficies interiores del mezclador. Tenga especial cuidado en limpiar el mezclador y los accesorios cuando la composición de una amasada (aditivos, adiciones, dosificación, etc.) pueda alterar la siguiente.

El mezclado mecánico debe seguir las mismas etapas especificadas para el mezclado manual; una vez incorporados todos los materiales debe revolver durante 3 minutos, reposar la mezcla otros 3 minutos, y revolver nuevamente por 2 minutos más.

- c. Ensayo del Hormigón Fresco: Efectúe los ensayos requeridos del hormigón fresco de acuerdo con los métodos correspondientes.
- d. Vaciado del concreto Lugar del moldeo. Se deben moldear las muestras lo más cerca posible del lugar donde se van a guardar para su fraguado en las siguientes 24 horas. Los moldes se llevarán al depósito inmediatamente después de su elaboración. Colóquense los moldes sobre una superficie rígida y libre de vibraciones, evitando inclinaciones y movimientos bruscos. Transpórtense evitando sacudidas, golpes, inclinaciones o raspaduras de la superficie.

El concreto se debe colocar en los moldes utilizando un badilejo o herramienta similar.

Se debe seleccionar el concreto de tal manera que la muestra sea representativa de la mezcla; además, se debe mezclar continuamente la mezcla del concreto durante el llenado del molde con el objeto de prevenir la segregación.

En la colocación de la capa final se debe intentar colocar una capa de concreto que complete exactamente el relleno del molde.

El número de capas debe ser el especificado en la **Tabla 6.3_ 42**.

- e. Compactación. La selección del método de compactación debe hacerse con base en el asentamiento, a menos que el método sea establecido en las especificaciones bajo las cuales se trabaja (**Tabla 6.3_ 42**). Los dos métodos de compactación son: apisonado (por varillado) y vibración (externa o interna). Si el concreto tiene un asentamiento mayor de 75 mm (3") debe usarse el método de apisonado. Si el asentamiento es de 25 a 75 mm (1 a 3") debe usarse el método de apisonado o el de vibración, prefiriéndose el método usado en la ejecución de la obra.

Si el asentamiento es inferior a 25 mm (1") debe usarse el método de vibración. No se debe usar vibración interna para cilindros con diámetro inferior a 100 mm y para prismas de 100 mm de profundidad o menos. Los concretos con contenido de agua tal que no pueden ser compactados por los ensayos aquí descritos no estarán contemplados por la presente norma.

Tabla 6.3_42. NÚMERO DE CAPAS REQUERIDAS EN LA ELABORACIÓN DE LAS MUESTRAS

Tipo de tamaño de la muestra en mm (pulg.)	Método de compactación	Numero de capas	Altura aproximada de la capa en mm (pulg.)
CILINDROS			
Hasta 200 (12)	Apisonado (varillado)	2 iguales	50 (2)
Mayor que 300 (12)	Apisonado (varillado)	Las requeridas	100 (4)
Hasta 460 (18)	Vibración	2 iguales	
Mayor que 460 (18)	Vibración	3 o más	200 (4)
PRISMAS			
Hasta 200 (8)	Apisonado (varillado)	2 iguales	
Mayor que 200 (8)	Apisonado (varillado)	3 o más	100 (4)
Hasta 200 (8)	Vibración	1	
Mayor que 200 (8)	Vibración	2 o más	200 (8) C 172

- a) **Apisonado por varillado.** Se coloca el concreto en el molde con el número de capas requeridas (**Tabla 6.3_42**) aproximadamente del mismo volumen.

Se apisona cada capa con la parte redonda de la varilla normalizada, utilizando el número de golpes y el tamaño de la varilla especificado en la **Tabla 6.3_43**. La capa inicial se apisona introduciendo la varilla hasta el fondo del molde. La distribución de golpes para cada capa debe ser uniforme sobre toda la sección transversal del molde.

Para cada capa superior a la inicial se debe atravesar aproximadamente en 12 mm (½") la capa anterior cuando la profundidad de la capa sea menor de 100 mm (4"); aproximadamente en 25 mm (1") cuando la profundidad de la capa sea mayor de 100 mm (4"). En caso de dejar algunos huecos por la varilla se deben golpear ligeramente los lados del molde para cerrar dichos huecos. En los elementos prismáticos, introdúzcase el badilejo (o similar) por los costados y extremos después de apisonar cada capa.

La varilla normalizada para compactación debe ser rectilínea, de acero, 60 cm de longitud t diámetros en función al molde empleado conforme lo indicado en la Tabla 6.3_43. En sus 25 mm finales será troncocónica y estará rematada en su extremo por un casquete esférico de 6 mm de radio.

- b) **Vibración.** Manténgase un mismo tiempo de vibración para un conjunto particular de concreto, vibrador y molde que se esté utilizando. La vibración se debe transmitir al cilindro durante el tiempo suficiente para lograr la adecuada compactación del concreto, pues un exceso de vibrado puede causar segregación. El molde se debe llenar y vibrar en capas iguales aproximadamente.

Todo el concreto para cada capa se debe colocar en el molde antes de iniciar el vibrado. La duración del vibrado depende de la manejabilidad del concreto y la efectividad del vibrador. Se considera suficiente el vibrado, cuando el concreto presente una superficie relativamente lisa.

Vibración interna. El diámetro del eje o dimensión lateral de un vibrador interno no debe ser mayor de 1/3 del ancho del molde en el caso de vigas o prismas. Para cilindros, la relación del diámetro del cilindro al diámetro del vibrador debe ser igual o mayor de 4.0. Al compactar la muestra el vibrador no debe tocar el fondo, las paredes del molde u objetos embebidos en el concreto. El vibrador se debe extraer cuidadosamente de tal manera que no queden bolsas de aire dentro de las muestras. Se deben golpear ligeramente los lados del molde para asegurarse que no queden aprisionadas burbujas de aire en su superficie.

Vibración interna para cilindros. En cada capa se debe introducir el vibrador en tres sitios diferentes. En cada capa el vibrador debe penetrar en la capa anterior aproximadamente 25 mm.

Vibración interna para vigas y prismas. Se debe introducir el vibrador en puntos separados por una distancia no mayor de 150 mm (6") a lo largo de la línea central de la mayor dimensión de la muestra. Para moldes de ancho mayor de 150 mm (6") se debe introducir el vibrador en dos líneas alternando las inserciones. Se debe permitir penetrar el eje del vibrador en la capa del fondo aproximadamente 25 mm (1").

Vibración externa. Cuando se use un vibrador externo debe tenerse el cuidado de que el molde este rígidamente unido a la superficie o elemento vibrante.

Tabla 6.3_43. DIÁMETRO DE VARILLA Y NÚMERO DE GOLPES POR CAPA

CILINDROS		
Diámetro del cilindro en mm (pulg.)	Diámetro de varilla en mm (pulg.)	Numero de golpes por capa
50 (2) a 150 (6)	10 (3/8)	25
150 (6)	10 (3/8)	25
200 (8)	16 (5/8)	50
250 (10)	16 (5/8)	75
VIGAS Y PRISMAS		
Área de la superficie superior de la muestra en cm ² (pulg ²)	Diámetro de varilla en mm (pulg.)	Numero de golpes por capa
160 (25)	10 (3/8)	25
165 (25)	10 (3/8)	1 por cada 7 cm ² (1 pulg ²) de área
320 (50) o más	16 (5/8)	1 por cada 14 cm ² (1 pulg ²) de área

Acabado.

Después de la compactación, se debe efectuar el acabado con las manipulaciones mínimas, de tal manera que la superficie quede plana y pareja a nivel del borde del cilindro o lado del molde, y no debe tener depresiones o protuberancias mayores de 3.2 mm (1/8").

Acabados de cilindros. Después de la compactación, se debe efectuar el acabado de la superficie por medio de golpes con la varilla apisonadora cuando la consistencia del concreto lo permita o con un badilejo o llana de madera. Si se desea, puede colocarse una capa de pasta de cemento sobre el espécimen a manera de refrentado (capping) (*véase norma MTC E703 "Capping"*).

6.3.3.2.7. CURADO

Cubrimiento después del acabado. Para evitar la evaporación de agua del concreto sin endurecer, los testigos deben ser cubiertos inmediatamente después del acabado, preferiblemente con una platina no reactiva con el concreto, o con una lámina de plástico dura e impermeable. Se permite el uso de lona húmeda para el cubrimiento de la muestra, pero se evitará el contacto directo de la muestra con la lona, la cual debe permanecer húmeda durante las 24 horas contadas a partir del acabado de la muestra.

Extracción de la muestra. Las muestras deben ser removidas de sus moldes en un tiempo no menor de 20 horas ni mayor de 48 horas después de su elaboración cuando no se empleen aditivos; en caso contrario, se podrán emplear tiempos diferentes.

Ambiente de curado. Se deben mantener las muestras en condiciones de humedad con temperatura de 23.0 ± 2.0 °C (73.4 ± 3 °F) desde el momento del moldeo hasta el momento de ensayo.

El almacenamiento durante las primeras 48 horas de curado, debe hacerse en un medio libre de vibraciones.

La condición de humedad debe lograrse por inmersión de la muestra sin el molde en agua. Se permite lograr la condición de humedad por el almacenamiento en un cuarto húmedo.

No deben exponerse los especímenes a condiciones de goteo o de corrientes de agua. Debe evitarse que se sequen las paredes de la muestra luego del periodo de curado.

6.3.3.2.8. INFORME

De cada mezcla de prueba, lleve un registro que indique lo siguiente:

C.1. Identificación de la Mezcla

- a. Nombre del Contrato y del Contratista.
- b. Objetivo.
- c. Fecha de confección de la mezcla.

C.2. Antecedentes del Hormigón

- a. Antecedentes de los materiales (antecedentes de producción, ensayos de comprobación, posibles alteraciones, etc.).
- b. Dosificación.
 - a. Condiciones de mezclado (tipo de mezclador, temperatura y humedad ambiente, volumen de amasada, etc.).
 - b. Cualquier excepción o complemento a los procedimientos establecidos en el presente método.

C.3.29. Otros Antecedentes

- a. Resumen de resultados de los ensayos efectuados con la mezcla de prueba.
- b. Cualquier otra información específica relativa al hormigón y a las condiciones de uso.

SECCION 6.3.3.3.

MÉTODO PARA REFRENTAR PROBETAS (ASTM 617 AASHTO T231)

6.3.3.3.1. OBJETO

Este método establece los procedimientos para refrentar probetas de hormigón destinadas a ensayos de compresión y tracción. Se deberá aplicar a probetas cuyas superficies de contacto con las prensas de ensayo no cumplan con los requisitos de planeidad y/o paralelismo entre caras, especificados en las **Secciones 6.3.3.9, 6.3.3.10 y 6.3.3.13**, según corresponda.

Es aplicable a probetas cúbicas, cilíndricas o prismáticas, moldeadas en hormigón fresco, como también a testigos extraídos del hormigón endurecido

6.3.3.3.2. DEFINICIONES

A.SUPERFICIE DE CARGA

Superficie de las caras de una probeta de hormigón que estarán en contacto con las piezas de apoyo y carga de la prensa durante el ensayo.

B.REFRENTADO

Procedimiento de aplicación y moldeo de una capa de material (capa de refrentado) sobre la superficie de carga en la probeta de hormigón, destinado a corregir defectos de planeidad y/o paralelismo entre caras, con el fin de obtener el mejor ajuste posible con las piezas de apoyo y carga de la prensa de ensayo y una distribución uniforme de tensiones durante la aplicación de la carga.

C.CAPA DE REFRENTADO

Capa de material aplicado y moldeado que recubre una superficie de carga en una probeta de hormigón.

6.3.3.3.3. EQUIPOS Y MATERIALES

A.PLACAS

Deberán ser de metal, vidrio o cualquier otro material rígido, no absorbente, químicamente inerte con los componentes del material de refrentado y cumplir con los siguientes requisitos:

- a) La superficie de contacto debe ser plana con una tolerancia de planeidad de 0,05 mm, medida por lo menos en tres direcciones con un ángulo de 45° entre sí.
- b) El largo y ancho deben ser a lo menos 30 mm mayores que las respectivas dimensiones de la superficie por refrentar.
- c) El espesor de las placas de metal debe ser igual o mayor que 8 mm, y el de las de vidrio igual o mayor que 6 mm.
- d) Si se requiere un rebaje en las placas metálicas, el espesor de la placa en la zona rebajada debe ser igual o mayor que 8 mm y el rebaje menor o igual que 8 mm.

B.DISPOSITIVOS PARA REFRENTAR CILINDROS PARA ENSAYO DE COMPRESIÓN

Aparato vertical (ver *Figura 6.3_ 37*), compuesto por una base provista de una placa horizontal con un rebaje circular rectificado y un perfil metálico u otro dispositivo de alineación vertical que permita asegurar la perpendicularidad del eje de la probeta.

Anillos metálicos, ajustables a los extremos del cilindro y que se emplean en conjunto con una placa.

Aparato horizontal (ver *Figura 6.3_ 37*), compuesto por una base de apoyo para colocar la probeta horizontalmente y un par de placas paralelas dispuestas verticalmente en ambos extremos. Las placas deben estar provistas de mordazas a fin de ajustarse a ambos extremos de la probeta y conformar un molde que se pueda rellenar por vaciado.

C.DISPOSITIVO PARA REFRENTAR CUBOS PARA ENSAYO DE COMPRESIÓN

Estará compuesto por un juego de cuatro perfiles de acero de sección cuadrada de 25 x 25 mm y 250 mm de longitud por emplear en conjunto con una placa.

D.DISPOSITIVO PARA REFRENTAR TESTIGOS PARA ENSAYO DE TRACCIÓN POR HENDIMIENTO

(Ver *Figura 6.3_ 37*). Será un molde acanalado, compuesto por una plancha metálica curva, de espesor 5 mm, con la forma de un tercio de la pared de un cilindro y una base de apoyo, que permita mantenerla firmemente en posición horizontal.

E.OTROS DISPOSITIVOS

Se podrán emplear otros dispositivos similares que permitan obtener capas de refrentado, que cumplan con los requisitos que se indica en 4.

F.APARATOS PARA FUSIÓN DE MEZCLA DE AZUFRE

Recipiente de metal o recubierto con un material inerte a la acción del azufre fundido. Debe estar provisto de control automático de temperatura.

Cucharón o similar, de metal o recubierto con un material inerte a la acción del azufre fundido, cuya capacidad concuerde con el volumen de material por emplear en una capa de refrentado.

Sistema de ventilación, campana con extractor de aire para eliminar los gases de la fusión.

6.3.3.3.4. CONDICIONES GENERALES

A.REQUISITOS DE LA CAPA DE REFRENTADO

Forma. La superficie de carga deberá quedar perfectamente plana, con una tolerancia de 0,05 mm, medida por lo menos en tres direcciones con un ángulo de 45° entre sí y perpendicular al eje vertical de la probeta en posición de ensayo. La tolerancia será una desviación máxima equivalente a una pendiente de 1 mm en 100 mm.

B.SUPERFICIE

- a) En las probetas para ensayo de compresión debe ser igual o ligeramente mayor que la superficie de carga sin sobrepasar los bordes de la probeta en más de 3 mm.
- b) En las probetas para ensayo de tracción por flexión o por hendimiento, en que las superficies de carga corresponden a una línea, deben tener una longitud igual

o ligeramente mayor a dicha línea sin sobrepasar los bordes de la probeta en más de 3 mm y un ancho de 20 ± 5 mm.

- c) El material de refrentado debe desarrollar una resistencia a la compresión mayor que la prevista para la probeta en el momento del ensayo, y en todo caso igual o mayor que 35 MPa.
- d) Moldee la capa de refrentado tan delgada como sea posible; en general es aconsejable un espesor de aproximadamente 3 mm, pero en ningún caso mayor que 8 mm.

6.3.3.3.5. PROCEDIMIENTO

a. Refrentado de probetas recién moldeadas

Es aplicable a probetas cilíndricas para ensayos a compresión y debe efectuarse de acuerdo con uno de los dos procedimientos siguientes:

b. Procedimiento con Pasta de Cemento

- a) Prepare una pasta dura de cemento de alta resistencia y con una consistencia plástica, de preferencia normal.
- b) Colocación:
 - Unte las placas de refrentado con una capa delgada de aceite mineral o cualquier otro material que evite la adherencia y sea químicamente inerte con el material de refrentado.
 - Retire los cilindros de su curado inicial, sin desmoldarlos, a una edad de 2 a 4 h desde su moldeo.
 - Elimine la lechada superficial mediante raspado.
 - Moldee cada capa de refrentado colocando una porción del material en el centro de la superficie de carga y prensando con una placa, girándola suavemente hasta topar el borde del molde, eliminando el exceso de pasta.
 - Evite la formación de burbujas de aire.
 - Devuelva cada cilindro a su curado inicial, manteniendo la placa en contacto con la capa de refrentado.

c. Procedimiento con mortero de cemento

- a) Prepare una mezcla seca – plástica, compuesta por una parte en masa de cemento de fraguado inicial rápido y con un grado de resistencia final alta, una parte en masa de arena fina seca, que pase por el tamiz de 1,18 mm (Nº 16), y 0,45 partes de agua. Deje reposar por un período de 1 a 2 h y remezcle antes de colocar, a fin de reducir al mínimo el efecto de las retracciones.
- b) Coloque de acuerdo con 13 b).

d. Refrentado de probetas desmoldadas y testigos

Es aplicable a cubos, cilindros y vigas desmoldadas o testigos de hormigón endurecido para ensayos de compresión, tracción por flexión y tracción por hendimiento. Debe efectuarse de acuerdo con uno de los procedimientos que se indican a continuación.

e. Procedimiento con pasta de azufre

Prepare el material como sigue:

- a) Elabore una mezcla seca compuesta de 55 a 70 partes en masa de azufre en polvo y 30 a 45 partes en masa de material granular que pase por el tamiz de 0,3 mm (Nº 50). Emplee arcilla refractaria molida o arena silícica (pumacita) como material granular.
- b) Caliente la mezcla hasta su fusión a una temperatura controlada entre 130 y 145° C (266° Y 293° F) sin exponer a fuego directo que pueda inflamar la mezcla, y expulse al exterior los gases que resultan de la fusión.

Nota 1: La mezcla puede inflamarse por sobrecalentamiento; si esto ocurre extinga la llama tapando el recipiente.

- c) En ningún caso recaliente el mismo material más de cinco veces; la mezcla pierde resistencia y fluidez por contaminaciones y volatilización.
- d) Una vez aplicada a la probeta, deje endurecer hasta que alcance una resistencia a la compresión mayor que la prevista para la probeta en el momento del ensayo, y en todo caso igual o mayor que 35 MPa.

Coloque como se indica a continuación:

- e) Unte las placas y superficies de los dispositivos que entran en contacto con el material de refrentado con una delgada capa de aceite mineral o de cualquier otro material que prevenga la adherencia y sea químicamente inerte con el material de refrentado.
- f) Retire las probetas o testigos de su curado con la antelación suficiente para que el material de refrentado desarrolle la resistencia requerida hasta el momento del ensayo.
- g) Elimine la lechada superficial y partículas sueltas de las superficies de carga mediante una escobilla de alambre o similar.
- h) Seque las superficies de carga (p. ej. mediante una corriente de aire caliente), cuidando de no extender el secado más de lo estrictamente necesario para asegurar la adherencia del material a la probeta.
- i) Moldee la capa de refrentado, según el tipo de probeta y el aparato por emplear, como se indica:
- j) Placas: coloque una porción de material en el centro de la superficie de carga y prénsela con la placa, girándola suavemente y eliminando los excesos de material. En el caso de vigas, disponga muestras a ambos costados de la superficie de carga, a fin de nivelar la placa.
- k) Dispositivo vertical: nivele el aparato, distribuya uniformemente el material en el rebaje de la placa, apoye una generatriz del cilindro en la guía vertical y hágalo descender hasta presionar el material.

- l) Anillos: nivele y ajuste cada anillo en un extremo del cilindro de modo que su borde superior sobresalga aproximadamente 3 mm sobre la superficie de carga. Distribuya uniformemente el material en el molde hasta topar el borde del anillo y prénselo uniformemente con una placa, girándola suavemente hasta topar el borde del anillo y elimine excesos de material.
- m) Dispositivo horizontal: nivele el aparato, coloque el cilindro ajustando sus extremos con las mordazas, tapone las juntas para evitar pérdidas y rellene ambos extremos por vaciado.
- n) Perfiles: nivele la placa y conforme un molde con los cuatro perfiles, con la forma de un cuadrado que deje un espacio libre menor que 3 mm entre los perfiles y las aristas del cubo. Distribuya uniformemente el material sobre la placa y presiónelo sobre el cubo.
- o) Molde acanalado: nivele el aparato, distribuya uniformemente el material a lo largo del fondo del molde, coloque el testigo horizontalmente y presiónelo sobre el material.
- p) Devuelva las probetas a su curado o bien manténgalas húmedas protegiéndolas con arpilleras mojadas hasta el momento en que deban colocarse en la máquina de ensayo.

f. Procedimiento con pasta de yeso.

El material se aplica como sigue:

- a) Prepare una pasta densa con yeso de alta resistencia y una cantidad de agua mayor que el 26% y menor que el 30% del yeso, en masa.
- b) Una vez aplicada a la probeta, deje endurecer hasta que alcance una resistencia a la compresión mayor que la prevista para la probeta en el momento de ensayo, y en todo caso igual o mayor que 35 MPa, verificada.

Para colocar siga el procedimiento indicado en 16 excepto que las superficies de carga deben mantenerse en estado saturado superficialmente seco y proteja al yeso del contacto directo con el agua.

g. Inspección de las capas de refrentado

h. Adherencia

Golpee ligeramente las capas de refrentado con el mango de un cuchillo, o similar, antes de colocar en la prensa de ensayo; si emite un sonido hueco, remueva la capa y reemplácela antes de ensayar.

i. Planeidad y perpendicularidad

- a) Cuando emplee pastas de yeso o cemento, inspeccione todas las capas de refrentado.
- b) Cuando emplee mezcla de azufre, para cada aparato de refrentado en uso, inspeccione al azar a lo menos una capa de refrentado por cada diez.

Nota 2: Emplee una escuadra de precisión con un pequeño calado para no topar el borde de la capa de refrentado.

- c) Cuando una capa de refrentado no cumpla con los requisitos de forma especificados en 10, remueva la capa y reemplácela antes de ensayar, e inspeccione el aparato por usar (planeidad de placas, ángulos de dispositivos de alineación).

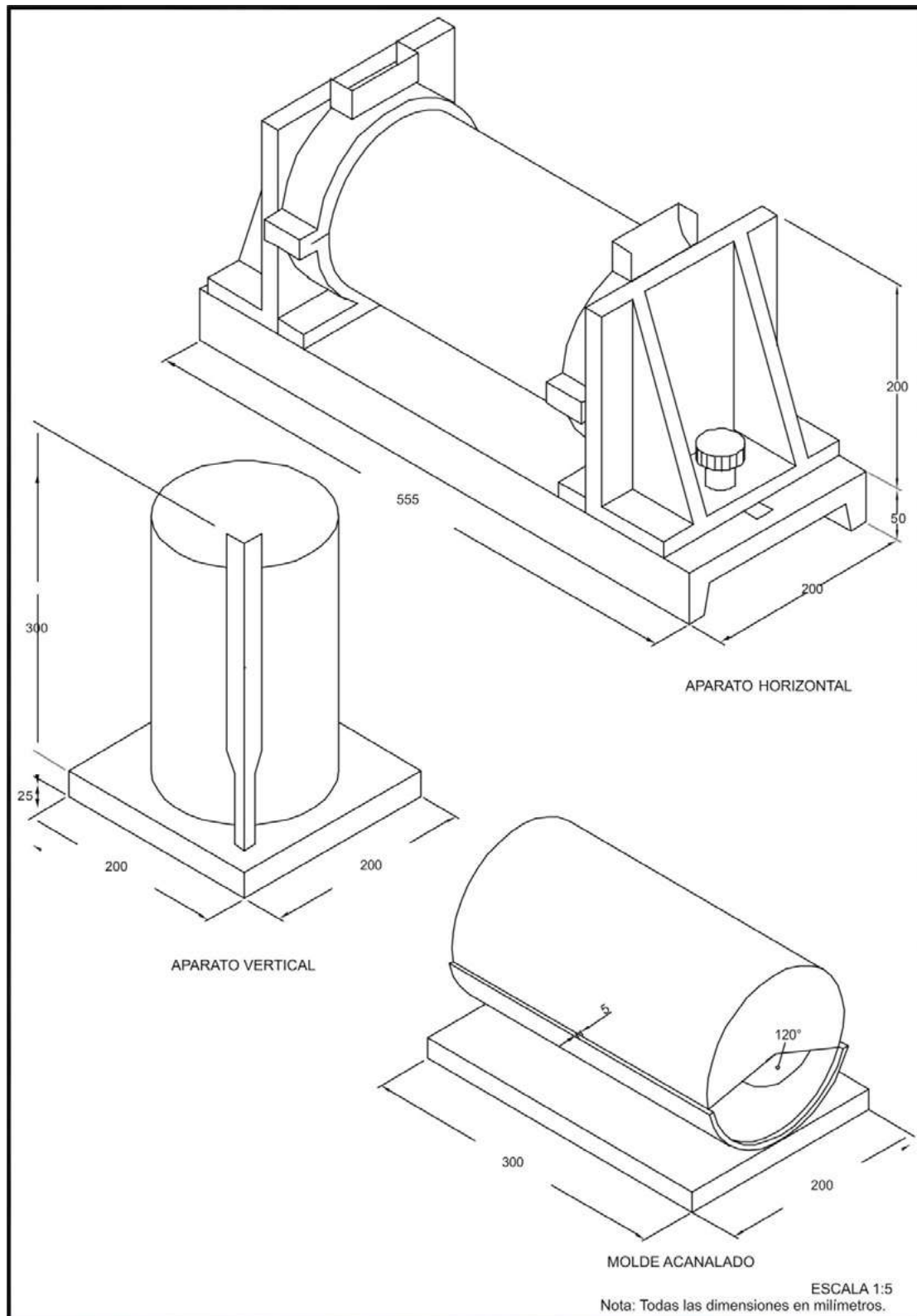


Figura 6.3_37. APARATO PARA REFRENTAR PROBETAS

A. OTROS MÉTODOS DE AJUSTE

A.1. Pulido

Se realiza con máquinas rectificadoras con cabezales giratorios abrasivos diamantados que pulen las bases de la probeta con una precisión de 0,05 mm

Las probetas deben retirarse de la cámara o pileta de curado para el pulido durante no más de 1 hora y deben volver a introducirse a curado durante al menos 1 hora antes de ensayarlas.

Este método no tiene limitaciones en cuanto a la resistencia del hormigón a ensayar.

A.2. Almohadillas de neoprene

Para ello se emplean almohadillas de neoprene y bases de retención.

A.3. Almohadillas de neoprene:

De un espesor de 13 ± 2 mm y un diámetro no menor en más de 2 mm al diámetro interior del anillo de retención. Se debe mantener un registro indicando la fecha en que la almohadilla es puesta en servicio, la dureza y el número de usos permitidos. Las almohadillas podrán ser usadas de ambas caras.

A.4. Bases de retención:

Deben ser fabricados de acero, y estarán provisto de una concavidad de dos veces el espesor de la almohadilla. El diámetro de los anillos de retención no debe ser menor al 102% o mayor al 107% del diámetro del cilindro

No se recomienda utilizar este método para ensayos de hormigones de resistencia a compresión prevista inferior a 10 MPa y superior a 80MPa.

B. PROCEDIMIENTO:

Insertar los discos de neoprene en las bases de retención

Centrar la probeta a ensayar en el neopreno y plato retenedor y ubíquelo en la base de la máquina de ensayo, alineando sus ejes cuidadosamente con el bloque base de la máquina.

Verificar la verticalidad de la probeta en la máquina de ensayo con una tolerancia de 3.2mm en 300mm. La verificación puede hacerse con una escuadra metálica.

Si la probeta no reúne estas condiciones no será ensayada, a menos que las irregularidades sean corregidas por corte o pulido.

SECCION 6.3.3.4.

MÉTODO PARA DETERMINAR LA DOCILIDAD MEDIANTE EL CONO DE ABRAMS (ASTM C 143 AASHTO T119)

6.3.3.4.1. OBJETO

Este método define el procedimiento para determinar la docilidad del hormigón fresco, tanto en el laboratorio como en obra, mediante el asentamiento que experimenta en el Cono de Abrams.

El procedimiento es aplicable a hormigones preparados con áridos de tamaño máximo absoluto 50mm. Es válido para establecer la docilidad de hormigones frescos con asentamientos comprendidos entre 2 y 18 cm.

6.3.3.4.2. DEFINICIONES

B.1.Docilidad (trabajabilidad)

Expresa la facilidad del hormigón fresco para ser transportado, colocado y compactado, sin que se produzca segregación.

B.2.Asentamiento

Es la medida del descenso que experimenta el hormigón fresco, determinado de acuerdo a este método y que sirve como indicador de la docilidad. De acuerdo al asentamiento medido se clasifica al hormigón de acuerdo a su consistencia

Asentamiento (cm)	Consistencia
0-2	Seca
3-5	Plástica
6-9	Blanda
10-15	Fluida
>16	Líquida

6.3.3.4.3. EQUIPOS Y MATERIALES

B.1.Molde

(Ver Figura 6.3_ 38 y 6.3_ 39 para los detalles):

- Tendrá forma de un tronco de cono recto, abierto por ambos extremos.
- Será metálico, de espesor igual o superior a 1,6 mm; la superficie interna será lisa y libre de rebordes y abolladuras.
- Dimensiones:

Base superior: $100 \pm 1,5$ mm de diámetro.

Base inferior: $200 \pm 1,5$ mm de diámetro.

Altura: $300 \pm 1,5$ mm.

- d) Tendrá dos pisaderas en su parte inferior para que el operador pueda afirmar el cono contra la plancha de apoyo durante el llenado.
- e) Tendrá dos asas en el tercio superior de la altura, cuyo objetivo es levantar el molde después de llenado con el hormigón.

B.2.Varilla pisón

Será una barra cilíndrica lisa de acero, de 16mm de diámetro y 600mm de longitud, con sus extremos semiesféricos, de 16mm de diámetro.

B.3.Plancha de apoyo

Será rígida, no absorbente y por lo menos de 400 x 600mm.

B.4.Pala de llenado

Será metálica, de preferencia de fondo redondo y punta de huevo, de dimensiones adecuadas para vaciar el hormigón en el molde.

6.3.3.4.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

B.1.Muestras de hormigón

El tamaño y extracción de la muestra de hormigón necesaria para efectuar el ensayo se ajustará a lo señalado en la **Sección 6.3.3.1**.

B.2.Acondicionamiento del equipo

Antes de iniciar el ensayo verifique que tanto el molde como sus accesorios se encuentren limpios y húmedos (sólo con agua).

Coloque el molde sobre la plancha de apoyo horizontal.

B.3.Tiempo de operación

Las operaciones de llenado del molde, seguida de su retiro, levantándolo como se describe en 10 desde a) a f), deben efectuarse en un tiempo no superior a 3 min.

B.4.Llenado del molde

El operador debe pararse sobre las pisaderas, afirmando el molde firmemente contra la plancha de apoyo, de manera de evitar cualquier movimiento durante el llenado.

Llene con el hormigón por ensayar mediante tres capas de aproximadamente igual volumen; la primera deberá alcanzar una altura aproximada de 7cm y la segunda una altura aproximada de 16cm, ambas medidas desde la base.

- Apisone cada capa con 25 golpes de la varilla pisón, distribuidos uniformemente en toda la sección.
- Apisone la capa inferior en toda su profundidad, cuidando de no golpear la plancha de apoyo. Dé aproximadamente, la mitad de los golpes alrededor del perímetro con la varilla pisón ligeramente inclinado; luego siga dando golpes con la varilla vertical, acercándose al centro en forma de espiral.
- Apisone las capas media y superior en todo su espesor, de modo tal que la varilla pi-

són penetre apenas en la capa subyacente. Durante el apisonado de la última capa, mantenga permanentemente un exceso de hormigón por sobre el borde superior del molde, sin sobrepasar el número de golpes estipulados.

Terminada la compactación de la capa superior, enrase la superficie con un movimiento de ase-
rrado y rotación de la varilla pisón, apoyándola en el borde superior del molde.

Retire del área adyacente al molde todo el hormigón que se hubiere derramado.

B.5. Levantamiento del molde:

- Inmediatamente después de terminado el llenado del molde, levántelo evitando cualquier perturbación o golpe, tanto al cono como a la base, a fin de no alterar la medida.
- Para levantar, cargue las asas con las manos, dejando libres las pisaderas.
- Levante verticalmente el molde en forma suave, sin originar desplazamientos laterales ni movimientos de torsión; esta operación no debe tardar más de 5 a 10 seg.

B.6. Medición del asentamiento (Ver Figura 6.3_39 Fig. 2).

- Una vez levantado el molde, colóquelo en posición invertida a un costado del hormigón moldeado.
- Inmediatamente mida la disminución de altura que ha experimentado la cara superior del hormigón respecto del borde superior del molde colocado a su costado, con aproximación de 0,5 cm. Con una huincha o regla graduada en mm, mida aproximadamente, en el eje original de moldeo de la mezcla, con la visión del operador en dirección perpendicular a la huincha o regla de medición.

Si el hormigón moldeado se inclina decididamente hacia un lado o sufre desprendimientos parciales de su masa, repita el ensayo utilizando otra porción de hormigón de la misma muestra. En caso que por segunda vez se presenten algunos de los fenómenos descritos, informe que el hormigón no es apto para el ensayo del asentamiento, por carecer de la plasticidad y cohesión necesarias.

Nota 1: Toda porción de una muestra de hormigón utilizada en este ensayo, deberá desecharse una vez concluida la operación.

6.3.3.4.5. CÁLCULOS

Informe el asentamiento del Cono de Abrams como la disminución de altura determinada como se indica en **10 f)**, informando el resultado en cm., con aproximación a 0,5 cm. El asentamiento medido debe encontrarse en correspondencia con el indicado en proyecto.

6.3.3.4.6. INFORME

El Informe deberá incluir al menos los siguientes antecedentes:

- a) Nombre del Contrato y del Contratista que preparó el hormigón.
- b) Identificación de la muestra (tipo o grado del hormigón, procedencia de la muestra).
- c) Lugar y fecha de muestreo.
- d) Entidad responsable del muestreo y ensayo.

- e) Valor del asentamiento registrado.
- f) Cualquier observación relativa al aspecto visual del hormigón.
- g) Constancia si se presentó o no la situación descrita en 10g).
- h) Dejar constancia que se ensayó en conformidad con este método (especificación).

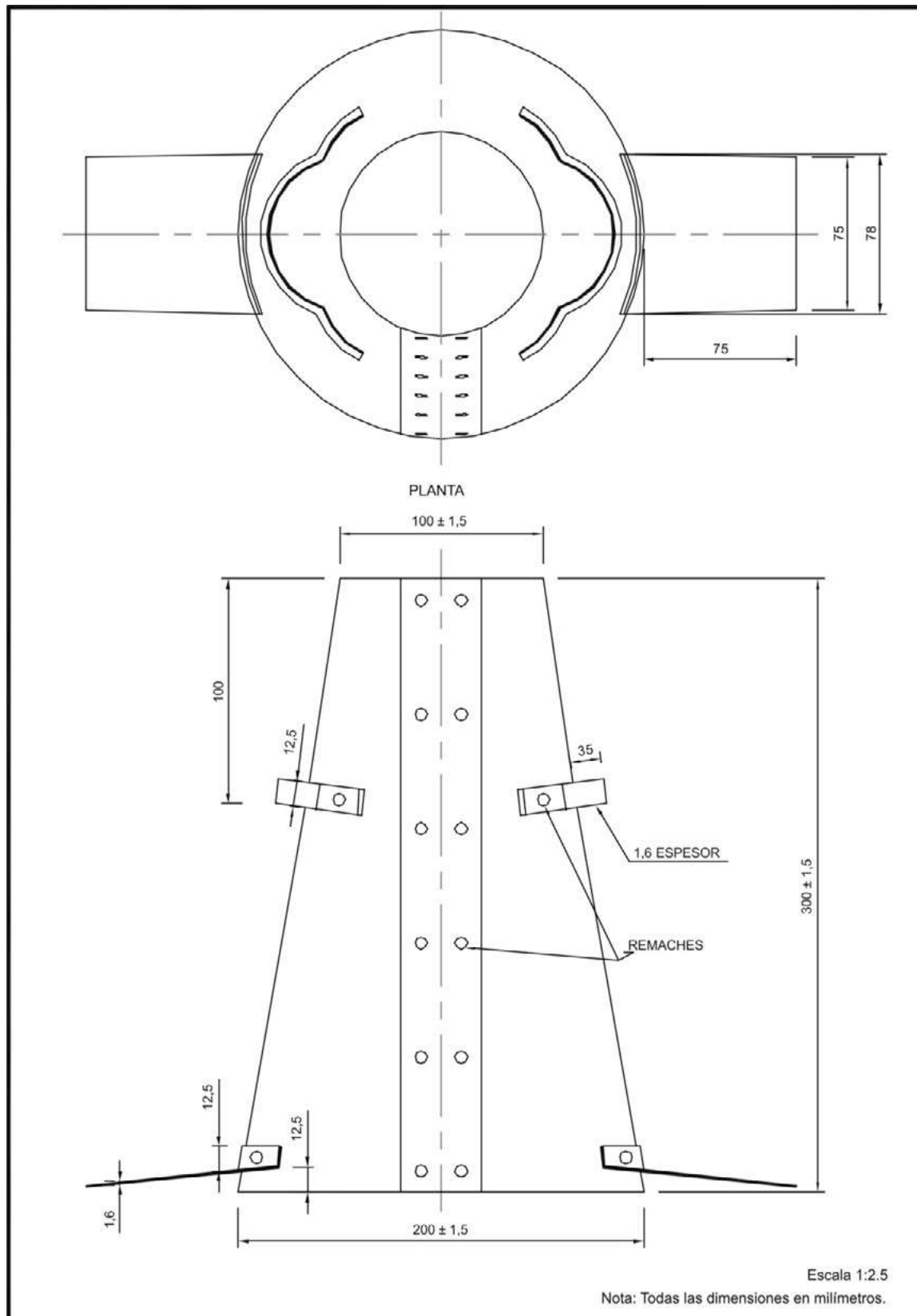


Figura 6.3_38. MOLDE PARA DETERMINAR EL ASENTAMIENTO

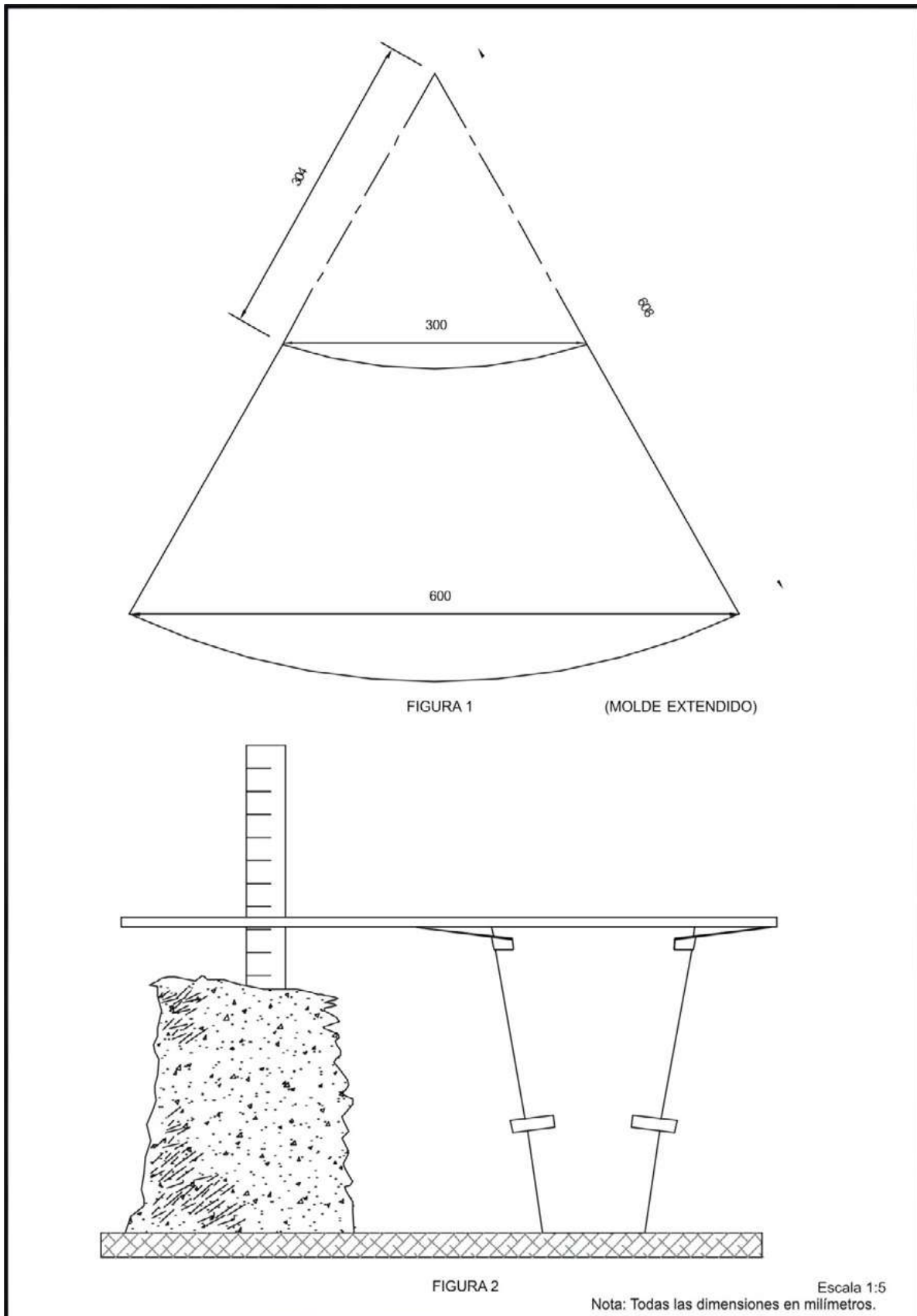


Figura 6.3_39. DESARROLLO DEL MOLDE – MEDIDA DE ASENTAMIENTO

A. MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA FLUIDEZ DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE

Para la determinación de la fluidez en el caso de hormigones autocompactantes podrán emplearse el Método del anillo japonés (UNE 83362), el

Método de la caja en L (UNE 83363) y el Método del Embudo en V (UNE 83364).

La ejecución de un solo ensayo no resulta concluyente, por lo que se realizaran como mínimo dos ensayos.

SECCION 6.3.3.5.

MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD APARENTE, EL RENDIMIENTO Y LOS CONTENIDOS DE CEMENTO Y AIRE EN EL HORMIGÓN FRESCO (ASTM C 138 AASHTO T121)

6.3.3.5.1. OBJETO

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad aparente, el rendimiento, el contenido de cemento y el contenido de aire del hormigón fresco.

6.3.3.5.2. DEFINICIONES

A.1.Densidad

Es el cociente entre la masa de una sustancia y su volumen a una temperatura especificada.

A.2.Densidad aparente del hormigón

Es la densidad que se calcula considerando como volumen el volumen aparente de la mezcla (volumen real de la mezcla más el volumen de aire arrastrado o incorporado a ella). Este volumen corresponde al de la medida que lo contiene.

A.3.Rendimiento de la amasada (V_a)

Volumen aparente de hormigón fresco elaborado en una amasada.

A.4.Rendimiento relativo (R_r)

Cociente entre el volumen aparente de hormigón fresco elaborado y el volumen aparente teórico de hormigón fresco de la dosificación especificada (volumen de diseño).

A.5.Rendimiento por saco de cemento (R_s)

Volumen aparente de hormigón fresco elaborado utilizando un saco de cemento; se expresa en m^3 /saco, indicando la capacidad del saco, 42,5 Kg. o 50 Kg., según corresponda.

A.6.Contenido de aire

Volumen de aire arrastrado o incorporado al hormigón, expresado como porcentaje del volumen aparente de ese hormigón.

6.3.3.5.3. EQUIPOS Y MATERIALES

A.1.Balanza

Utilice una balanza de capacidad igual o mayor que 50Kg. para la medida de 15 l e igual o mayor que 100Kg. para la medida de 30l; la precisión debe ser mínimo de 50g.

A.2.Varilla pisón

Barra cilíndrica lisa de acero de 16mm de diámetro y 600 mm de longitud, con sus extremos terminados en semiesferas de 16mm de diámetro.

A.3. Vibradores

Vibradores internos. Los vibradores internos deben operar a una frecuencia de vibración igual o mayor que 100 s⁻¹ (6.000 pulsaciones/min.); el diámetro externo del elemento vibrador debe estar comprendido entre 20 y 40mm.

Vibradores externos. Los vibradores externos serán de mesa o de placa, con una frecuencia de vibración igual o superior a 50 s⁻¹ (3.000 pulsaciones/min.).

A.4. Medidas volumétricas

Para medir el volumen utilice recipientes metálicos, impermeables, estancos, químicamente inertes con los componentes del hormigón y provistos de dos asas. El interior debe tener la forma de un cilindro recto abierto por una de sus caras planas; debe rectificarse, si corresponde, para asegurar las dimensiones interiores.

- a) La capacidad nominal y dimensiones de los recipientes deben ser las que se indican en **Tabla 6.3_44**, las que están en función del tamaño máximo nominal del árido empleado.

Tabla 6.3_44. DIMENSIONES DE LAS MEDIDAS VOLUMÉTRICAS

Tamaño nominal del árido (mm)	Capacidad nominal (m ³)	Dimensiones interiores		Espesor mínimo	
		Diámetro (mm)	Altura mínima (mm)	Base (mm)	Pared (mm)
50 o menor	0,015	255±5	280	3	2
63 o mayor	0,030	355±5	300	3	2

- b) Se deben reforzar los bordes de la medida con una pletina de 3 a5 mm de espesor y 40 mm de ancho.

A.5. Placa de enrase

Es una placa de metal, vidrio o acrílico cuyo ancho y largo deben superar en 50 mm o más al diámetro de la medida; su espesor debe ser igual o mayor que 6 mm en placas de metal, e igual o mayor que 12 mm en placas de vidrio o acrílico.

A.6. Calibración de la medida

a) Verificación Previa.

Antes de cada ensayo verifique la tara de la medida, aproximando a 50 g.

b) Verificaciones periódicas.

Periódicamente revise la capacidad volumétrica de la medida, con una precisión de 0,1%, determinando la masa de agua que llena la medida y dividiendo esta masa por la densidad del agua a la temperatura en que se encuentra.

A.7. Muestreo

El muestreo debe ajustarse a lo dispuesto en la **Sección 6.3.3.1**.

6.3.3.5.4. PROCEDIMIENTO

a. Compactación

Compacte mediante apisonado o vibrado según el procedimiento que se indica en la **Tabla 6.3_45**, en función del asentamiento del hormigón, excepto que las especificaciones técnicas especiales, establezcan un procedimiento determinado para una obra en particular.

Tabla 6.3_45. PROCEDIMIENTO PARA COMPACTAR EN FUNCIÓN DEL ASENTAMIENTO.

Asentamiento "a" (cm)	Procedimiento de compactación
$a < 5$	Vibrado
$5 \leq a \leq 10$	Vibrado o apisonado
$a > 10$	Apisonado

Nota 1: La compactación debe ser lo más parecida posible a la usada en la obra. Si se usa otro procedimiento o no se cumple con lo especificado en **Tabla 6.3_45**, se debe dejar constancia especial en el informe.

a) Apisonado:

- Coloque el hormigón fresco en la medida mediante tres capas de espesores aproximadamente iguales y de manera que la última capa exceda sobre el borde de la medida.
- Compacte cada capa con la varilla pisón distribuyendo los golpes en toda la sección, a razón de 25 golpes por capa cuando se emplee la medida de 15 l y de 50 golpes por capa cuando se emplee la medida de 30 l.
- Apisone la capa inferior en toda su altura, sin golpear el fondo de la medida.
- Apisone las capas superiores de modo que la varilla pisón penetre en la capa subyacente, aproximadamente, 2 cm.
- Después de apisonar cada capa, golpee 10 o más veces los costados de la medida hasta que no continúen apareciendo burbujas grandes de aire en la superficie de la capa compactada y se cierren los vacíos dejados por la varilla pisón.

b) Vibrado interno:

- Coloque el hormigón fresco en la medida, en dos capas aproximadamente iguales y de manera que en la última capa quede hormigón en exceso por sobre el borde de la medida.
- Compacte cada capa mediante tres inserciones del vibrador.
- Introduzca el vibrador verticalmente en la capa inferior hasta aproximadamente 2 cm del fondo de la medida; en la capa superior introduzca de modo que el vibrador penetre aproximadamente 2cm. en la capa subyacente; realice esta operación sin tocar las paredes ni el fondo del molde con el vibrador.
- Retire el vibrador tan lentamente como sea posible.
- Vibre solamente hasta que una delgada capa de lechada cubra la superficie del hormigón.
- Durante el vibrado de la capa superior, mantenga permanentemente hormigón en exceso por sobre el borde de la medida, rellenando con hormigón fresco cuando sea necesario.

c) **Vibrado externo:**

- Fije firmemente la medida al elemento vibrador, manualmente o con algún dispositivo mecánico, de modo que ambos vibren solidariamente.
- Coloque el hormigón en una sola capa, manteniendo en todo momento hormigón en exceso sobre el borde de la medida.
- Vibre el tiempo necesario para asegurar la compactación, presionando simultáneamente la superficie del hormigón; detenga el vibrado cuando una delgada capa de lechada cubra la superficie.

b. **Enrase y alisado**

Al terminar la compactación deje un exceso de hormigón de aproximadamente 3 mm de espesor por sobre el borde de la medida.

Enrase y alise mediante la placa, cuidando dejar el recipiente lleno justo hasta el borde de la medida.

c. **Pesada**

Inmediatamente después de terminar el alisado, limpie el exterior de la medida y pése-la. Reste la masa de la medida a fin de determinar y registrar la masa del hormigón que llena la medida (m), aproximando a 50 g para la medida de 15 l y a 100g para la medida de 30 l.

6.3.3.5.5. CÁLCULOS

A.1. Densidad aparente

Calcule la densidad aparente del hormigón fresco, con la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg/m:

$$\rho_a = \frac{m}{V}$$

Donde:

- ρ_a : Densidad aparente del hormigón fresco (kg/m³).
- m: Masa del hormigón fresco que llena la medida (kg).
- V: Capacidad volumétrica de la medida (m³).

A.2. Rendimiento de la amasada

Calcule el rendimiento de la amasada del hormigón fresco, como el volumen aparente de hormigón elaborado en cada amasada, de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando a 0,001 m³/amasada:

$$V_a = \frac{m_c + m_a + m_g + m_w}{\rho_a}$$

Donde:

- V_a : Volumen de cemento de hormigón elaborado en cada amasada (m³).

- m_c : Masa de cemento incorporado a la amasada (kg).
- m_a : Masa de arena en la condición de humedad en que fue incorporada a la amasada (kg).
- m_g : Masa de grava en la condición de humedad en que fue incorporada a la amasada (kg).
- m_w : Masa del agua incorporada a la amasada (kg).
- ρ_a : Densidad aparente del hormigón fresco (kg/m³).

4. Rendimiento relativo

Calcule el rendimiento relativo del hormigón fresco con la fórmula siguiente, aproximando al 1%:

$$R_r = \frac{V_a}{V_t} \times 100$$

Donde:

V_a : Volumen aparente de hormigón fresco en cada amasada (m³).

V_t : Volumen aparente teórico de hormigón fresco de la dosificación especificada (m³) (Corresponde a V_r + volumen de aire estimado para cada amasada).

V_r : Volumen real del hormigón fresco elaborado en cada amasada (m³), calculado según 22.

Nota 2: El rendimiento relativo puede obtenerse también a partir de las densidades ($\rho_t : \rho_a$) o de los contenidos de cemento ($c_{\text{efectivo}} : c_{\text{especificado}}$).

A.3. Rendimiento por saco de cemento

Calcule el rendimiento por saco de cemento del hormigón fresco con la fórmula siguiente, aproximando a 0,001 m³/saco (l/saco):

$$R_s = \frac{V_a}{N}$$

Donde:

R_s : Rendimiento por saco de cemento del hormigón fresco (m³/saco) (l/saco).

V_a : Volumen aparente del hormigón fresco elaborado en cada amasada (m³) (l).

N : Numero de sacos de cemento empleados en cada amasada.

Nota 3: Se debe indicar la capacidad del saco: 42,5 kg o 50 kg. Según corresponda.

A.4. Contenido efectivo de cemento

Calcule el contenido efectivo de cemento del hormigón fresco con la fórmula siguiente, aproximando a 1 kg cem/m³ de hormigón elaborado:

$$c = \frac{m_c}{V_a}$$

Donde:

- c: Contenido efectivo de cemento (Kg cem/m³).
- m_c: Masa de cemento incorporada a la amasada (kg).
- V_a: Volumen aparente de hormigón fresco, elaborado en cada amasada (m³).

A.5. Contenido estimado de aire

Calcule el contenido de aire del hormigón fresco con una de las fórmulas siguientes, aproximando al 1%:

$$A = \frac{V_a + V_r}{V_a} \times 100$$

Donde:

- A: Contenido estimado de aire del hormigón fresco (%).
- V_a: Volumen aparente de hormigón fresco elaborado en cada amasada (m³).
- V_r: Volumen real del hormigón fresco elaborado en cada amasada (m³), calculado según la fórmula:

$$V_r = V_{rc} + V_{ra} + V_{rg} + V_w$$

Donde:

- V_{rc}; V_{ra}; V_{ra}; V_w: Volúmenes reales de todos los materiales incorporados a la amasada;

O bien:

$$A = \frac{\rho_r - \rho_a}{\rho_r} \times 100$$

Donde:

- ρ_a: Densidad aparente del hormigón fresco (kg/m³).
- ρ_r: Densidad real del hormigón fresco (kg/m³), calculada la fórmula:

$$\rho_r = \frac{m_c + m_a + m_g + m_w}{V_r}$$

Nota 4: El volumen real de cada material corresponde a su masa dividida por su densidad real. Para los áridos se debe determinar la masa y la densidad real en condición de saturados superficialmente secos, de acuerdo con las **Secciones 6.3.1.9 y 6.3.1.10**.

Nota 5: La densidad real del hormigón fresco se determina en el laboratorio y se estima constante para todas las amasadas elaboradas con los mismos materiales y la misma dosificación.

6.3.3.5.6. INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Nombre del contrato y del contratista.
- b) Dosificación y procedencia de los materiales.
- c) Fecha, hora, lugar y nombre del laboratorista que extrajo la muestra.
- d) Resultados.
- e) Cualquier otra información específica relativa al ensayo o al hormigón.
- f) Referencia a este Método.

SECCION 6.3.3.6.

TIEMPO DE FLUJO DEL HORMIGÓN A TRAVÉS DEL CONO DE ASENTAMIENTO INVERTIDO (ASTM C 1611)

6.3.3.6.1. ALCANCE

Este método de ensayo cubre la determinación del flujo de cono en el hormigón autocompactante.

6.3.3.6.2. PROCESOS DEL ENSAYO

- a. **Halo:** anillo de agua, pasta de cemento o mortero que se observa claramente separado del árido grueso, alrededor de la circunferencia de hormigón después que la mezcla fresca ha escurrido desde el cono de Abrams.
- b. **Ecurrimiento:** distancia del flujo de hormigón durante el ensayo de flujo de cono.
- c. **Estabilidad:** habilidad de un hormigón para resistir la segregación de sus componentes.
- d. **Viscosidad:** resistencia de un material para escurrir bajo un esfuerzo de cizalle.

6.3.3.6.3. SIGNIFICADO Y USO

Este método de ensayo provee un procedimiento para determinar el flujo de cono de hormigón autocompactante en el laboratorio o en terreno.

Este método de ensayo es usado para monitorear la consistencia y el potencial de flujo del hormigón autocompactante en estado fresco.

Es dificultoso producir hormigón autocompactante que sea fluido y sin segregación a la vez usando árido grueso de tamaño máximo mayor a 25,0 mm (1"). Por lo tanto, este método de ensayo se considera aplicable para hormigón autocompactante con árido grueso de tamaño máximo hasta 25,0 mm (1"). El anexo 1 provee un criterio visual que puede ser usado para clasificar la habilidad de la mezcla de hormigón autocompactante para resistir la segregación (estabilidad)

La velocidad a la cual el hormigón escurre está relacionada con su viscosidad. El **Anexo I** provee un procedimiento que puede ser usado para proporcionar una indicación de la viscosidad relativa de mezclas de hormigón autocompactante.

6.3.3.6.4. EQUIPOS Y MATERIALES

- **Molde:** El molde usado en este ensayo debe cumplir con lo especificado en la **Sección 6.3.3.4.**
- **Placa base:** La placa base sobre la cual el molde se apoya debe ser no absorbente, lisa, rígida y tener un diámetro mínimo de 90 cm.

Nota 1: La experiencia de terreno y los resultados de ensayos han mostrado que placas base de placas de madera selladas/revestidas, plástico acrílico, o acero son apropiadas para la realización de este ensayo.

- **Pisón:** Como el descrito en la **Sección 6.3.2.18**.

6.3.3.6.5. MUESTRA

La muestra de hormigón, con la cual se realizará el ensayo, debe ser representativa del total de la amasada: Debe ser obtenida de acuerdo a la **Sección 6.3.2.1**.

6.3.3.6.6. PROCEDIMIENTO

- a. El ensayo de flujo de cono debe ser realizado sobre una superficie plana, nivelada, no absorbente tal como un piso de hormigón prehumedecido o una placa base. La placa base debe ser utilizada en condiciones donde no hay disponibilidad de una superficie plana, nivelada, como ocurre en el sitio de construcción. Cuando la placa base se utilice, posicione y acuñe la placa base de forma que quede completamente soportada, plana y nivelada. Cuando se esté realizando el ensayo de flujo de cono para un proyecto o estudio dado, no cambie el tipo de superficie de la placa base durante la duración del estudio o proyecto.
- b. **Llenado del molde:** El usuario tiene la opción de llenar el molde del cono de Abrams, siguiendo el procedimiento A o el Procedimiento B.
 - **Procedimiento A (Cono normal):** Humedecer y colocar el molde, con su abertura más grande en la parte inferior, en el centro de una placa base o superficie de hormigón, humedecida y pareja. Sujetar firmemente el molde en su lugar durante el llenado, estando el operador parado en ambos pies. Llene el molde completamente en una capa inmediatamente con la muestra de hormigón obtenida según el punto "Muestra". Permitir un ligero sobrelleñado sobre la parte superior del molde.
 - **Procedimiento B (Cono invertido):** Humedecer y colocar el molde, con su abertura más pequeña en la parte inferior, en el centro de una placa base o superficie de hormigón, humedecida y pareja. Sujetar firmemente el molde en su lugar durante el llenado, estando el operador parado en ambos pies. Llene el molde completamente en una capa inmediatamente con la muestra de hormigón obtenida según el punto "Muestra". Permitir un ligero sobrelleñado sobre la parte superior del molde.

Nota 2: Durante el desarrollo de este método de ensayo, se ha encontrado que algunos de los usuarios prefieren realizar el ensayo con la abertura mayor del cono de Abrams en la parte inferior, como se establece en el punto "Muestra". La provisión de un collar en la parte superior del molde es útil para reducir la probabilidad de caída de hormigón sobre el molde y la placa base. Otros usuarios prefieren colocar el molde con la abertura menor abajo, lo cual facilita la operación de llenado. Ambos procedimientos de llenado han sido encontrados aptos para la realización de este ensayo. La información de precisión indicada en sección 20 considera el uso de ambos procedimientos.

- c. Con movimientos de sierra de pisón, empareje la superficie de hormigón en la parte superior del molde. Remueva el hormigón del área circundante de la base del molde para evitar interferencias con el movimiento del flujo del hormigón. Remueva el molde del hormigón levantándolo verticalmente. Levante el molde a una altura de 21,5 a 23 cm en 3 segundos, por medio de un movimiento ascendente y continuo, sin movimientos laterales o de torsión. Complete el ensayo en un tiempo de 2,5 minutos, transcurridos desde el inicio del ensayo hasta la remoción del molde.
- d. Esperar que el hormigón detenga su flujo y luego medir el mayor diámetro del depósito circular aproximando a 0,5 cm. Cuando se observe un halo en el contorno circular del hormigón, éste debe incluirse como parte del diámetro del hormigón. Medir un segundo diámetro del depósito circular en un ángulo aproximadamente perpendicular al primer diámetro medido.
- e. Si la medida de los dos diámetros difiere por más de 5 cm, el ensayo no es válido y debe ser repetido.

6.3.3.6.7. CÁLCULO

Calcular el flujo de cono usando la ecuación 1:

$$\text{Flujo de cono} = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

Donde:

- d_1 : El mayor diámetro del depósito circular del hormigón.
- d_2 : El diámetro del hormigón en un ángulo aproximadamente perpendicular a d_1 .

Registrar el promedio de los dos diámetros, aproximando a 1 cm.

6.3.3.6.8. PRECISIÓN

La precisión de este método fue determinada basada en resultados obtenidos de un programa de ensayos (robin round test) conducido por miembros del subcomité ASTM C09.47. El programa de ensayos consideró operadores individuales y múltiples, realizando 3 réplicas del ensayo usando el molde en ambas posiciones, normal e invertido. El ensayo fue realizado usando hormigón autocompactante, con alto y bajo nivel de fluidez y con mezclas estables e inestables.

Detalles completos del programa de ensayos están disponibles en ASTM en un informe titulado "Report on Development of a Precision Statement for the Slump Flow Test Method for Self Consolidating Concrete"

Precisión de Operador individual. La precisión de un operador individual refleja el uso de ambos procedimientos A y B. La desviación estándar de un operador individual para el flujo de cono ha sido determinada en 2,7 cm para mezclas con valores de flujo de cono aproximadamente entre 48 y 68 cm. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos apropiadamente realizados por el mismo operador con la misma amasada de hormigón no deben diferir por más de 7,5 cm.

Precisión Multi-Operador. La precisión multi-operador refleja el uso de ambos procedimientos A y B.

La desviación estándar del multi-operador para el flujo de cono ha sido determinada en 2,7 cm para mezclas con valores de flujo de cono aproximadamente entre 53 y 74 cm. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos apropiadamente realizados por dos operadores con la misma amasada de hormigón no deben diferir por más de 7,5 cm.

6.3.3.6.9. INFORMES

Informar el uso del procedimiento A o B.

Informar el flujo de cono con aproximación a 1 cm.

A1. Medida relativa del flujo de cono, viscosidad y estabilidad

A1.1 La velocidad de flujo de un hormigón autocompactante es influenciada por su viscosidad. Por lo cual una medida relativa de viscosidad es útil para el propósito de diseñar una mezcla de hormigón autocompactante en laboratorio. En la ejecución del ensayo de flujo de cono, se mide el tiempo del escurrimiento del hormigón transcurrido entre el inicio del levantamiento del molde y cuando el borde exterior del flujo alcanza 50 cm de diámetro, entregando una medida relativa de la velocidad del flujo de la mezcla de hormigón no confinada. Para materiales similares, este periodo de tiempo, denominado T50, otorga una indicación de viscosidad relativa de la mezcla de hormigón autocompactante.

Nota A1.- El valor T50 indica propiedades del flujo del hormigón autocompactante, en el cual los valores más altos normalmente corresponden a viscosidad incrementada. Aditivos reductores de agua de alto rango especiales son típicamente usados para modificar las propiedades de flujo de mezclas de hormigón autocompactante. Además, aditivos modificadores de viscosidad y otros cambios en las proporciones de la mezcla y materiales también influyen en las propiedades del flujo y resistencia a la segregación.

A1.2 La estabilidad del hormigón autocompactante, puede ser observada visualmente examinando la masa y por lo tanto puede ser usada para control de calidad de las mezclas de hormigón autocompactante. La **Tabla 6.3_46** contiene valores del Índice de Estabilidad Visual (IEV) con criterios correspondientes para evaluar cuantitativamente la estabilidad del hormigón autocompactante. Sin embargo, esos valores no cuantifican las propiedades de un hormigón.

A1.3 Aparatos:

A.1.3.1 Placa base marcada. Una placa base como la descrita en 10, la cual tiene una marca circular centralmente localizada para colocar el molde, y un círculo concéntrico a 50 cm.

Tabla 6.3_46. VALORES DE ÍNDICE DE ESTABILIDAD VISUAL

Valor IEV	Criterio
0 = Altamente estable	No hay evidencia de segregación o exudación.
1 = Estable	No hay evidencia de segregación y se observa pequeña exudación como brillo sobre la masa de hormigón.
2 = Inestable	Un pequeño halo de mortero (< 10 mm) y/o una pila de árido en el exterior de la masa de hormigón.

3 = Altamente inestable	Clara segregación por evidencia de un gran halo de mortero (> 10 mm) y/o una gran pila en el centro de la masa de hormigón.
-------------------------	---

Nota A1.2: La marca circular centrada localmente ubicada a 50 cm sobre la placa base, ayudará al usuario en la determinación del valor T50.

A1.3.2 Cronómetro – Con precisión de 0.01 seg.

A1.4 Procedimiento

A1.4.1 Para determinar T50 use un cronómetro para medir el tiempo en segundos entre el inicio del levantamiento del molde y cuando cualquier parte del borde externo del flujo de hormigón alcanza la marca inscrita en la placa base.

A1.4.2 Después que el escurrimiento del hormigón ha cesado, inspeccionar visualmente la mezcla de hormigón observando la distribución del árido grueso dentro de la masa de hormigón, la distribución de la fracción de mortero particularmente a lo largo del perímetro, y las características de exudación. Asigne un valor de Índice de Estabilidad Visual (IEV) al flujo de hormigón usando el criterio mostrado en la **Tabla 6.3_46** e ilustrado en las **Figuras 6.3_40 a 6.3_43**.

A1.5 Registro:

A1.5.1 Registrar T50 aproximando a 0.2 segundos.

A1.5.2 Registrar el valor IEV.



Figura 6.3_40. LA MASA DE HORMIGÓN ES HOMOGÉNEA Y NO HAY EVIDENCIA DE SEGREGACIÓN

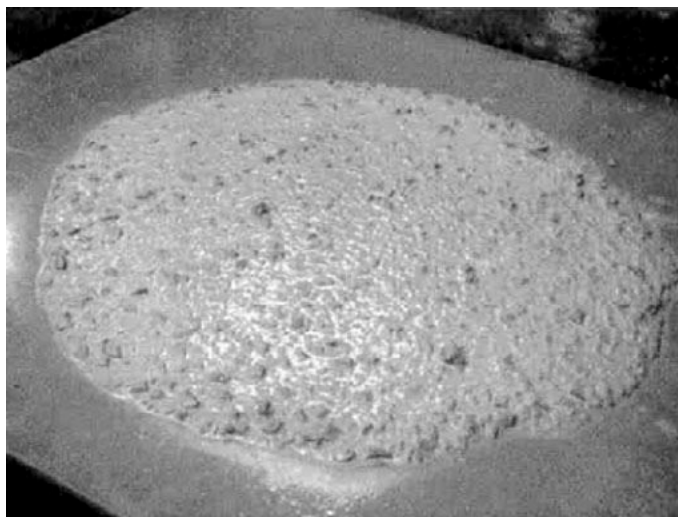


Figura 6.3_41. EL HORMIGÓN MUESTRA ALGO DE EXUDACIÓN COMO BRILLO EN LA SUPERFICIE



Figura 6.3_42. EVIDENCIA DE UN HALO DE MORTERO Y BRILLO DE AGUA

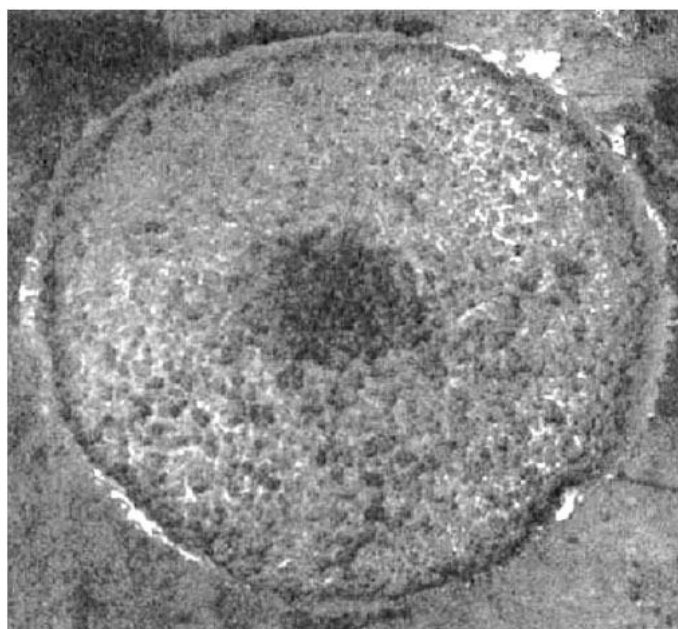


Figura 6.3_43. CONCENTRACIÓN DE ÁRIDO GRUESO AL CENTRO DE LA MASA DE HORMIGÓN Y PRESENCIA DE UN HALO DE MORTERO

SECCION 6.3.3.7.

MÉTODO DE ENSAYO A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CÚBICAS Y CILÍNDRICAS (ASTM C 39 AASHTO T22)

6.3.3.7.1. OBJETO

Este método establece el procedimiento para efectuar el ensayo a la rotura por compresión de probetas cúbicas y cilíndricas de hormigón.

Se aplica al ensayo de probetas preparadas según las **Secciones 6.3.3.1 o 6.3.3.2**, según corresponda.

6.3.3.7.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A.1. Prensa de Ensayo

- a) Tendrá la rigidez suficiente para resistir los esfuerzos del ensayo sin alterar las condiciones de distribución y ubicación de la carga y lectura de resultados.
- b) Tendrá un sistema de rótula que permita hacer coincidir la resultante de la carga aplicada con el eje de la probeta.
- c) Las superficies de aplicación de la carga serán lisas y planas, y no se aceptarán desviaciones con respecto al plano superiores a 0,015 mm en 100 mm medidos en cualquier dirección.
- d) La dimensión de la arista o del diámetro de las placas de carga será igual o superior a la arista o diámetro de la probeta.

Nota1: En caso de usar placas suplementarias para aumentar la dimensión de las placas de carga de la prensa, éstas tendrán superficies rectificadas conformes a 3 c), espesor igual o superior a 50 mm y dureza igual o superior a la de las placas de la prensa.

- e) La sensibilidad de la prensa será tal que la menor división de la escala de lectura sea inferior o igual al 1% de la carga máxima.
- f) La exactitud de la prensa tendrá una tolerancia de $\pm 1\%$ de la carga dentro del rango utilizable de la(s) escala(s) de lectura.
- g) En general el rango utilizable se considera comprendido entre el 10% y el 90% de la lectura máxima en la respectiva escala de lectura.
- h) Se deben contrastar las prensas de ensayo, las de uso habitual por lo menos una vez al año y las de faena al inicio de la obra.
- i) La prensa contará con dispositivos de regulación de la carga según lo especificado en 9 e).

A.2. Regla Graduada

Estará graduada en mm, y tendrá una longitud igual o superior a 400 mm.

A.3. Balanza

Tendrá una capacidad igual o superior a 25 kg y una precisión mínima de 1 g.

6.3.3.7.3. PROCEDIMIENTO

A.1. Acondicionamiento de las Probetas

Acondicione las probetas para el ensayo según la **Sección 6.3.3.3**, si corresponde.

A.2. Medición de Probetas Cúbicas

- a) Coloque el cubo con la cara de llenado en un plano vertical frente al operador.
- b) Mida los anchos de las cuatro caras laterales del cubo (a_1 , a_2 , b_1 , b_2), aproximadamente en el eje horizontal de cada cara (**ver Figura 6.3_44 Fig. 1a**).
- c) Mida las alturas de las cuatro caras laterales (h_1 , h_2 , h_3 y h_4) aproximadamente en el eje vertical de cada cara (**ver Figura 6.3_44 Fig. 1c**).
- d) Expresé estas medidas en mm con aproximación a 1 mm.
- e) Determine la masa de la probeta con una aproximación igual o inferior a 50 g.
- f) En el caso de probetas por refrentar, mida y pese antes del refrentado.

A.3. Medición de Probetas Cilíndricas

- a) Mida dos diámetros perpendiculares entre sí (d_1 y d_2), aproximadamente en la mitad de la altura de la probeta (**ver Figura 6.3_44 Fig. 1b**).
- b) Mida la altura de la probeta en dos generatrices opuestas (h_1 y h_2) antes de refrentar (**ver Figura 6.3_44 Fig. 1d**).
- c) Expresé estas medidas en mm. con aproximación a 1 mm.
- d) Determine la masa de la probeta antes de refrentar, con una aproximación igual o inferior a 50 g.

A.4. Ensayo

- a) Limpie la superficie de las placas y de las caras de ensayo de la probeta.
- b) Coloque la probeta sobre la placa inferior alineando su eje central con el centro de esta placa.
- c) Posición de las probetas.
- d) Coloque las probetas cúbicas con la cara de llenado en un plano perpendicular a la placa inferior de la prensa.
- e) Coloque las probetas cilíndricas asentadas en una de sus caras planas refrentadas.
- f) Asiente la placa superior sobre la probeta, guiándola suavemente con la mano para obtener un apoyo de la placa lo más uniforme posible.
- g) Aplique la carga en forma continua y sin choques, a una velocidad uniforme, que permita cumplir las siguientes condiciones:

- Alcanzar una franca rotura de la probeta en un tiempo igual o superior a 100 seg.

Nota 2: Puede considerarse que hay franca rotura cuando el indicador de carga retrocede bajo el 90% de la carga máxima y hay claras manifestaciones de agrietamiento de la probeta.

- No superar la velocidad de 0,35 N/mm²/seg.

- h) Cuando se conoce aproximadamente la carga de rotura, será permisible aplicar la primera mitad de la carga a una velocidad mayor que la especificada en 9 e).
- i) Una vez fijada la velocidad, especialmente en la segunda mitad de la carga, no haga modificaciones de ella hasta el término del ensayo.
- j) Registre la carga máxima P, expresada en N.

6.3.3.7.4. CÁLCULOS

A.1. Resistencia a Compresión

a) Calcule la sección de ensayo según las fórmulas siguientes:

- Probetas cúbicas (*ver Figura 6.3_ 44, Figura 1a*)

$$S = \frac{(a_1 + a_2)}{2} \times \frac{(b_1 + b_2)}{2}$$

- Probetas cilíndricas (*ver Figura 6.3_ 44, Figura 1b*)

$$S = 0,196 \times (d_1 + d_2)^2$$

Nota 3: La fórmula es una simplificación de:

$$S = \frac{\pi}{4} \times \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right)^2$$

b) Calcule la resistencia a la compresión, como la tensión de rotura, según la fórmula siguiente:

$$f = \frac{P}{S}$$

Donde:

f: Tensión de rotura (MPa).

P: Carga máxima aplicada por la máquina de ensayo (N).

S: Sección de ensayo, medida a partir de la dimensión básica real (mm)².

c) Exprese los resultados en MPa con una aproximación igual a 0,1 MPa.

Nota 4: Si la prensa de ensayo entrega resultados en kgf, se debe considerar la siguiente equivalencia: 1 MPa=10,1972 kgf/ cm².

A.2. Densidad Aparente

- a) Calcule el volumen V de la probeta según la fórmula siguiente:

$$V = S \times h$$

Donde:

S: Sección de ensayo (mm^2).

h: Altura promedio (mm).

- b) Calcule la densidad aparente de la probeta como el cociente entre masa y volumen.
c) Exprese el resultado en Kg/m^3 , con una aproximación igual o inferior a $10 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Nota 5: Para obtener valores más exactos y comparables, se recomienda:

- d) Determinar la masa de la probeta por pesada al aire en el momento de desmoldar, o de recepción en laboratorio. Registrar A.
e) Pesar la probeta sumergida después de 2 min de inmersión. Registrar B.
f) Pesar la probeta al aire inmediatamente de retirarla de la inmersión. Registrar C.
g) Calcular la densidad aparente según la fórmula siguiente:

$$\rho_a = \frac{A}{C - B} \times 1.000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Donde:

A: Masa de la probeta en el momento de desmoldar (g).

B: Masa de la probeta sumergida (g).

C: Masa de la probeta después de la inmersión (g).

6.3.3.7.5. INFORME

El informe incluirá lo siguiente:

A.1. Antecedentes generales

El registro de los antecedentes de las probetas de acuerdo con las **Secciones 6.3.3.1 o 6.3.3.2**, según corresponda.

A.2. Antecedentes de Cada Probeta

- Nombre del Contrato y Contratista.
- Fecha y edad en el momento del ensayo.
- Densidad aparente (kg/m^3).
- Tipo de probeta y dimensión básica.
- Defectos exteriores en la probeta o su refrentado.
- Tipo de curado.

- g) Carga de rotura de la probeta (N).
- h) Resistencia a compresión, (MPa).
- i) Observaciones relativas al hormigón después de la rotura (oquedades, porosidad, adherencias insuficientes, segregación, etc.).
- j) Cualquier otra información específica del ensayo, útil para su mejor interpretación.

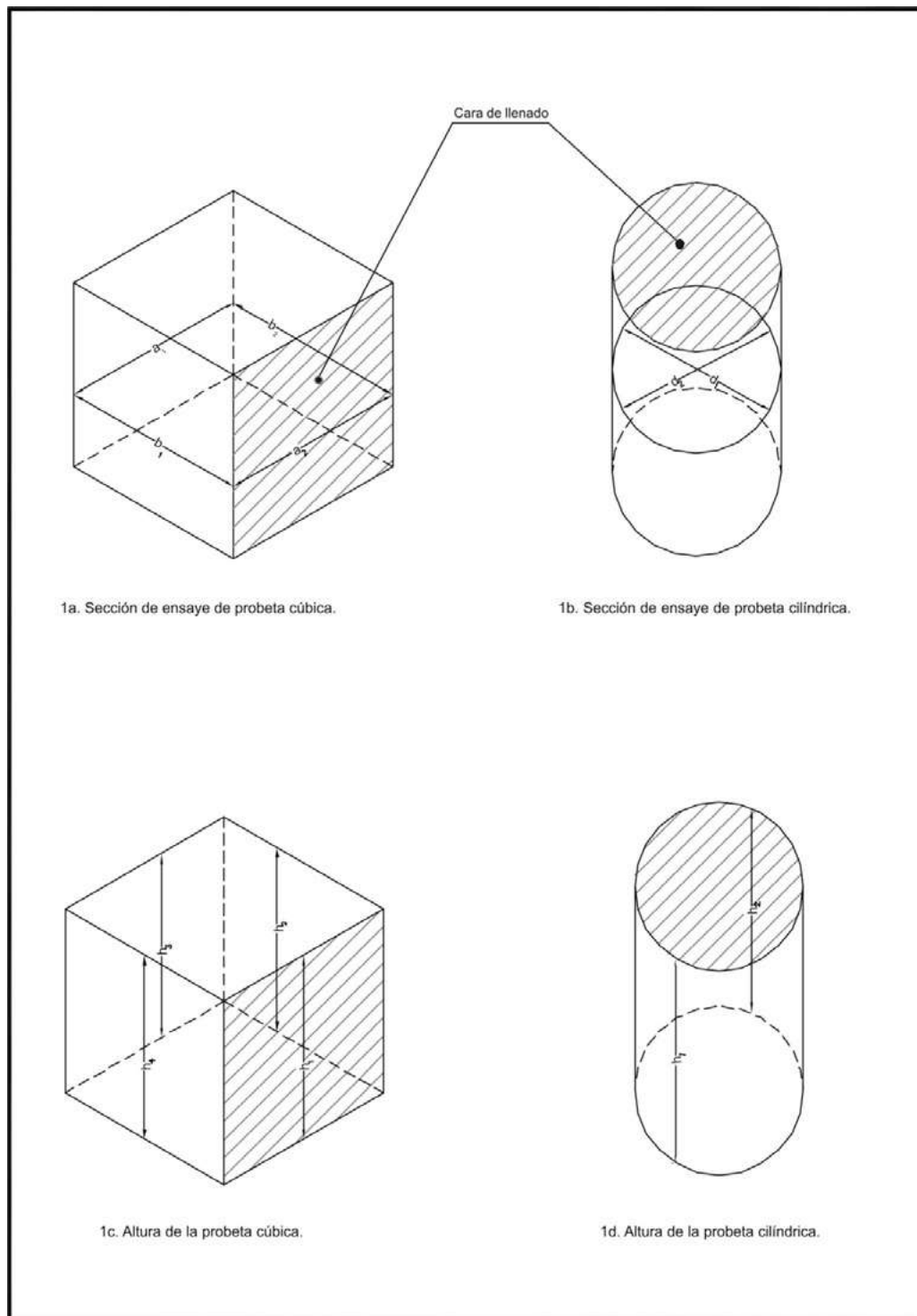


Figura 6.3_44. DETERMINACIÓN DE LAS DIMENSIONES DE PROBETAS

SECCION 6.3.3.8.

ENSAYO ACELERADO PARA LA PREDICCIÓN DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN (ASTM C 1073)

6.3.3.8.1. OBJETO

Este método establece los procedimientos para la fabricación, curado y ensayo de especímenes de hormigón almacenados en condiciones normalizadas, para establecer las relaciones entre la edad del hormigón y su resistencia a la compresión.

Este método determina el procedimiento que debe seguirse para utilizar los resultados de una determinación de la resistencia del hormigón a temprana edad como predicción de la resistencia a edades futuras.

Este método utiliza un sistema convencional de curado, con ensayos a una edad no inferior a 24 horas. Se requiere un almacenamiento durante el curado, con el uso de un termómetro que controle continuamente la temperatura del ambiente que rodea el espécimen.

Este método suministra, para una combinación dada de materiales, en el tiempo más temprano posible, una indicación de la resistencia potencial del hormigón. También suministra información sobre la variabilidad de los procesos de producción sirviendo así como un elemento de control de calidad.

La correlación entre la resistencia temprana de los especímenes y la resistencia a cualquier edad futura lograda por los métodos convencionales de curado depende de los materiales que se utilicen en la mezcla y del procedimiento específico empleado. Cualquier valor de resistencia obtenido por comparación de especímenes, sin importar como se obtuvo, tiene una dudosa relación con la resistencia real del hormigón colocada en la estructura, y tiene valor solamente como indicador de una probabilidad de que la capacidad aportante haya sido o pueda ser obtenida en la estructura mediante el empleo de una formulación particular. Por lo tanto, no existe razón fundamental para que la resistencia a temprana edad obtenida por este método no pueda usarse en el diseño y evaluación de las resistencias de hormigón en la misma forma que la resistencia del hormigón a los 28 días se ha usado en el pasado, con los cambios apropiados en los valores esperados utilizados para describir los valores de resistencia. Sin embargo, debido a que está ampliamente establecido el método de resistencia a los 28 días, muchas personas desearían obtener los resultados de resistencias a edades futuras. Estas proyecciones deben limitarse sólo a hormigones que usen los mismos materiales que fueron utilizados para establecer la correlación.

6.3.3.8.2. DEFINICIONES

A.1. Madurez

Se utiliza para describir las combinaciones de condiciones en y alrededor de un cilindro de hormigón que afectan las resistencias del hormigón. La madurez se expresa en grados - horas.

A.2. Grados - Horas

Es la edad de un cilindro de hormigón en horas, multiplicado por la temperatura promedio

ambiente del espécimen. Los grados - horas se obtienen dividiendo la edad en intervalos de tiempo apropiados y determinando la temperatura promedio ambiente durante este intervalo.

A.3.Línea de Proyección

Es la línea que representa la relación entre el logaritmo de la madurez de los especímenes de resistencia a la compresión y la resistencia de estos especímenes.

A.4.Ecuación de Proyección

La ecuación representa la línea de predicción que se usa para determinar la resistencia potencial de un hormigón de Cemento Portland, a partir de un ensayo de compresión sobre un espécimen a temprana edad.

A.5. La fórmula general de proyección es:

$$SM = S_m + b(\log M - \log m)$$

Dónde:

SM: Resistencia potencial predicha para una madurez M,

S_m: Resistencia a la compresión medida a una madurez m,

b: Pendiente de la línea de proyección,

M: Grados - horas de madurez bajo condiciones normalizadas,

m: Grados - horas de madurez del espécimen en el momento del ensayo temprano.

A.6.Desarrollo de la ecuación

El desarrollo de la ecuación de proyección depende del desarrollo de la línea de proyección.

6.3.3.8.3. EQUIPO Y MATERIALES

Equipo y herramientas, para fabricar especímenes y medir las características plásticas del hormigón.

- Moldes, tendrán las dimensiones y características que se señalan en la **Sección 6.3.2.13**.
- Termómetro para registrar la temperatura del ambiente que rodea el espécimen durante el curado, con una precisión de $\pm 1^\circ\text{C}$ (1.8°F).
- Calentadores de inmersión. Puede utilizarse una resistencia eléctrica de 4.5 kilovatios.
- Tanque para tratamiento térmico. Puede utilizarse una caneca de 55 galones, cortada por la mitad perpendicularmente al eje de la caneca, o un tanque de asbesto cemento.
- Para evitar en parte las pérdidas de calor por radiación, basta forrar la caneca en lámina de lana de vidrio de 2,5 cm. de espesor. Es conveniente colocarle una tapa a la caneca.

6.3.3.8.4. PROCEDIMIENTOS

1. Método ASTM C-918

- a) Moldéense y cúrense los especímenes. Continúese el proceso de curado durante al menos 24 horas.
- b) Manténgase un registro exacto de la temperatura del ambiente que rodea el espécimen durante el curado.
- c) Refrentado y Ensayo. Remuévase el espécimen del molde tan pronto como sea posible, (la madurez m , del espécimen a temprana edad, es la edad en horas en el momento del ensayo multiplicada por la temperatura ambiente ($h \times ^\circ F = m$)).
- d) Cuando se ensaye, el material de refrentado debe desarrollar a la edad de 30 minutos una resistencia igual o mayor que la resistencia de los cilindros que van a ser ensayados.
- e) No deberá ensayarse el espécimen antes de que transcurran 30 minutos desde el refrentado del mismo.
- f) Ensáyese el cilindro para determinar la resistencia a la edad de 24 horas o más. Régistrese la edad exacta, en horas, en el momento del ensayo.

2. Método ASTM C-684

- a) En este método se toman las muestras de hormigón en cilindros normales, cuya única diferencia consiste en que deben estar provistos de una tapa metálica que puede sostenerse en su puesto por medio de tuercas o mariposas. Se dejan las muestras en reposo durante 23 horas.
- b) Al cabo de dicho lapso, las muestras se colocan, con todo y moldes, en un tanque con agua en ebullición. Naturalmente, al colocar los cilindros dentro del agua, la temperatura disminuye, pero debe mantenerse en las cercanías de la ebullición, sin que se produzca este fenómeno, para evitar que el agua de la mezcla eventualmente entre también en ebullición. Se mantiene la muestra en esta condición durante 3 horas y media, al final de las cuales se sacan, y se dejan enfriar durante media hora.
- c) Después del período de enfriamiento se quitan los moldes, se les hace el refrentado con azufre y transcurrida una hora (hora y media después de salir del tanque) se ensayan a compresión.

Con base en los resultados obtenidos a las 28 horas después de tomada la muestra se calculan las resistencias probables a 28 días.

6.3.3.8.5. CÁLCULOS

A.1. Método ASTM C-918

Obténganse datos de resistencia a la compresión para diferentes edades de ensayo y los valores de madurez correspondientes en el laboratorio, para determinar la línea de proyección para cada diseño de mezcla que se utilice. Los datos incluirán ensayos a las 24 horas, 3, 7, 14 y 28 días. Prepárese una gráfica en papel semilogarítmico, de 2 ciclos por 70 divisiones. Numérese la división de 1" en incrementos de 1000 lb/pulg² (eje "Y"). La escala logarítmica representará

la madurez, en grados - horas, en el momento del ensayo (eje "X"). Si los valores de madurez se desarrollan usando grados Celsius, úsese un papel semilogarítmico de 3 ciclos por 70 divisiones.

Graffíquese cada uno de los valores de resistencia, obtenidos de acuerdo al procedimiento indicado en el numeral 1, contra la madurez correspondiente.

Dibújese la línea recta que mejor represente todos los puntos graficados comprobando que la línea pase por el punto que representa la madurez a los 28 días contra la resistencia.

Si este proceso se utiliza para determinar la resistencia a una edad diferente a 28 días, la línea recta debe pasar por el punto que representa la madurez versus la resistencia para la edad proyectada deseada. Si los datos graficados no se acomodan a una línea recta, dibújese entonces una línea que conecte el punto que señala resistencia contra madurez a los 28 días o a una edad superior con la línea que una los puntos que representan resistencia versus madurez a las 24 horas y a los tres días, en el sitio donde se logre el mejor ajuste.

Nota 1: Si se desea comprobar la exactitud del primer estimativo hecho de la pendiente de la línea de proyección, se deben fabricar especímenes compañeros los cuales se curarán y ensayarán a los 28 días. El valor de la pendiente, b , puede reestimarse utilizando la ecuación:

$$b = \frac{\sum(S - S_m)}{\sum(\log M - \log m)}$$

Donde:

S : Resistencia a la compresión medida a la madurez M .

S_m : Resistencia a la compresión medida a la madurez m .

La pendiente b , es la distancia vertical a escala entre el intercepto sobre la línea de 10,000°F y el intercepto sobre la línea de 100,000°F•h.

Úsese la constante b así determinada para proyectar la resistencia a la compresión del hormigón de Cemento Portland.

6.3.3.8.6. PRECISIÓN

El uso de los resultados de este método, en la proyección de resistencias a edades mayores, debe hacerse con precaución, ya que los requerimientos de resistencia de las especificaciones y códigos existentes no se basan en proyecciones de resistencias de ensayos a temprana edad. Debido a que la variabilidad de este método es la misma o menor que la del método tradicional, se puede utilizar los resultados como un método rápido para determinar la variabilidad en los procesos de control y señalar los ajustes necesarios. Por otra parte, la magnitud de los valores de resistencia está influenciada por la combinación específica de materiales, de tal forma que el uso de los resultados o correlaciones debe hacerse sólo para unas condiciones específicas de materiales, y mezcla. Los factores que influyen las relaciones entre las resistencias medias y aquellas del hormigón en su sitio, no difieren de las que afectan los ensayos convencionales de resistencia. Los resultados de dos ensayos de resistencia a la tensión apropiadamente ejecutados por el mismo laboratorio, en dos cilindros individuales hechos con los mismos materiales, no deben diferir en más del 10% de su promedio.

Los resultados de dos ensayos apropiadamente realizados consistentes del promedio de dos cilindros de la misma serie hecha en el mismo laboratorio y con los mismos materiales, no deben diferir en más del 25% de su promedio.

6.3.3.8.7. INFORME

El informe del ensayo debe incluir los siguientes aspectos:

- a) Número de identificación de la muestra.
- b) Diámetro y longitud en mm ó pulg.
- c) Área de la sección transversal en cm^2 o pulg^2 .
- d) Máxima carga en N o lbf.
- e) Resistencia a la compresión calculada con una precisión de 69 kPa (10 lb/pulg²).
- f) Tipo de fractura.
- g) Edad del espécimen.
- h) Temperatura inicial de mezcla con precisión de 1°C (o 1°F).
- i) Registros de temperatura.
- j) Método de transporte utilizado para el envío del espécimen al laboratorio.
- k) Madurez del espécimen en el momento del ensayo temprano, con precisión de 1°F•h o 1°C•h.
- l) El número de días al cual se proyectará la edad.
- m) La resistencia proyectada con una precisión de 69 kPa (10 lb/pulg²).

SECCION 6.3.3.9.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN USANDO UNA PORCIÓN DE VIGA ROTA EN EL ENSAYO DE FLEXIÓN (ASTM C 116 AASHTO T40)

6.3.3.9.1. OBJETO

Este método describe el procedimiento utilizado en la determinación de la resistencia a la compresión del hormigón, usando porciones de vigas rotas en el ensayo de flexión.

6.3.3.9.2. DEFINICIONES

Este método se usará en el laboratorio como una herramienta de investigación para determinar los valores de resistencia a la compresión de diferentes mezclas de hormigón.

6.3.3.9.3. EQUIPOS Y MATERIALES

1. La máquina de ensayo puede ser de cualquier tipo, siempre y cuando tenga la suficiente capacidad para suministrar la tasa de carga que se señala en el numeral 7. La máquina de ensayo debe estar equipada con dos bloques de carga de acero con superficies endurecidas, uno de los cuales se apoyará sobre una rótula que estará en contacto con el plato superior de carga descrito en el numeral 2; y el otro, un bloque rígido y plano que soportará el plato de carga inferior. El diámetro del bloque con apoyo esférico tendrá al menos el 75% del ancho de la muestra, "B". La superficie de apoyo no se debe desviar del plano en más de 0.025 mm (0.001") por cada 152 mm (6") para un bloque de 152 mm (6") de diámetro, o mayores, ni más de 0.025 mm en el diámetro de cualquier bloque más pequeño.

Se recomienda que la cara de carga de los bloques utilizados para el ensayo de compresión del hormigón tenga una dureza Rockwell no menor a C 60.

2. Sobre las superficies de carga de la muestra se montarán platos de carga maquinados o pulidos con un espesor mayor o igual a 19 mm (3/4"), que cumplan con los requerimientos de aplanamiento de las superficies de carga de las muestras que se señalan en el numeral 3.a), y los requerimientos de dureza para los bloques de carga especificados en el numeral 1. Los platos de carga deben ser de tales dimensiones que las caras de contacto sean primordialmente cuadradas, y tengan las mismas dimensiones que el ancho nominal de la viga ensayada. El plato de carga superior debe colocarse directamente sobre el plato inferior.

6.3.3.9.4. CONDICIONES GENERALES

3. La longitud de la porción rota de las vigas seleccionadas para el ensayo a la compresión deben ser al menos 50 mm (2") más larga que el ancho. Las muestras seleccionadas para el ensayo deben estar libres de grietas, superficies imperfectas, u otros defectos obvios.

A.1.Preparación de las muestras

- a) La superficie de carga de las muestras, no tendrá desviaciones del plano en más de 0.05 mm (0.002"); las que no estén planas deben pulirse o recubrirse para

satisfacer la tolerancia anterior. Los procedimientos de recubrimiento deben cumplir con los requisitos señalados en la **Sección 6.3.3.3**. El recubrimiento debe cubrir el ancho completo de la viga y debe tener tal longitud, que permita que el plato de carga superior pueda colocarse directamente sobre el plato de carga inferior.

- b) Durante el período que transcurre entre el ensayo de las muestras a la flexión, o después del recubrimiento, y el rompimiento de las porciones a compresión, la muestra debe mantenerse en las mismas condiciones indicadas en la **Sección 6.3.3.2**.

6.3.3.9.5. PROCEDIMIENTO

4. La orientación de las muestras debe ser tal que el ancho “B”, debe ser igual o menor que la altura “D”. Si la viga tiene una sección transversal cuadrada, las superficies de carga pueden ser los lados de la viga, como originalmente se fundió.
5. Céntrense los platos de carga en la máquina de ensayo de tal forma, que el punto de apoyo del bloque con rótula esté alineado con el centro de los platos de carga. Aplíquese la carga a los platos por medio de una cabeza ajustable.

6. Velocidad de carga

Aplíquese la carga en forma continua, sin impactos o interrupciones. La cabeza móvil de la máquina de ensayo tipo tornillo, deberá desplazarse a una velocidad aproximada de 1.3 mm/min (0.05”/min), cuando la máquina de ensayo esté moviéndose sin transmitir esfuerzo. En las máquinas hidráulicas, ajústese la carga, a una relación constante entre los límites 241 + 104 kPa/s (35 + 15 psi/s).

7. Ensáyense los especímenes hasta que se produzca la falla. Regístrese la carga total señalada por la máquina en el momento de la falla de la muestra ensayada.

6.3.3.9.6. CALCULOS

8. Calcúlese la resistencia a la compresión unitaria, con una precisión de 69 kPa (10 psi). Determínese el área de la sección transversal de la muestra, como el promedio de al menos dos medidas de la dimensión “B”, tanto del plato de carga superior como de la inferior, determinadas con una precisión de 0.25 mm (0.01”).

$$\text{Resistencia a la compresión} = \frac{\text{Carga máxima}}{\text{Área de la sección transversal de la muestra}}$$

6.3.3.9.7. INFORME

El informe de los resultados debe incluir lo siguiente:

- a) El método utilizado en la determinación de la resistencia a la compresión, y su valor.
- b) El número de identificación de la muestra.
- c) Las dimensiones “B” y “D” en mm (ó pulg).
- d) Área de la sección transversal en cm² (ó pulg²).

- e) Carga Máxima, N (lbf).
- f) Edad de las muestras y detalles del curado.
- g) Tipo de falla y aspecto del hormigón.
- h) Orientación de la muestra con respecto a la parte superior de la viga fundida.
- i) Condiciones de curado de las muestras y condiciones de humedad durante el ensayo.

SECCION 6.3.3.10.

MÉTODO DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCION DE PROBETAS PRISMÁTICAS (ASTM C 78 Y C293 AASHTO T97 Y T77)

6.3.3.10.1. OBJETO

1. Este método establece los procedimientos para efectuar el ensayo de tracción por flexión a la rotura de probetas prismáticas de hormigón simplemente apoyadas.
2. Este método, se aplicará al ensayo de tracción por flexión de probetas y se ajustará al procedimiento correspondiente, según la dimensión básica de la probeta. Tenga presente que los dos procedimientos que se describen a continuación no son alternativos y sus resultados no son comparables. Para probetas de dimensión básica 6 pulgadas (150 mm), aplique cargas $P/2$ en los límites del tercio central de la luz de ensayo.

Para probetas de dimensión básica 4 pulgadas (100 mm), aplique la carga P en el centro de la luz de ensayo.

6.3.3.10.2. EQUIPOS Y MATERIALES

3. Prensa de ensayo

Tendrá la rigidez suficiente para resistir los esfuerzos del ensayo sin alterar las condiciones de distribución y ubicación de la carga y lectura de resultados.

La sensibilidad de la prensa será tal que la menor división de la escala de lectura sea menor o igual al 1% de la carga máxima.

La exactitud de la prensa tendrá una tolerancia de $\pm 1\%$ de la carga dentro del intervalo utilizable de la(s) escala(s) de lectura.

En general, el intervalo utilizable se considera comprendido entre el 10% y el 90% de la respectiva escala de lectura.

Se deben contrastar las prensas de ensayo de uso habitual por lo menos una vez al año, y las de faena al inicio de la obra.

4. Dispositivo de tracción por flexión

Deberá tener piezas para apoyo de la probeta y piezas para aplicar la carga, con sus correspondientes accesorios, los que deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- a) Los elementos de contacto con la probeta tendrán la superficie cilíndrica (de este modo se logra un contacto rectilíneo).
- b) Se aplicarán la carga y sus reacciones en forma vertical y estarán dispuestas de modo que las líneas de contacto sean paralelas entre sí y perpendiculares a la luz de ensayo.
- c) Contarán con accesorios que permitan fijar y mantener la luz de ensayo.

- d) Tendrán rótulas regulables, a fin de evitar excentricidades.
- e) Tendrán una longitud igual o mayor que el ancho “b” de las probetas.

5. **Regla rectificada.**

Tendrá una longitud igual o mayor que 21 pulgadas (533,4 mm).

6. **Regla graduada o huincha.**

Deberá ser graduada en milímetros y de una longitud igual o mayor que 1m.

6.3.3.10.3. PROCEDIMIENTO

7. **Retiro de las probetas curadas**

Las probetas que estaban sumergidas en agua por 24 h. para su curado final según se indica en las **Secciones 6.3.3.1 o 6.3.3.2**, retírelas de ésta inmediatamente antes de ensayar, protéjalas con arpilleras húmedas hasta el momento de colocarlas en la máquina de ensayo, para evitar el secamiento en la cara apoyada que es la que recibe la máxima tracción.

8. **Aplicación de la carga**

La luz de ensayo debe cumplir con las siguientes condiciones, según la forma de aplicación de la carga:

- a) Cargas $\frac{P}{2}$ aplicadas en los límites del tercio central:

$$L \geq 3h$$

(Ver Figura 6.3_45, **Fig.1**)

Donde:

L: Luz de ensayo.

h: Altura de la probeta.

- b) Carga P centrada:

$$L \geq 2h$$

(Ver Figura 6.3_45, **Fig.2**)

- c) La distancia “x” entre cada línea de apoyo y el extremo más cercano de la probeta será igual o mayor que 2,5 cm.

9. Trace rectas finas sobre las cuatro caras mayores que marquen las secciones de apoyo y de carga en forma indeleble y que no alteren el tamaño, forma o características estructurales de las probetas.

Nota 1: Al realizar el trazado, verifique la rectitud de los contactos con la regla rectificada; no debe pasar luz entre la cara de la probeta y la regla.

10. Verifique y registre la luz de ensayo, expresándola en milímetros con aproximación a 1 mm, medida en la cara inferior de la probeta en la posición para ensayar.

11. Limpie la superficie de las piezas de apoyo y de carga y las zonas de contacto de la probeta.
12. Coloque la probeta en la prensa de ensayo, dejando la cara de llenado en un plano vertical, y haciendo coincidir las líneas de trazado con las piezas de apoyo y de carga correspondientes.
13. El contacto entre la probeta y cada pieza de apoyo o de carga debe ser total, con las tolerancias y condiciones siguientes:
 - a) Acepte una separación igual o menor que 0,05 mm.
 - b) Si la separación es mayor que 0,05 mm y menor que 0,5 mm, use láminas de cuero natural o sintético interpuestas en el contacto. Esas láminas tendrán un espesor uniforme igual o mayor que 5 mm, un ancho igual o mayor que 25 mm y un largo igual o mayor que el ancho de la probeta. Deseche las láminas que presenten deformaciones apreciables a simple vista.
 - c) Si la separación es igual o mayor que 0,5 mm y menor que 2 mm, proceda a refrentar.
 - d) Si la separación es mayor que 2 mm, deseche la probeta.
14. Antes de aplicar la carga verifique que:
 - a) Todos los contactos cumplen con lo indicado en 13.
 - b) Las distancias entre las piezas de apoyo y de carga se mantienen constantes, con una tolerancia de ± 1 mm.
15. Aplique la carga en forma continua y uniforme, sin choques. La velocidad de tensión, calculada, deberá estar comprendida entre 0,015 y 0,02 N/mm²/seg).
16. Una vez fijada la velocidad, no haga modificaciones de ella hasta el término del ensayo.
17. Registre la carga máxima P expresada en N.
18. Mida el ancho (b) y la altura (h) medios de la probeta en la sección de rotura con aproximación a 1mm. Registre b y h.

6.3.3.10.4. CÁLCULOS

19. Ensaye con cargas P/2 en los límites del tercio central de la luz de ensayo.
 - a) Si la fractura de la probeta se produce en el tercio central de la luz de ensayo, calcule la resistencia a la tracción por flexión, como la tensión de rotura según la fórmula siguiente:

$$f_t = \frac{P \times L}{b \times h^2}$$

Donde:

- f_t : Tensión de rotura (MPa).
P: Carga máxima aplicada (N).

L: Luz de ensayo de la probeta (mm).
b: Ancho promedio de la probeta en la sección de rotura (mm).
h: Altura promedio de la probeta de la probeta en la sección rotura (mm).

- b) Si la fractura se produce fuera del tercio central de la luz de ensayo, en la zona comprendida entre la línea de aplicación de carga y una distancia de 0,05 L de esa línea, calcule la resistencia a la tracción por flexión, como la tensión de rotura según la fórmula siguiente:

$$f_t = \frac{3 \times P \times a}{b \times h^2}$$

Donde:

- a: Distancia entre la sección de rotura y el apoyo más próximo, medida a lo largo de la línea central de la superficie inferior de la probeta (mm).
- c) Si la fractura se produce fuera del tercio central de la luz de ensayo y más allá de la zona indicada en b), deseche los resultados del ensayo.
- d) Expresar los resultados en MPa aproximando a 0,1 MPa.

20. Ensayo con Carga P en el Punto Medio de la Luz de Ensayo.

- a) Calcule la resistencia a la tracción por flexión como la tensión de la rotura según la fórmula siguiente:

$$f_t = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times h^2}$$

Donde:

f_t : Tensión de rotura (MPa).
P: Carga máxima aplicada (N).
L: Luz de ensayo de la probeta (mm).
b: Ancho promedio de la probeta en la sección de rotura (mm).
h: Altura promedio de la probeta de la probeta en la sección rotura (mm).

- b) Expresar los resultados en MPa aproximando a 0,1 MPa.

Nota 2: Si la prensa de ensayo entrega resultados en kgf, se debe considerar la siguiente equivalencia: **1 MPa = 10,1972 kgf/cm²**

6.3.3.10.5. INFORME

En el informe incluya lo siguiente:

21. Antecedentes generales.

El registro de los antecedentes generales de las probetas de acuerdo con lo que se indica en las **Secciones 6.3.3.1 o 6.3.3.2**, según corresponda.

22. Antecedentes de cada probeta.

- a) Nombre del contrato y del contratista.
- b) Fecha y edad de la probeta en el momento del ensayo.
- c) Dimensión básica de la probeta, (mm).
- d) Procedimiento de aplicación de la carga.
- e) Luz de ensayo (mm).
- f) Defectos exteriores de la probeta, indicando si fue refrentada o si se usaron láminas para ajuste de piezas de carga.
- g) Tipo de curado.
- h) Carga de rotura de la probeta, (N).
- i) Resistencia a la tracción por flexión (calculada de acuerdo con 19 ó 20 según corresponda), (MPa).
- j) Observaciones relativas al hormigón después de la rotura (oquedades, porosidad, adherencias insuficientes, segregación, etc.).
- k) Cualquier otra información específica del ensayo, útil para su mejor interpretación.
- l) Referencia a este método.

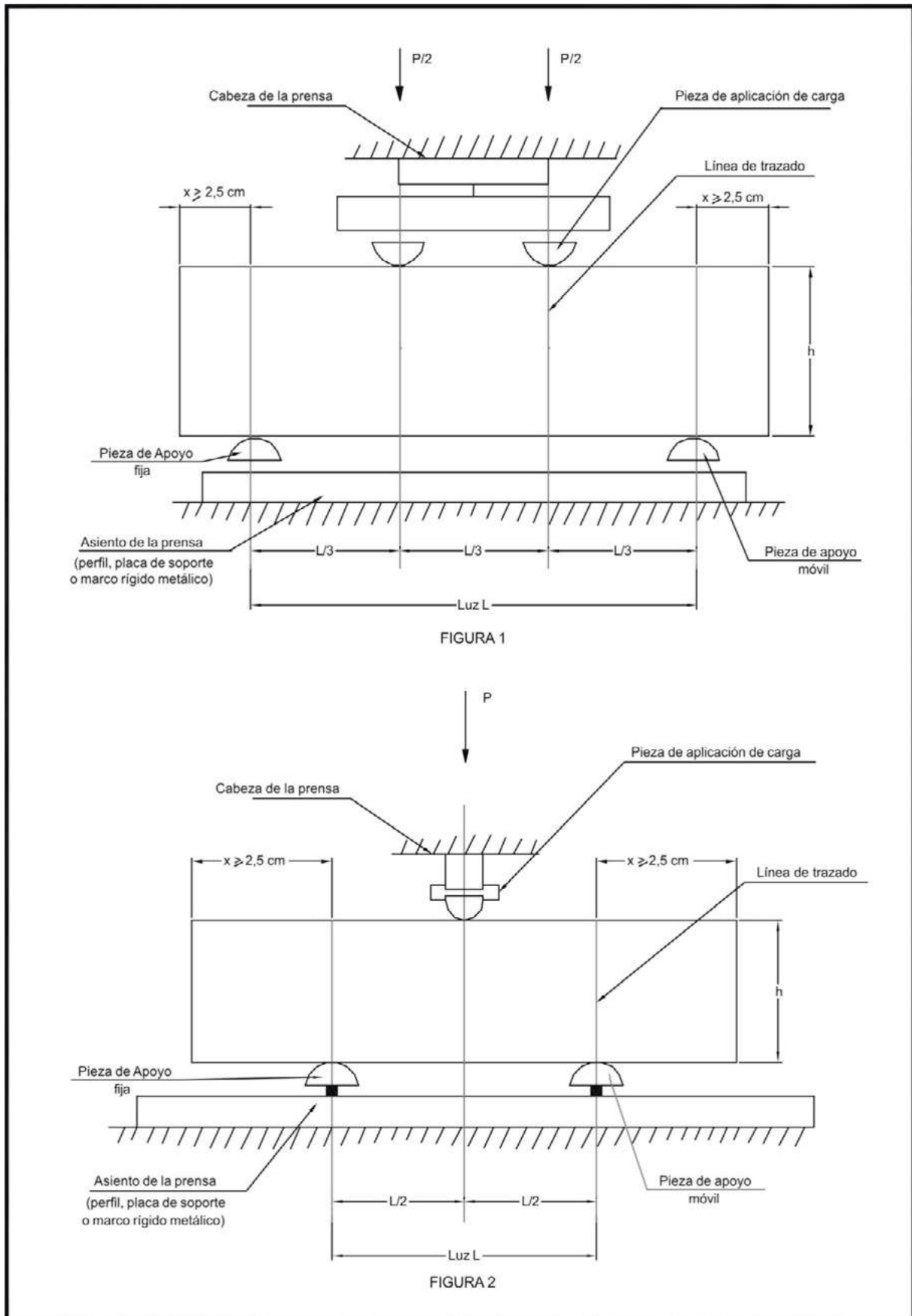


Figura 6.3_45. FIG1. y FIG2. ESQUEMA DE ENSAYOS DE TRACCIÓN POR FLEXIÓN

SECCION 6.3.3.11.

MÉTODO DE ENSAYO A LA TRACCIÓN POR HENDIMIENTO DE PROBETAS CILÍNDRICAS (ASTM C 496)

6.3.3.11.1. OBJETO

Este método establece el procedimiento para efectuar el ensayo de tracción por hendimiento a la rotura de probetas cilíndricas de hormigón. El método se aplica a probetas preparadas según las **Secciones 6.3.3.1 o 6.3.3.2**, según corresponda.

6.3.3.11.2. EQUIPOS Y MATERIALES

A.1. Prensa de ensayo

La prensa deberá cumplir con lo dispuesto en la **Sección 6.3.3.7**.

A.2. Placa suplementaria

Si el diámetro o la mayor dimensión de las piezas de carga o de apoyo de la prensa de ensayo es inferior a la longitud del cilindro por ensayar, emplee una placa suplementaria de acero, de ancho igual o superior a 50mm, largo igual o superior a la longitud del cilindro y espesor igual o superior a 50mm. Rectifique las caras de modo de obtener una superficie plana con una tolerancia de $\pm 0,25\text{mm}$.

A.3. Tablillas de apoyo

Serán de madera contrachapada de 4 ± 1 mm de espesor, de 15 ± 5 mm de ancho y de longitud igual o ligeramente mayor que la de la probeta.

A.4. Regla graduada

Estará graduada en milímetros (mm) y tendrá una longitud igual o mayor que 400 mm.

A.5. Balanza

Tendrá una capacidad superior a 20kg y una precisión mínima de 1 g.

6.3.3.11.3. PROCEDIMIENTO

a. Curado

Cure las probetas de acuerdo con las **Secciones 6.3.3.1 o 6.3.3.2**, según corresponda.

b. Trazado

Trace con línea fina un diámetro en cada una de las bases del cilindro; ambos deberán estar dentro de un mismo plano. Una ambas rectas mediante el trazado de dos generatrices que definan claramente las líneas de contacto con las tablillas de apoyo. Se recomienda emplear dispositivo de trazado. **Ver Figura 6.3_46**

c. Medición de las probetas

- Determine y registre el diámetro de la probeta como el promedio aritmético de 3 diámetros medidos sobre las líneas de contacto en el centro y cerca de ambos extremos de la probeta, aproximando a 1mm.
- Determine y registre la longitud de la probeta como el promedio aritmético de las longitudes medidas sobre las dos líneas de contacto, aproximando a 1 mm.
- Determine y registre la masa de la probeta en condición húmeda, con una aproximación igual o inferior a 20g.
- Calcule y registre la densidad aparente de la probeta, expresada en kg/m³, con una aproximación igual o inferior a 10 kg/m³.

d. Ensayo

- Limpie las superficies de las placas y de las líneas de contacto de la probeta.
- Coloque una tablilla de apoyo centrada sobre el eje de la placa inferior de la prensa.
- Coloque la probeta sobre la tablilla de apoyo y alinéela de modo que las líneas de trazado diametral queden verticales y centradas sobre la tablilla.
- Coloque la segunda tablilla de apoyo centrada sobre la línea de contacto superior de la probeta.
- Se recomienda emplear un dispositivo de alineación (ver Figura 6.3_47).
- Antes de aplicar la carga verifique, que las líneas de trazado diametral se mantengan verticales y centradas respecto de las tablillas y piezas de apoyo y carga.
- Realizada la verificación, aplique la carga en forma continua y uniforme, sin choques, a una velocidad entre 0,01 y 0,02 N/mm²/seg hasta la rotura.
- Registre la carga máxima P expresada en N.

6.3.3.11.4. CÁLCULOS

Calcule la resistencia a la tracción por hendimiento como la tensión de rotura según la fórmula siguiente:

$$f_h = \frac{2 \times P}{\pi \times l \times d}$$

Donde:

- f_h : Resistencia a tracción por hendimiento (MPa).
- P: Carga máxima aplicada por la máquina de ensayo (N).
- l: Longitud de la probeta (mm).
- d: Diámetro de la probeta (mm).

Nota 1: Si la prensa de ensayo entrega resultados en kgf, se debe considerar la siguiente equivalencia: $1 \text{ MPa} = 10,1972 \text{ kgf/cm}^2$. Expresar el resultado con una aproximación igual a 0,1 MPa.

6.3.3.11.5. INFORME

El informe debe incluir lo siguiente:

- a) Nombre del contrato y del contratista.
- b) El registro de antecedentes de las probetas, de acuerdo con las **Secciones 6.3.3.1 o 6.3.3.2**, según corresponda.
- c) Fecha y edad de la probeta al momento del ensayo.
- d) Dimensiones de la probeta.
- e) Masa de la probeta, (kg).
- f) Densidad aparente de la probeta, (kg/m^3)
- g) Defectos exteriores en la probeta.
- h) Tipo de curado de la probeta.
- i) Carga de rotura máxima registrada, (N).
- j) Resistencia a la tracción por hendimiento, (MPa).
- k) Cualquier información específica sobre el ensayo o la probeta, útil para su mejor interpretación.

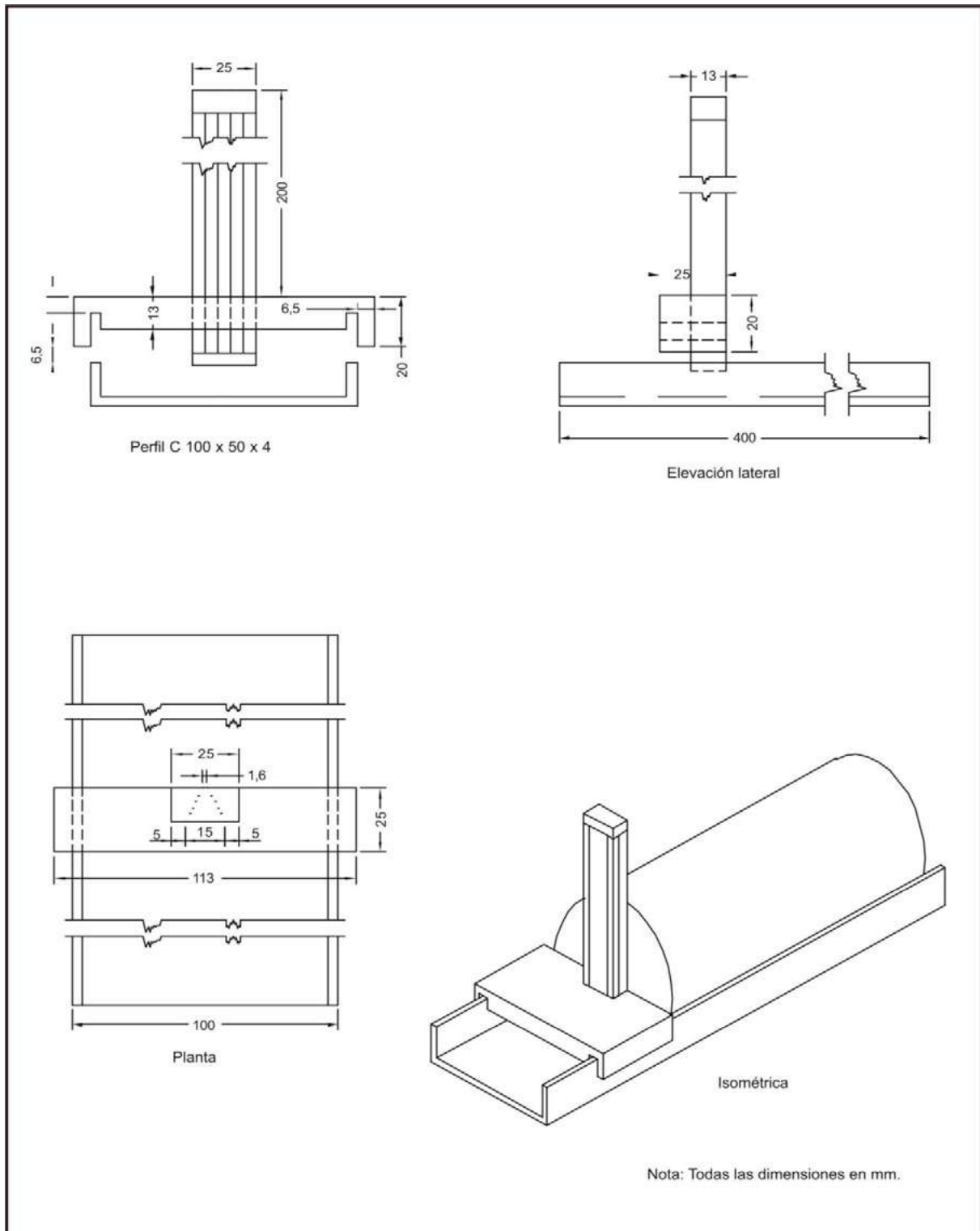


Figura 6.3_46. DISPOSITIVO DE TRAZADO

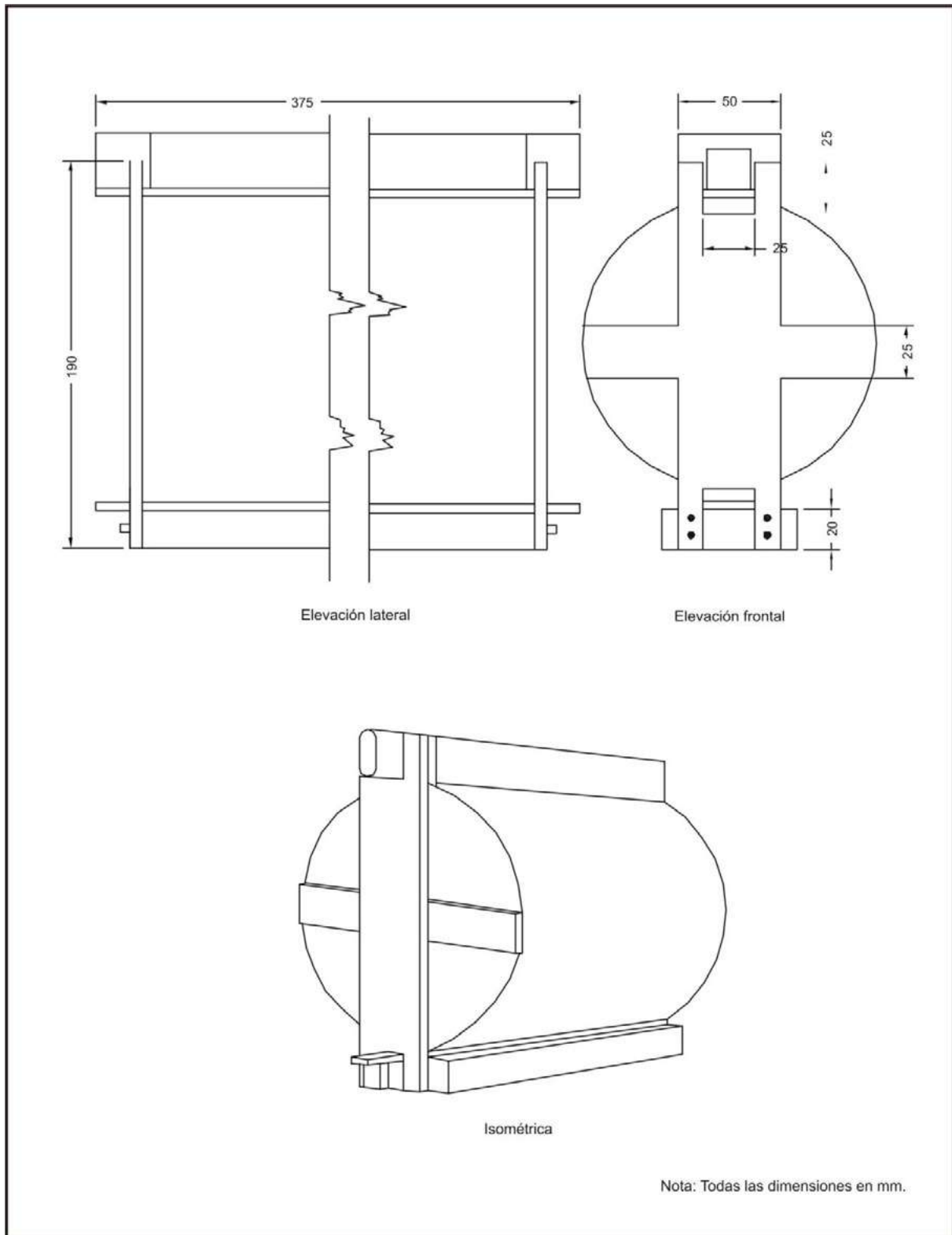


Figura 6.3_47. DISPOSITIVO DE ALINEACIÓN

SECCION 6.3.3.12.

FLUENCIA DEL HORMIGÓN A LA COMPRESIÓN (ASTM C 512)

6.3.3.12.1. OBJETO

Este método de ensayo sirve para la determinación del fluencia (creep) de cilindros moldeados de hormigón, que se someten a la acción de una carga longitudinal compresiva. El método se limita a hormigones con tamaño máximo de árido no mayor de 50 mm (2").

6.3.3.12.2. DEFINICIONES

Este método mide la deformación por compresión inducida por la carga dependiente del tiempo, para edades escogidas del hormigón, bajo una serie arbitraria de condiciones ambientales controladas.

Este método se puede usar para comparar los potenciales de fluencia de distintos hormigones. Un procedimiento posible, consiste en utilizar la ecuación desarrollada (o método gráfico) para calcular esfuerzos, a partir de datos de deformación en estructuras masivas de hormigón no reforzado. Para aplicaciones de diseño más específicas, las condiciones del ensayo fijadas más adelante en este método deberán modificarse para simular lo más cercanamente posible, las condiciones anticipadas de curado, térmicas, de exposición y duración de carga, para la estructura prototipo.

Ante la ausencia de hipótesis satisfactorias que gobiernen el fenómeno de fluencia, se han considerado algunas suposiciones, que generalmente están siendo confirmadas mediante ensayos y por la práctica.

- La fluencia es proporcional al esfuerzo de compresión para valores entre el 0 y 40% de la resistencia a la compresión del hormigón.
- Se ha demostrado concluyentemente que la fluencia es directamente proporcional al contenido de pasta, para el rango de contenidos de pasta utilizados normalmente en el hormigón.

Así es como las características de fluencia de mezclas de hormigón que tienen áridos con tamaño máximo mayor de 50mm (2"), pueden determinarse a partir de la fluencia de la porción que pasa por el tamiz de 50mm (2"), multiplicando este valor, por la relación de contenidos de pasta de cemento (en volumen) entre la mezcla completa y la porción tamizada.

El uso de una expresión logarítmica (numeral 1), no implica que la relación entre fluencia y el tiempo de deformación, sea necesariamente una función logarítmica exacta; sin embargo, para un período de un año, la expresión se aproxima al comportamiento normal con suficiente exactitud, para hacer posible el cálculo de parámetros que son útiles para el propósito de comparar hormigones.

No hay datos que podrían fundamentar la extrapolación de los resultados de este ensayo a esfuerzos de torsión y tensión.

6.3.3.12.3. EQUIPOS Y MATERIALES

A.1. Moldes

Serán cilíndricos y cumpliendo los requerimientos de la **Sección 6.3.3.2.**

A.2. Dispositivo de carga

Capaz de aplicar y mantener la carga requerida sobre el espécimen sin importar cualquier cambio en las dimensiones del mismo. En su forma más simple, el dispositivo de carga consistirá en cabezales planos de apoyo sobre los extremos del espécimen, un elemento para mantener la carga, que puede ser: un resorte, una cápsula hidráulica o ambos y varillas con roscas, para tomar las reacciones del sistema cargado. Las superficies de carga se desviarán del plano no más de 0,025mm (0.001"). En un dispositivo de carga, se pueden apilar varios especímenes para ensayarlos simultáneamente.

Cuando se utiliza un elemento hidráulico para mantener la carga, se pueden atender simultáneamente varios dispositivos de carga, por medio de una unidad central hidráulica de regulación de presión, que la integran: un acumulador, un regulador, manómetros y una fuente de alta presión tal como un cilindro de nitrógeno o una bomba de alta presión.

Pueden utilizarse resortes como los del sistema amortiguador de ferrocarriles, para mantener la carga sobre dispositivos similares a los que se describieron antes. La compresión inicial se aplicará por medio de un gato portátil o una máquina de ensayo. Cuando se usen resortes, deberá cuidarse que se disponga de una cabeza apoyada sobre una rótula y que la placa de apoyo esté suficientemente bien agarrada para asegurar una carga uniformemente aplicada a los cilindros. Se dispondrá de medios adecuados para medir la carga con una aproximación del 2% de la carga total aplicada. Puede ser un manómetro con instalación fija o un gato hidráulico con celdas de carga que se colocan en el dispositivo, a medida que la carga se aplica o ajusta.

A.3. Dispositivos medidores de deformación

Los aparatos utilizados deberán tener dispositivos para medir la deformación longitudinal en el espécimen, con aproximación a las diezmillonésimas. El dispositivo puede estar integrado al aparato, puede ser instalado o ser portátil. Si se utilizan los portátiles, los puntos de contacto deberán marcarse sobre el espécimen en forma notoria. No se permitirá el uso de deformímetros que dependen de contacto por fricción. Si se utiliza un medidor integrado, deberá estar situado en forma que su movimiento de deformación ocurra a lo largo del eje longitudinal del cilindro.

Si se utilizan aparatos externos, las deformaciones serán medidas por lo menos sobre dos líneas medidoras espaciadas uniformemente alrededor de la periferia del espécimen. Los medidores pueden ser instrumentados para que la deformación media sobre todas las líneas del medidor pueda leerse directamente. La línea de medida efectiva será al menos tres veces el tamaño máximo del árido del hormigón.

Los aparatos de medir deformaciones, deberán ser capaces de medir por lo menos durante un año, sin cambios en la calibración.

6.3.3.12.4. EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

A.1. Tamaño del espécimen

El diámetro de cada espécimen será de $150 \pm 1,6$ mm ($6 \pm 1/16$ ") y la longitud será de 292 mm ($11\frac{1}{2}$ "), por lo menos. Cuando los extremos del espécimen están en contacto con los platos de carga de acero, la longitud del espécimen será igual a la longitud del aparato medidor de deformaciones más el diámetro del espécimen. Si los extremos del espécimen están en contacto con

otros especímenes de hormigón similares al que se está ensayando, la longitud del espécimen será, por lo menos, igual a la del medidor de longitudes del dispositivo de medición de deformaciones, más 38 mm (1½").

Entre el espécimen de ensayo y el plato de carga de acero, en cada extremo de una pila, deberá instalarse un cilindro adicional no instrumentado cuyo diámetro sea igual al del cilindro que se ensaya, y cuya longitud sea al menos igual a la mitad de su diámetro.

A.2. Fabricación de especímenes

El tamaño máximo del árido que se vaya a utilizar no deberá exceder de 50 mm (2"). Los cilindros fundidos verticalmente se fabricarán conforme a lo indicado en la Sección 6.3.3.2; los extremos de cada cilindro cumplirán los requisitos de la Sección 6.3.3.3.

Los cilindros fundidos horizontalmente se consolidarán por métodos apropiados para la consistencia del hormigón. Deberá ponerse mucha atención para que la varilla o el vibrador no golpeen el medidor de deformación. Cuando se utilice vibración, el hormigón se colocará en una capa y el elemento vibrador no tendrá más de 32 mm (1¼") de diámetro. Si la compactación se hace por apisonado, el hormigón se colocará en dos capas aproximadamente iguales y cada capa recibirá 25 golpes de varilla uniformemente distribuidos a cada lado del medidor de deformación.

Después de la consolidación, el hormigón será nivelado con un palustre o llana, manipulándolo lo menos posible para conformar el hormigón en la apertura. Una plantilla curvada con el radio del espécimen puede utilizarse como un emparejador para darle forma y acabado más precisos al hormigón en la abertura.

Las exigencias de aplanamiento de los extremos de los especímenes cilíndricos pueden lograrse por refrentado, recubrimiento, o al momento de fundir, fijando los extremos con platos de apoyo normales al eje del cilindro.

A.3. Número de especímenes

Para cada condición de ensayo se harán no menos de seis (6) especímenes de una tongada de hormigón dada. Se ensayarán dos por resistencia a la compresión, dos se cargarán y se observarán para la deformación total, y dos permanecerán sin carga para usarlos como controles para indicar deformaciones debidas a causas distintas a las cargas. Cada uno de los especímenes para deformación y control estará sometido a los mismos tratamientos de almacenamiento y curado, que el espécimen cargado.

A.4. Curado normal

Antes de desmoldarlos, los especímenes serán almacenados a $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73 \pm 3^\circ\text{F}$) y cubiertos para evitar la evaporación. Los especímenes se extraerán de los moldes no antes de 20 horas ni después de 48 horas de su fabricación, y se almacenarán bajo condiciones húmedas a una temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73 \pm 3^\circ\text{F}$) hasta los 7 días. La condición húmeda, es cuando se mantiene agua libre sobre toda la superficie de los especímenes, permanentemente. No se someterán a chorros de agua corriente, ni serán almacenados dentro de depósitos llenos de agua. Después de terminado el curado húmedo, los especímenes se almacenarán a temperatura de $23 \pm 1^\circ\text{C}$ ($73 \pm 2^\circ\text{F}$) y con una humedad relativa del $50 \pm 4\%$, hasta la terminación del ensayo.

A.5. Curado básico para fluencia

Si se desea evitar la pérdida o ganancia de agua durante el almacenamiento y el período de ensayo, los especímenes en el momento de su fabricación o desmolde, serán encerrados y sellados dentro de cubiertas impermeables para evitar pérdidas de humedad por evaporación y permanecerán sellados durante el período de almacenamiento y curado.

A.6. Otras condiciones de curado

Otras condiciones sobre ambientes de curado y edad para el ensayo pueden ser utilizadas, sustituyendo las fijadas, cuando se requiera esta información para aplicaciones específicas. En este caso, se incluirán en el reporte del ensayo dichas condiciones, cuidadosamente detalladas.

6.3.3.12.5. PROCEDIMIENTO

a. Edad para el ensayo

Cuando el propósito del ensayo, es comparar el potencial de fluencia de diferentes hormigones, inicialmente se cargan los especímenes a una edad de 28 días. Cuando se quiere conocer el comportamiento completo de la fluencia de un hormigón dado, se deberán preparar especímenes para carga inicial a los 2, 7, 28 y 90 días, y un año. Si se necesita la información para otras edades de carga, señálense esas edades en el informe.

b. Detalles de carga

Inmediatamente antes de cargar los especímenes de fluencia, determínese la resistencia a la compresión de los cilindros de resistencia, de acuerdo con la **Sección 6.3.3.7**. En el momento que los especímenes de flujo no sellados son colocados en el dispositivo de carga, cúbranse los extremos de los cilindros de control para evitar la pérdida de humedad.

Cárguese el espécimen con una intensidad de carga no mayor que el 40% de la resistencia a la compresión a la edad de carga.

Tómense lecturas de deformación en forma inmediata, antes y después de la carga, 2 y 6 horas más tarde, después diariamente, durante 1 semana, semanalmente durante 1 mes y mensualmente durante 1 año. Antes de tomar cada lectura de deformación, mídase la carga. Si la carga varía más del 2% del valor correcto, deberá ajustarse. Tómense lecturas de deformación sobre los especímenes de control para el mismo calendario de los especímenes cargados.

6.3.3.12.6. CÁLCULOS

1. Calcúlese la deformación total inducida por la carga unitaria, en cualquier momento, como la diferencia entre el valor de deformación promedio del espécimen cargado y el espécimen de control, dividido por el esfuerzo promedio.

Para determinar la deformación por fluencia, por kPa (lb/pulg²) para cualquier edad, réstese de la deformación inducida por la carga unitaria para esa edad, por kPa (lb/pulg²), la deformación por kilo Pascal (lb/pulg²) inmediatamente después de cargado.

Si se desea, puede, graficarse la deformación total por kPa (lb/pulg²) sobre un sistema de coordenadas semilogarítmico, en el cual el eje logarítmico representa el tiempo, para determinar las constantes 1/E y F(k), para la siguiente ecuación:

$$\epsilon = \frac{1}{E} + F(k) \ln(t + 1)$$

Donde:

ϵ : Deformación total por kPa (lb/pulg²).

E: Módulo elástico instantáneo kPa (lb/pulg²).

F(k): Tasa de fluencia, calculada como la pendiente de la recta que representa

la curva de fluencia en un gráfico semilogarítmico.

t: Tiempo después de la carga (días).

El valor $\frac{1}{E}$ es la deformación inicial elástica por kPa (lb/pulg²) y se determina de las lecturas de deformaciones, tomadas inmediatamente antes y después de la carga del espécimen. Si la carga no se desarrolló rápidamente, puede ocurrir algo de flujo antes de que la deformación después de la carga haya sido observada, en cuyo caso, la extrapolación al tiempo cero puede hacerse por el método de los mínimos cuadrados, para determinar este valor.

6.3.3.12.7. INFORME

El informe deberá incluir lo siguiente:

- a) Contenido de cemento, relación agua cemento, tamaño máximo del árido, asentamiento.
- b) Posición del cilindro cuando fue fundido.
- c) Tipo y origen del cemento, mezcla de áridos y agua de mezclado.
- d) Condiciones de almacenamiento antes y después de la carga.
- e) Edad y duración de la carga.
- f) Resistencia a la compresión a la edad de carga.
- g) Tipo de aparato para medir esfuerzos.
- h) Magnitud de cualquier precarga.
- i) Intensidad de la carga aplicada.
- j) Esfuerzo elástico inicial.
- k) Esfuerzo de fluencia en kPa (lb/pulg²) a las edades indicadas y a un año.
- l) Tasa de fluencia, F (k), si se determina.

SECCION 6.3.3.13.

CALIDAD DEL AGUA PARA HORMIGONES (AASHTO T26)

6.3.3.13.1. OBJETO

Este método establece el procedimiento para determinar la acidez o alcalinidad y el contenido de sólidos totales y materia orgánica.

6.3.3.13.2. ACIDEZ Y ALCALINIDAD

- La acidez o alcalinidad se deberán determinar por alguno de los métodos A o B, que se describen a continuación. Si se requiere gran precisión, se deberá emplear el método B.
 - a) La acidez o alcalinidad se determinarán con soluciones patrón 0.1.N alcalina o ácida, respectivamente, usando no menos de 200 ml del agua bajo control. Se podrán usar como indicadores fenolftaleína o naranja metílica. Excesivas acidez o alcalinidad indican la necesidad de ensayos adicionales.
 - b) La concentración del ión hidrógeno se determinará por los métodos electrométricos o colorimétricos en conjunto con el indicador adecuado y se deberá expresar en unidades de pH:

$$pH = \log \frac{1}{H^+}$$

Cuando el pH sea inferior a 4,5 o mayor de 8,5 se requieren ensayos adicionales. (El valor pH es el logaritmo del inverso de la concentración del ión hidrógeno (H⁺) en moles por litro. Por ejemplo, una solución con pH de 4,5 tiene una concentración de ión hidrógeno de 10^{-4.5}).

- c) El procedimiento para asegurar los valores de pH deberá ser controlado totalmente por el método empleado, sea el electrométrico o el colorimétrico. El procedimiento a seguir en la determinación se basará en el tipo de aparato usado y estará de acuerdo con los métodos e instrucciones suministrados por el fabricante del aparato en uso. Los aparatos empleados, sean electrométricos o colorimétricos, deberán tener un rango de trabajo aceptable para el ensayo que se esté realizando.

A.1.Método de garantía A: Concentración del ión cloruro

Se deberá determinar conforme lo establece la norma ASTM D-512, "ión cloruro en agua industrial y agua industrial de desecho".

A.2.Método de garantía B: Concentración del ión sulfato

Se determinará de acuerdo con la norma ASTM D-516, "ión sulfato en agua industrial y agua industrial de desecho". Método de garantía (gravimétrico).

6.3.3.13.3. SÓLIDOS TOTALES Y MATERIA ORGÁNICA

- Se evaporarán, hasta la sequedad, 500 ml en un recipiente tarado. Para este propósito, es conveniente un recipiente de platino de 100 a 200 ml de capacidad. El recipiente se llenará casi en su totalidad con agua y se colocará en un baño de agua, adicionando periódicamente porciones a la muestra de agua, hasta completar los 500 ml.

El contenido del recipiente se evaporará hasta la sequedad y se colocará en un horno a 132°C (270°F) por una hora, después de la cual se retirará el recipiente del horno, se enfriará en un desecador y se pesará. El peso del residuo en gramos, dividido por 5, será el porcentaje total de sólidos en el agua.

- Los sólidos obtenidos pueden estar constituidos por materia orgánica, materia inorgánica o una combinación de ellas. El recipiente de platino se encenderá a bajo calor rojo y el oscurecimiento del residuo durante la primera etapa del calentamiento suele indicar la presencia de materia orgánica.
- El porcentaje perdido por la ignición a bajo rojo es una indicación del contenido de materia orgánica, pero debe tenerse presente que algunas sales minerales tienden a volatilizarse o descomponerse parcialmente con el calor.
- La determinación de la composición de la materia mineral en el agua requiere un análisis químico completo que no se suele efectuar, a no ser que la proporción de sólidos sea muy elevada o el agua tienda a dar resultados anormales en otros ensayos. Los resultados se indicarán de manera separada por componentes, en partes por millón.
- Se puede hacer una comparación del agua bajo ensayo con agua destilada, mediante la expansión en autoclave del Cemento Portland, el tiempo de fraguado del Cemento Hidráulico mediante la aguja de Vicat, o el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante la aguja de Gillmore y la resistencia a compresión de los morteros de cemento hidráulico, empleando el mismo cemento con cada agua.
- Los límites sugeridos de estos ensayos, son los siguientes: Cualquier indicación de falta de solidez, cambios marcados en los tiempos de fraguado, o una reducción de más de 10% en la resistencia con respecto a la mezcla elaborada con el agua destilada, pueden ser motivos suficientes para rechazar el agua bajo ensayo.

SECCION 6.3.3.14.

TOMA DE NÚCLEOS Y VIGAS EN HORMIGONES ENDURECIDOS (ASTM C 42 AASHTO T24)

6.3.3.14.1. OBJETO

Este método se refiere al procedimiento de obtención, preparación y ensayo de (a) núcleos extraídos de estructuras de hormigón para determinaciones de longitud o resistencia a la compresión o a la tracción indirecta, y (b) vigas aserradas de estructuras de hormigón para determinaciones de resistencia a la flexión.

6.3.3.14.2. EQUIPO Y MATERIALES

A.1. Pachómetro

Para evitar el corte de barras se deberá emplear un detector metálico o pachómetro para determinar la posición de las barras. Una vez ubicadas las barras de la zona se determinará la posición para extraer las probetas testigo.

A.2. Saca núcleos

Para obtener probetas cilíndricas. Si las probetas deben ser extraídas por taladrado perpendicular a una superficie horizontal, resulta satisfactorio un taladro de percusión; pero si las probetas deben ser taladradas en otra dirección o si su diámetro se debe determinar con exactitud para un cálculo más preciso de la resistencia a la compresión, se emplearán brocas de diamante.

A.3. Sierra

Para obtener probetas en forma de viga del tamaño adecuado para efectuar ensayos de resistencia a la flexión. La sierra deberá tener un borde cortante de diamante o carburo de silicio y deberá poder cortar las probetas con las dimensiones prescritas, sin calor excesivo o impacto.

6.3.3.14.3. CONDICIONES GENERALES

A.1. Generalidades

Las muestras de hormigón endurecido para uso en la preparación de probetas para ensayos de resistencia, no se deberán tomar hasta que el hormigón haya endurecido lo suficiente para permitir la remoción de la muestra sin perturbar la adhesión entre el mortero y el árido grueso. En general, el hormigón deberá tener una edad de catorce (14) días antes de la extracción de las probetas. Cuando se preparen probetas para ensayos de resistencia de muestras de hormigón endurecido, se deberán descartar aquellas que presenten defectos o que se hayan deteriorado durante el proceso de extracción.

Las probetas que contengan acero de refuerzo no se deberán usar para determinar la resistencia a la tracción indirecta. En caso de ensayos para determinar la resistencia a la flexión, no se usarán probetas que tengan refuerzo en la porción sometida a tensión.

Nota 1: Los núcleos que contengan refuerzo y estén destinados a la determinación de la resistencia a la compresión, pueden dar resultados mayores o menores que los núcleos

sin acero embebido y, en lo posible, se deben evitar o recortar para eliminar el refuerzo, proporcionando simultáneamente una relación L/D de 1.0 o mayor.

A.2.Extracción de núcleos

Siempre que sea posible, los núcleos se extraerán perpendicularmente a una superficie horizontal, de manera que su eje sea perpendicular a la capa de hormigón tal como se colocó originalmente y cuidando de no hacerlo en vecindades de juntas o bordes obvios del elemento construido. Deberá señalizarse en el testigo la orientación (superior/inferior) del elemento del cual fueron extraídos, a fin de considerarse su efecto en los resultados de los ensayos. Las probetas tomadas en dirección perpendicular a una superficie vertical o a una superficie irregular, se deberán extraer lo más cerca que sea posible del centro de la pieza y nunca cerca de juntas o bordes de ella.

A.3.Remoción de losas

Se deberá remover una losa de tamaño suficiente para asegurar las probetas de ensayo deseadas, excluyendo todo hormigón agrietado, astillado, mal cortado o con cualquier otra irregularidad.

6.3.3.14.4. NÚCLEOS

A.1.Probetas para determinación de longitud

Deberán tener un diámetro de cuando menos cien (100) milímetros. La medida de la longitud de los núcleos se hará conforme se describe en la **Sección 6.3.3.15**.

a) Resistencia a compresión

Probetas de Ensayo

Los diámetros de los núcleos para la determinación de la resistencia a compresión deberán ser, como mínimo, iguales a tres (3) veces el tamaño máximo nominal del árido grueso del hormigón. Su longitud, luego del refrentado, deberá ser lo más aproximada posible al doble del diámetro. No se deberán ensayar núcleos cuya altura sea inferior al noventa y cinco por ciento (95%) de su diámetro antes del refrentado o menor de su diámetro después dicha operación.

Preparación de las bases:

Las bases de los núcleos que van a ser ensayados a la compresión, deberán ser sensiblemente lisas, perpendiculares a su eje longitudinal y del mismo diámetro del cuerpo del núcleo. De ser necesario, las bases se deberán aserrar o maquinar hasta cumplir los siguientes requisitos:

- i. Las salientes, si las hay, no se deberán extender más allá de 0.2 pulgadas (5mm) de la superficie de la base.
- ii. Las superficies de las bases no se podrán apartar de la perpendicularidad al eje longitudinal en más de 5º, y ,
- iii. El diámetro de las bases no deberá diferir en más de 0.1 pulgadas (2,5mm) del diámetro medio del núcleo.

b) Acondicionamiento en humedad

Las probetas de ensayo se deberán sumergir en agua saturada de cal a $23 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ ($73.4 \pm 3.0^{\circ}\text{F}$) por un período no inferior a 40 horas, antes de someterlas al ensayo de resistencia a la compresión. Durante el lapso transcurrido entre el retiro de las probetas del agua y el ensayo, se deberán cubrir con una sábana, una arpillera húmeda u otra tela absorbente que resulte adecuada.

Nota 2: Cuando lo exija la entidad para la cual se realizan las pruebas, los núcleos se podrán ensayar en una condición de humedad diferente a la alcanzada por la inmersión durante un mínimo de 40 horas. Los factores de corrección por la relación longitud/diámetro que se muestran en el numeral 1, son aplicables tanto al hormigón seco, como al sometido a inmersión en agua. Instrucciones para la consideración del ensayo en condiciones diferentes a las alcanzadas por inmersión por 40 horas o más, se pueden hallar en el capítulo 17 del documento ACI-301 y en el capítulo 4 del ACI-318.

c) Refrentado

Las bases de los núcleos se deberán refrentar antes del ensayo de acuerdo con el procedimiento prescrito en la sección pertinente de la norma de la **Sección 6.3.3.3**. Las superficies refrentadas deberán cumplir los requisitos de uniformidad exigidos en la misma norma.

d) Medida

Antes del ensayo, se deberá medir la longitud del núcleo refrentado con aproximación a la décima de pulgada (2.5mm), longitud que se empleará para el cálculo de la relación longitud/diámetro. El diámetro se determinará promediando dos (2) medidas tomadas en ángulos rectos entre sí, aproximadamente en la mitad de la probeta. Siempre que sea posible, la medida del diámetro se realizará con aproximación a la centésima de pulgada (0.25mm), pero como mínimo a la décima de pulgada (2.5mm).

Nota 3: La mayoría de los núcleos no tienen la lisura suficiente para justificar medidas del diámetro con aproximación mayor a la décima de pulgada (2,5mm).

e) Ensayo

El ensayo a compresión de los núcleos se efectuará tal como se describe en la **Sección 6.3.3.7**, "Ensayo a la compresión de probetas cúbicas y cilíndricas".

f) Cálculos

El cálculo de la resistencia a la compresión de cada probeta se realizará utilizando su sección transversal basada en el diámetro medio determinado según se indicó en 11. Si la relación longitud/diámetro es apreciablemente inferior a dos (2), la resistencia a compresión calculada se deberá multiplicar por un factor de corrección, como se indica a continuación:

Relación L/D	Factor de corrección de resistencia
1,75	0,98
1,50	0,96
1,25	0,93
1,00	0,87

Estos factores de corrección se aplicarán a hormigón liviano (1.600 a 1.920 kg/m³) y a hormigón normal, y son aplicables tanto a hormigón seco como húmedo en el momento del ensayo. Los valores que no estén indicados en la tabla, se obtendrán por interpolación.

Los factores de corrección son aplicables para resistencias nominales a la compresión entre 13,8 a 41,4 MPa (2000 y 6000 libras por pulgada cuadrada). (Los factores de corrección dependen de diferentes condiciones, tales como la resistencia y el módulo elástico. Los valores que se dan en la tabla son promedio).

g) Informe

Los resultados se informarán como lo exige la **Sección 6.3.3.7**, adicionando los siguientes datos: Longitud de la probeta antes y después del refrentado.

Resistencia a la compresión aproximada a 68,9 kPa (10 libras/pulgada cuadrada) cuando el diámetro se haya medido con aproximación a 0,25mm (centésima de pulgada), y a 344,5 kPa cuando el diámetro se haya medido con aproximación a 2,5mm (la décima de pulgada), luego de la corrección longitud/diámetro, si ella se requiere.

- Dirección de aplicación de la carga en la probeta con respecto al plano horizontal del hormigón.
- Condición de humedad en el momento del ensayo, y
- Tamaño máximo nominal del árido del hormigón.

6.3.3.14.5. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA

1. Probetas para ensayo

Estarán de acuerdo con los requisitos sobre dimensiones, indicados en el punto 8. Las bases no se deberán refrentar.

2. Condiciones de humedad

Antes de ensayarlos, los núcleos deberán ser acondicionados como se describe en el punto 9.

3. Superficies de soporte

La línea de contacto entre la probeta y cada pieza de apoyo deberá ser recta y libre de salientes o depresiones mayores de 0.01 pulgadas (0,25mm). En caso contrario, la probeta deberá ser rectificadas o refrentada de manera de producir líneas de apoyo que cumplan estos requisitos. No se usarán probetas con salientes o depresiones superiores a 0.1 pulgadas (2,5mm). Cuando se emplee refrentado, la capa deberá ser tan delgada como sea posible y deberá estar formada de pasta de yeso de alta resistencia.

4. Ensayo

Las probetas se ensayarán de acuerdo con lo indicado en la **Sección 6.3.3.7**.

5. Cálculos e informe

El cálculo de la resistencia y el informe se harán conforme lo indica la **Sección 6.3.3.7**. Cuando se haya requerido rectificación o refrentado de las probetas, el diámetro se deberá medir entre las superficies terminadas. Se deberá indicar que la probeta es un núcleo y su condición de humedad en el momento del ensayo

6.3.3.14.6. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

A.1. Probetas para ensayo

Una viga para el ensayo de resistencia a la flexión deberá tener, en general, una sección de 150mm X 150mm (6X6 pulgadas) (Nota 4). El espécimen deberá tener, cuando menos, 533mm (21 pulgadas) de longitud, pero cuando se vayan a realizar dos ensayos de resistencia a la flexión sobre un espécimen, éste deberá tener no menos de 838mm (33 pulgada) de longitud. La operación de aserrado se deberá efectuar de manera que el hormigón no se vea debilitado por golpes o por calor. Las superficies aserradas deberán ser lisas, planas, paralelas y libres de huecos, salientes y ranuras. Se deberá tener cuidado durante el manejo de las vigas aserradas, con el fin de evitar astillamientos o agrietamientos.

Nota 4: En muchos casos, particularmente con prismas cortados de losas de pavimentos, el ancho estará gobernado por el tamaño del árido y la profundidad por el espesor de la losa.

A.2. Acondicionamiento en humedad

Las probetas de ensayo se deberán sumergir en agua saturada de cal a 23.1°C (73.4°F) por un período no inferior a 40 horas antes de efectuar el ensayo a flexión. El ensayo se deberá efectuar con la mayor prontitud luego de sacar las probetas del agua. Durante el lapso transcurrido entre la remoción del agua y el ensayo, se deberán cubrir con una sábana, una arpillera húmeda u otra tela absorbente que resulte adecuada.

Nota 5: Cuando lo exija la entidad para la cual se realizan las pruebas, las vigas se podrán ensayar en una condición diferente a la alcanzada por inmersión durante un mínimo de 40 horas.

Cantidades relativamente pequeñas de secado de la superficie de vigas para ensayo de resistencia a la flexión, inducen esfuerzos de tensión en las fibras extremas, los cuales reducen notoriamente la resistencia a la flexión.

A.3. Ensayo

Las probetas se ensayarán de acuerdo con las disposiciones de la **Sección 6.3.3.10**.

Nota 6: Las resistencias a compresión de porciones de vigas rotas a la flexión, se pueden determinar ensayando dichas porciones como cubos modificados, de acuerdo con la Sección 6.3.3.11.

Nota 7: El aserrado puede producir reducciones sustanciales de la resistencia a la flexión; por lo tanto, las vigas se deberán ensayar con una superficie moldeada en tensión siempre que sea posible. Deberá indicarse la ubicación de la cara de tensión respecto a la posición del hormigón como fue colocado, así como la posición de las superficies aserradas.

6.3.3.14.7. INFORME

Los resultados se deberán informar de acuerdo con lo que resulte aplicable de la **Sección 6.3.3.10** y los requerimientos de este método, incluyendo la condición de humedad de las vigas en el momento de ensayo.

SECCION 6.3.3.15.

MEDIDA DE LA LONGITUD DE NÚCLEOS DE HORMIGÓN (ASTM C 174 AASHTO T148)

6.3.3.15.1. OBJETO

Este método cubre el procedimiento para determinar la longitud de un núcleo extraído de una estructura de hormigón, en particular de un pavimento rígido.

6.3.3.15.2. EQUIPOS Y MATERIALES

1. El aparato será un calibrador que servirá para medir la longitud de los elementos axiales del núcleo. Los detalles de su diseño mecánico no se encuentran prescritos, pero deberá cumplir los requerimientos indicados en los numerales 3 a 7.
2. El aparato deberá tener un diseño tal, que el núcleo pueda ser sostenido con su eje axial en posición vertical por tres (3) soportes simétricamente colocados descansando contra el extremo inferior.
3. El calibrador deberá permitir el acomodo de núcleos de diferente longitud, en un rango de 100 a 250 milímetros, cuando menos.
4. El calibrador deberá estar diseñado de manera que sea posible hacer una medida de longitud en el centro del extremo superior de la probeta y en ocho (8) puntos adicionales espaciados a iguales intervalos a lo largo de la circunferencia de un círculo cuyo centro coincida con el del área de la base de la probeta y cuyo radio no sea menor de un medio ($1/2$) ni mayor de tres cuartos ($3/4$) del radio de la probeta.
5. La vara de medida u otro dispositivo que haga contacto con la superficie de la base del núcleo deberá doblarse con un radio de 3,2mm ($1/8$ pg). La escala en la cual se medirán las longitudes deberá marcarse con graduaciones claras, definidas y espaciadas a intervalos exactos.
6. El aparato deberá ser estable y suficientemente rígido para mantener su forma y alineamiento sin distorsión o deflexión mayor a 0,25mm durante las operaciones normales de medida.
7. Los núcleos usados como probetas para la medida de la longitud, deberán ser representativos del hormigón en la estructura de la cual se han extraído. El núcleo deberá ser taladrado con el eje en posición normal a la superficie de la estructura, y las bases deberán encontrarse libres de condiciones que no sean características de las superficies de la estructura. No se deberán emplear núcleos que presenten defectos importantes o que se hayan dañado considerablemente durante el barrenado.

6.3.3.15.3. PROCEDIMIENTO

8. Antes de medir la longitud del núcleo, se deberá calibrar el aparato, de manera que se conozcan los errores debidos a sus imperfecciones mecánicas. Cuando los errores excedan de

0,25mm, se deberán aplicar correcciones adecuadas a las medidas de longitud.

9. La probeta se colocará en el aparato de medida con el extremo liso del núcleo, es decir, el extremo que representa la superficie superior de una losa de pavimento o la superficie conformada en el caso de otras estructuras, colocado hacia abajo para que quede apoyado contra los tres soportes de acero endurecido. La probeta deberá quedar colocada sobre los soportes de manera que la posición central de medida del aparato quede directamente sobre el punto medio de la base superior de la probeta.
10. Se deberán efectuar nueve (9) medidas de longitud en cada probeta, una en la posición central y una en cada una de las ocho (8) posiciones adicionales espaciadas a iguales intervalos a lo largo de la circunferencia del círculo de medida descrito en 5. Cada una de estas nueve (9) medidas deberá leerse directamente con aproximación de 2,5mm (0.1pg) y 1,27mm (0.05pg).

Nota1: Si en el transcurso de la operación de medida se descubre que uno o más de los puntos de medida de la superficie de la probeta no es representativo del plano general de la base del núcleo a causa de una pequeña saliente o depresión, la probeta deberá rotarse levemente alrededor de su eje, efectuando las nueve (9) medidas en la nueva posición.

6.3.3.15.4. INFORME

Las medidas individuales se deben registrar al 1,27mm (0.05pg) más cercano y el promedio de las nueve (9) medidas, aproximado a los 2,5mm (0.1pg) más cercanos, se informará como longitud del núcleo de hormigón.

SECCION 6.3.3.16.

ANEXO I DETALLES ESPECÍFICOS

H0105 Método de ensayo para determinar el contenido de materia orgánica en las arenas usadas en la preparación de morteros y hormigones (Colorimetría)

NORMA : A.S.T.M. C 40 / A.A.S.H.T.O. T 21

OBJETIVO : El objeto de este ensayo es establecer el procedimiento que debe seguirse para determinar la presencia de materia orgánica en arenas usadas en la preparación de morteros o concretos de cemento hidráulico.

DURACIÓN : Para realizar el ensayo y obtener los resultados se estiman un máximo de 24 horas.

**EQUIPOS
REQUERIDOS** :



Figura 1 Equipos requeridos

Frascos de vidrio incoloro, de unos 350 ml, con tapas.

- **Carta Gardner** de colores para comparación.
- **Solución de hidróxido de sodio (NaOH) (3%)**. Se disuelven 3 partes en peso de NaOH en 97 partes de agua destilada
- **Cuartheador pequeño**
- **Tamiz n° 4**
- **Embudo**
- **Cuchara**

PROCEDIMIENTO

- a. De la muestra que pasa por el tamiz N° 4 se toman 500 g de material resultante del método del cuarteo (**véase figura 2**).
- b. Se coloca arena en el frasco hasta completar un volumen aproximado de 130 ml o un tercio del volumen del frasco (**véase figura 3**).
- c. Luego, se añade al conjunto frasco + muestra la solución de hidróxido de sodio, hasta obtener dos tercios del el volumen del frasco(véase figura 4).
- d. Se tapa el frasco y se agita vigorosamente para hacer homogénea la mezcla de suelo con el reactivo, como se aprecia en la **figura 5**.



Figura 2 Toma de 500 g de material



Figura 3 Colocación de 1/3 de arena en el frasco



Figura 4 Adición de NaOH a la muestra



Figura 5 Agitación de muestra con el NaOH

Después del agitado, el volumen total de arena y líquido tiene que ser de 200 ml aproximadamente.

- e. Luego se coloca el conjunto frasco + solución + muestra en reposo por un lapso de 24 horas (**véase figura 6**).



Figura 6 Muestra con solución en reposo

DETERMINACION DEL COLOR

Pasadas las 24 horas de reposo, se observa la coloración de la solución. Para la comparación del color en el ensayo existen dos Métodos Alternos y se clasifica la solución por alguno de los siguientes métodos:

A.1.Método Alterno A

Para definir con mayor precisión el color del líquido de la muestra de ensayo, se deben observar la coloración de la solución y deberá compararse y clasificarse de acuerdo con la tabla Gardner de colores de la Norma ICONTEC 716 (Tabla 1, ASTM D 1544).

Tabla 1 ASTM D 1544

Color normal de referencia					
Numero de referencia orgánica	1	2	3	4	5



Figura 8 Comparación de la coloración de la muestra con la Tabla Gardner



Figura 7 Tabla Gardner de colores

Una vez comparado el color de la solución con el color más parecido de la tabla

Gardner de colores, se deberá anotar en la planilla de ensayo el color y el número (*véase figura 8*).

A.2.Método B

El procedimiento puede ser el indicado en el método anterior y la determinación del color del líquido que sobrenada por encima de la muestra se debe efectuar comparándolo con el color de un vidrio, equivalente al color normal de referencia establecido en el método anterior.

RESULTADOS

Se considera que la arena contiene componentes orgánicos posiblemente perjudiciales, cuando el color que sobrenada por encima de la muestra de ensayo es más oscuro que el color normal de referencia. En tal caso, se deben efectuar ensayos complementarios, antes de aprobar la arena para su utilización en la fabricación de Concreto Hidráulico.

Como se trata de un ensayo cualitativo y no cuantitativo, no se requiere establecer la precisión de los resultados.

H0109 Método de ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado grueso

NORMA : A.S.T.M. C 127 - 88 / A.A.S.H.T.O. T - 85

OBJETIVO : El objeto de este ensayo es determinar las propiedades Marshall (Densidades, vacíos en mezclas asfálticas), para conocer el peso específico y el porcentaje de absorción usados para los diseños de mezclas de concreto asfáltico, curva de saturación, relación de vacíos y porosidad en suelos gravo -arenosos.

DURACIÓN : Con práctica se puede hacer el ensayo en el laboratorio en dos días.

**EQUIPOS
REQUERIDOS** :



Figura 1 Equipos requeridos para el ensayo

- **Horno**, con control para mantener temperaturas uniformes hasta $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- **Balanza**, capacidad de 5kg. con sensibilidad de 0,5 g y apta para suspender muestras que permitan obtener su peso sumergido en agua.
- **Bandejas de aluminio**, de 25 cm x 20 cm x 5 cm, para secar muestras que contengan agua.
- **Bomba de vacío**.
- **Enfriador**, (deseCADOR) de aproximadamente 25 cm de diámetro.
- **Envases** metálicos inoxidables, de capacidad aproximada de 20 litros para sumergir muestras en agua.
- **Envases** metálicos, de capacidad aproximada de 20 litros para lavar muestras.
- **Tamiz** N° 8 (o tamiz N° 4 si se analizan suelos o mezclas asfálticas en frío).
- **Bandeja**, 60 cm x 60 cm x 5 cm.
- **Cesta de alambre**, de malla con abertura N° 8 ó menor, aproximadamente. 20 cm de diámetro por 20 cm. de altura, y apta para suspender con hilo desde la balanza.
- **Cuarteador**, para agregados gruesos.
- **Toalla absorbente**.

NOTA1: La norma señala una malla con abertura Nº 6, sin embargo, si se toma en cuenta que para el concreto asfáltico, se usa malla con abertura Nº 8 (2,38 mm), la cesta deberá ser con abertura Nº 8 (2,38 mm).

PROCEDIMIENTO Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS.

- a. Se obtiene el material representativo (usar el método de muestreo para agregados y arena (A.S.T.M. D 75 y FLNV-MVAG-32), o antes del almacenaje de las pilas en el patio de la planta, la empresa debe entregar el material que sea representativo del que se propone utilizar en la obra, para su aprobación previa (*véase figura 2*).

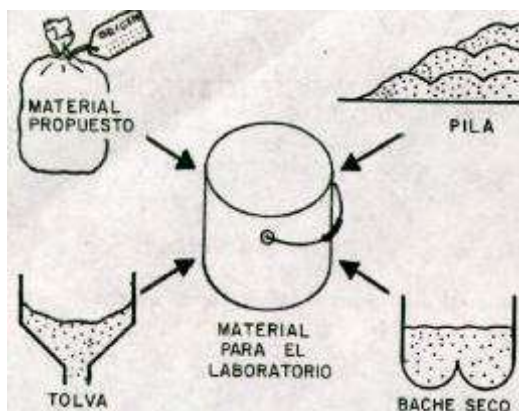


Figura 2 Material representativo para el laboratorio

- b. El peso de los agregados gruesos requerido para este ensayo es por lo menos 20 Kg. El peso mínimo de la muestra a ser usado está dado en la siguiente tabla. Si la muestra contiene más del 15% de retenido en el tamiz 1 ½", se ensaya este material separado de los tamaños inferiores.

Tabla 1 Peso mínimo de muestra a ser utilizado

Tamaño Máximo Nominal de la partícula (Pulg.)	Peso Mínimo de la muestra. (Kg.)
½"	2
¾"	3
1"	4
1 ½"	5
2"	8
2 ½"	12
3"	18
3 ½"	25
4"	40
4 ½"	50
5"	75
6"	125

- c. Para concreto asfáltico la muestra a ensayar será aquel material mayor del tamiz Nº 8.
- d. Se pasa el material, tomando pocas cantidades a la vez por el tamiz Nº 8, requerido para ensayos en mezclas de Concreto Asfáltico y se guarda los agregados retenidos en este tamiz (*véase figura 3*).

Cuando se está determinando el peso específico del tamaño grava (retenido en N° 4) se utiliza, como es obvio, un tamiz N° 4 para separar la muestra.

Si el suelo analizado contiene más de 5% de pasante del tamiz N° 200, la muestra se debe obtener por medio de lavado.

- e. Mezcle totalmente la muestra de agregados y redúzcala a la cantidad necesaria usando los procedimientos recomendados en A.S.T.M C 702 (véase figura 4). Rechace todo el material pasante del tamiz N° 4 (4,75 mm), por tamizado.
- f. Lavar totalmente la muestra para remover el polvo de la superficie, como se aprecia en la figura 5. Si el agregado grueso contiene una cantidad considerable de material pasante el tamiz N° 8 (2,38 mm), use este tamiz en lugar del N° 4 (4,75 mm) especificado. Si va a usar el material fino para el método A.S.T.M C128, separe el material pasante obtenido anteriormente usando el tamiz N° 4 (4,75 mm).



Figura 3 Tamizado de la muestra
(tamiz N° 8)



Figura 4 Muestra a ensayar



Figura 5 Lavado de la muestra

- g. Se cuartea el material retenido en el tamiz N° 8 con una pala de bordes rectos, ó utilizando un cuarteador para agregados gruesos (véase figura 6).
- h. Mezcle y cuarteé hasta reducir el material a una cantidad que sea representativa para el ensayo. Se necesitará aproximadamente 5 Kg. del agregado para la ejecución del mismo.
- i. Se coloca la muestra separada por cuarteo en una bandeja metálica con peso aproximado de 5 kg. Usar un envase con capacidad de 20 litros.



Figura 6 Cuarteo del material



Figura 7 Lavado de la muestra

- j. Se realiza un lavado completo de los agregados.
- k. El lavado debe ser suficiente para eliminar el polvo u otras impurezas superficiales adheridas a la muestra.

- l. Descargar en el desagüe el producto del lavado (siempre usando un tamiz Nº 8, para evitar la pérdida de material del ensayo) y repetir de nuevo el proceso hasta que el agua se observe limpia (**véase figura 7**).
- m. Cuando esté suficientemente lavada se coloca los agregados en una ó varias bandejas de un tamaño tal que puedan ser introducidas al horno (**véase figura 8**).



Figura 8 Bandeja con muestra para ensayo

- n. Seque la muestra lavada hasta peso constante a una temperatura $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ (**véase figura 9**). Se saca la muestra del horno, se deje enfriar hasta que el material llegue hasta un peso constante. El período puede oscilar entre 4 horas (mínimo) y 18 horas (máximo).
- o. En agregados gruesos, el peso constante se considera que ocurre cuando en dos pesajes sucesivos, el peso seco no varía más de 1,0 g.
- p. Después de secar los agregados hasta peso constante se saca del horno, y se deja que se enfríen unos minutos. Se pasan a un envase grande con capacidad de 20 litros, y se cubre los agregados con agua limpia.
- q. Se deja la muestra sumergida en agua por un período de 24 horas, como se aprecia en la **figura 10**.
- r. Durante este intervalo de tiempo, se verifica que la cesta, que será utilizada en los pasos más adelante, ha sido tarada anotado su peso al aire y también el sumergido en agua (**véase figura 11**).



Figura 9 Secado de muestra



Figura 10 Muestra sumergida en agua



Figura 11 Cesta a ser sumergida con la muestra en agua

Ejemplo 1:

Peso cesta en aire	1.336,0 g
Peso cesta en agua	1.186,5 g

- s. Luego del proceso de saturación por 24 horas en el agua, se saca la muestra del agua, y se coloca sobre un paño grande absorbente (**véase figura 12**).

- t. Se hace rodar los agregados sobre el paño hasta que toda película de agua visible desaparezca, como se aprecia en la **figura 13**. En este momento se logra tener el agregado en condición de “saturado y superficialmente seco” (**véase figura 14**).



Figura 12 Muestra en paño absorbente



Figura 13 Secado de la muestra



Figura 14 Muestra en Superficie Seca Saturada s.s.s.

- u. Corrientemente la película de agua visible se aprecia en mejor forma en los agregados más gruesos.

NOTA 1: La condición deseada de “saturación con superficie seca”, se logra cuando la superficie de los agregados pierde su brillantez, aunque siga notándose húmeda.

La operación de rodar los agregados para quitar la película de agua visible debe ser rápida (dura alrededor de 10 segundos), para evitar que el agregado se seque más allá de su superficie, por efecto de evaporación (**véase figura 13**).

- v. Se puede quitar la película de agua de los tamaños más grandes tratando estos agregados individualmente. Se debe hacer rápidamente, pero con cuidado, las siguientes operaciones hasta pesar la muestra sumergida en agua.
- w. Cuando los agregados ya están en la condición de “saturación con superficie seca”, se colocan en la cesta, y se sumerge en el recipiente con agua de la balanza hidrostática y posteriormente se procede a pesarlos (**véase figura 15 y 16**).



Figura 15 Muestra inmersa en cesta para ensayo



Figura 16 Peso de la muestra después de inmersión

Anote este peso en el formato de ensayo, como Peso de superficie seca saturada (P.s.s.s.) en aire.

- x. Ahora se transfiere los agregados desde la cesta a una ó varias bandejas, como se aprecia en la figura 17.
- y. Se coloca las muestras de nuevo en el horno y se secan hasta peso constante (**véase figura 18**).



Figura 17 Muestras transferidas a las bandejas



Figura 18 Secado de muestra

Durante este intervalo de tiempo, se calcula los pesos W_s , y W_{ma} con los datos obtenidos hasta ahora.

Ejemplo 2:

Peso cesta + muestra s.s.s. en aire	6436,0 g
Peso cesta en aire	- <u>1336,0 g</u>
W_s , peso muestra s.s.s	5100,0 g
Peso cesta + muestra en agua	4.414,0 g
Peso cesta en agua	- <u>1186,5 g</u>
W_{ma} , Peso Muestra en agua	3227,5 g

- z. Cuando la muestra haya sido secada hasta peso constante se saca del horno, y se deja enfriar hasta temperatura ambiente, y luego se procede a pesarla, como se aprecia en la **figura 19**.



Figura 19 Peso de la muestra seca

Se denominará este peso de los agregados: “peso muestra secada a peso constante” ó “ W_o ”.

Anotar estos valores en el formato de ensayo.

Ejemplo 3:

Peso W_o + Cesta	6386,0 g
Peso Cesta en Aire	- <u>1336,0 g</u>

Entonces,

Peso W_o 5.050,0 g

aa. Ahora se tiene anotado en el formulario los siguientes pesos,

Ejemplo 4:

W_s , peso muestra s.s.s. 5.100,0 g

W_{ma} , peso muestra en agua 3.227,5 g

W_o , peso muestra seca 5.050,0 g

Calcular lo siguiente:

1. PE_b Peso Específico Bulk
2. PE_{ss} Peso Específico Saturado con Superficie Seca.
3. PE_a Peso Específico Aparente
4. % Absorción

Para los cálculos de las propiedades Marshall, se utiliza el valor Peso Específico Bulk, PE_b , para los agregados gruesos. Para la curva de saturación en suelos compactados se utiliza el PE_a (peso específico aparente)

CÁLCULOS REQUERIDOS

A.3. Peso específico bulk (G_{sb})

$$G_{sb} = \frac{\text{Peso seco muestra s.s.s.}}{\text{Peso volumen del agua igual a muestra s.s.s.}} \quad (1)$$

Peso volumen del agua igual a muestra s.s.s.

A.4. Peso específico Superficie Seca Saturada ($G_{s.S.S.}$)

$$(G_{s.S.S.}) = \frac{\text{Peso muestra s.s.s.}}{\text{Peso volumen del agua igual a muestra s.s.s.}} \quad (2)$$

Peso volumen del agua igual a muestra s.s.s.

A.5. Peso específico aparente (G_{sa})

$$(G_{sa}) = \frac{\text{Peso seco muestra s.s.s.}}{\text{Peso volumen del agua igual a muestra seca}} \quad (3)$$

Peso volumen del agua igual a muestra seca

A.6. Absorción (%)

$$\% = \frac{\text{Peso humedad muestra s.s.s.}}{\text{Peso seco muestra s.s.s.}} \times 100 \quad (4)$$

Peso seco muestra s.s.s

Se debe informar el "PE" con una exactitud de 3 decimales y el % Absorción con un decimal. Se ha hecho bien el ensayo si al repetirlo, el valor de "PE" no varía en más de

0,02 con el resultado anterior, y 0,05 % en el caso del % absorción. De no cumplirse esta condición deberá repetirse esta condición, deberá repetirse nuevamente el ensayo.

CRITERIOS DE PRECISIÓN

La estimación de la precisión de este método de ensayo, listado en la tabla 1 está basada en resultados del “programa de muestras de referencia de laboratorios de la A.A.S.H.T.O” con ensayos realizados con este método y con el método A.A.S. H.T.O. T 85. La diferencia significativa entre los dos métodos es que el C127 requiere un período de saturación de 24 horas, mientras que el método T 85 requiere un periodo de saturación de 15 Horas mínimos. Se ha encontrado que esta diferencia tiene un efecto insignificante en el índice de precisión. Los datos están basados en el análisis de más de 100 pares de resultados de ensayos de 40 a 100 laboratorios.

Tabla 1 Precisión

	Desviación estándar (1d) ^A	Rango de aceptación para dos resultados (D2 d) ^A
Precisión de un Operador:		
Gravedad específica Bulk (dry)	0.009	0.025
Gravedad específica Bulk (SSD)	0.007	0.020
Gravedad específica Aparente	0.007	0.020
Absorción ^B %	0.088	0.25
Precisión Múltiples Laboratorios:		
Gravedad específica Bulk (dry)	0.013	0.038
Gravedad específica Bulk (SSD)	0.011	0.032
Gravedad específica Aparente	0.011	0.032
Absorción ^B %	0.145	0.41

A - Estos Números representan los límites (1 d) y (D2 d) respectivamente descritos en la práctica C 670. La precisión estimada fue obtenida de los análisis de ensayos combinados de laboratorio de materiales de referencia A.A.S.H.T.O, usando un tiempo de saturación de 15 horas mínimo y otro laboratorio usando 24 horas. La prueba fue realizada con agregados de peso normal y con agregados en condición seca.

B - La precisión estuvo basada en agregados con absorción de menos del 2%.

H0110 Método de ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado fino

NORMA : A.S.T.M. C 128 - 88 / A.A.S.H.T.O. T - 84

OBJETIVO : El objeto de este ensayo es determinar el peso específico ponderado del agregado en mezclas asfálticas, y mezclas para concreto hidráulico. Determinar el peso específico ponderado en suelos con el fin de obtener: relación de vacíos, porosidad y curva de saturación.

DURACIÓN : Con práctica se puede realizar el ensayo en el laboratorio en dos días (48 horas).

**EQUIPOS
REQUERIDOS** :



Figura 1 Equipos requeridos

- **Bomba de vacío** con 30 mm Hg de capacidad.
- **Balanza** con capacidad de 2 Kg. ó más y sensibilidad de 0,1 g.
- **Conjunto estándar** de 1 molde cónico y 1 barra compactadora.
- **Frasco**, boca grande, graduado a 20 °C y capacidad para 500 ml.
- **Probeta**, graduada volumétrica, con capacidad de 100 ml.
- **Tamices**: N° 8 (2,38 mm), N° 50 (0,29 mm), N° 200 (0,074 mm).
- **Cuarteador**, para agregados finos.
- **Bandeja**, 60 cm x 60 cm x 5 cm.
- **Bandejas**, aluminio, 25 cm x 25 cm x 5 cm. para secar muestras que contengan agua.
- **Enfriador** (deseccador) aproximadamente 25 cm.

- **Ventilador**, modelo de mesa ó secador.
- **Rociador de agua**.
- **Cuchara de albañil**.
- **Embudo**, de boca 10 cm mínimo.

MUESTREO

- a. Se obtiene el material representativo según el ensayo A.S.T.M D75. Se obtiene una muestra de ensayo de acuerdo a los requerimientos de la especificación D 242 y el ensayo reducido de acuerdo con la práctica C 702, usar un mínimo de 100 grs. de material seco por cada tamiz de análisis (**véase figura 2**), ó antes del almacenaje de las pilas en el patio de la planta, la empresa debe entregar el material que sea representativo del que se propone utilizar en la obra, para aprobación previa.

El peso de los agregados finos requerido para este ensayo es por lo menos 4 Kg

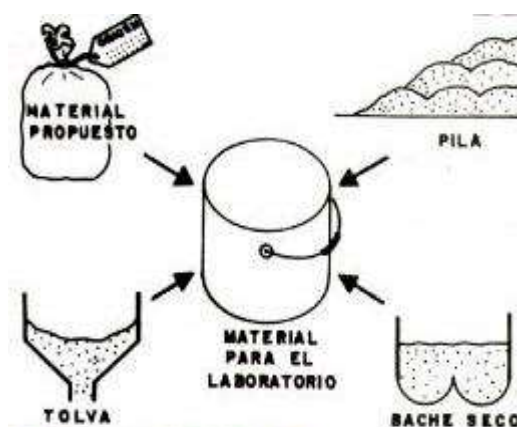


Figura 2 Muestra representativa para el laboratorio

- b. Para su uso en concreto asfáltico la muestra a ensayar será la fracción del agregado que pasa el tamiz Nº 8 (2,38 mm) y es retenido en el tamiz Nº 200 (0,074 mm), como se aprecia en la **figura 3**.



Figura 3 Tamices para separar la muestra

No se precisa lavar el material para separar y obtener el material pasa Nº 8 (2,38 mm) y retenido Nº 200 (0,074 mm), basta tamizar, poca cantidad de material seco a la vez.

Se procede a transferir la muestra del pasante tamiz N° 8 y retenido en el tamiz N° 200 a la bandeja, como se aprecia en la **figura 4**.

Cuando se está determinando el peso específico del tamaño de arena (pasa N° 4 retenido en N° 200) de un suelo con contenido de pasa 200 representativo (> 5 %), el tamiz superior, como es obvio, será el N° 4 y la muestra se debe obtener por lavado para eliminar las partículas adheridas a los granos.

- c. Descartar el material retenido en el tamiz N° 8 y el material que pasa el tamiz N° 200 (0,074 mm) y rociar el material restante para disminuir la segregación, y mezclar los finos uniformemente, (**véase figura 5**).

NOTA 1: Si el estudio es sobre un suelo granular o para mezclas asfálticas en frío, utilizar un tamiz N° 4.

- d. Cuartear el material con la cuchara de albañil, ó utilizar un cuarteador para agregados finos. Mezclar y cuartear hasta reducir el material a una cantidad que sea representativa para el ensayo.
- e. Se necesitará aproximadamente 1 kg. de agregados finos para la muestra del ensayo.



Figura 4 Material retenido para el ensayo



Figura 5 Rociado y mezclado del material



Figura 6 Cuarteo del material

6.3.3.16.1. PREPARACION DE LA MUESTRA

- a. Pasar la porción cuarteada de aproximadamente 1 kg. a una bandeja, (**véase figura 7 y 8**).



Figura 7 Material cuarteado



Figura 8 Porción de la muestra cuarteada

- b. Colocar la muestra de agregados finos en el horno y secarla hasta peso constante a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

El período de secado para peso constante estará en 18 horas (mínimo).

NOTA 2: En agregados finos, se considera que ocurre peso constante cuando en dos pesajes sucesivos, el peso seco no varía más de 0,1 g.

- c. Después de secar el material hasta peso constante se saca del horno, y se deja enfriar unos minutos.
- d. Luego se cubre la muestra con agua, y se deja en reposo durante 24 horas (véase figura 9).
- e. Durante este período, se debe verificar el peso del frasco a ser utilizado en los pasos subsiguientes, y anotar su peso. Se debe asegurar que este contiene una marca indicando el nivel de un volumen de agua de 500 ml a 20 °C (**véase figuras 10 y 11**).



Figura 9 Muestra saturada en agua



Figura 10 Peso del frasco vacío + vidrio



Figura 11 Peso del frasco + agua a capacidad total

Anotar los pesos en el formato de ensayo.

Por ejemplo:

Peso Frasco vacío + vidrio 155,2 g

Peso Frasco + agua a capacidad total 442,3 g

- f. Al terminar el reposo de 24 horas se debe eliminar la mayor parte de agua que cubre la muestra (véase figura 12).
- g. Se procede a secar el material utilizando una fuente de aire tibio procurando remover la muestra con frecuencia para garantizar que el secado sea uniforme, como se aprecia en la **figura 13**.



Figura 12 Eliminación del exceso de agua de la muestra saturada



Figura 13 Secado de muestra

- h. Continuar secando la muestra uniformemente hasta que los granos del agregado fino no se adhieran marcadamente entre sí.
- i. Cuando se crea que el material llegó a la condición descrita en punto 8, colocarlo en forma suelta en el molde cónico estándar, hasta llenar el cono, como se aprecia en la figura 14.
- j. Golpear la superficie del material suavemente 25 veces con la barra estándar (véase figura 15).
- k. La superficie debe ser golpeada con la barra compactadora desde una altura de 5 mm. sobre la capa del agregado y debe ser dejado caer libremente.

NOTA 3: Suavemente quiere decir, en tal forma que el molde cónico no se mueva con la acción de apisonar.

- l. A continuación, levantar el molde verticalmente. Si existe humedad libre en el material, el cono de agregado fino mantendrá su forma (***véase figura 16***).



Figura 14 Adición del material en el molde cónico estándar



Figura 15 Compactación del material



Figura 16 Forma del material sin el cono estándar

El material en forma de un cono entero es la condición deseable durante este primer tanteo.

Se procede a combinar toda la muestra de nuevo y seguir secando uniformemente revolviendo de manera constante.

- m. Repetir a intervalos frecuentes la operación de hacer conos, hasta que el cono se de-

rumbe al quitar el molde (*véase figura 17*).

Este es el momento en que los agregados están en estado de “Saturación con Superficie Seca” (S.S.S.).



NOTA 4: Recordar siempre levantar el molde verticalmente para que el derrumbe no sea causado por el mismo molde al tropezar con el material.

Figura 17 Material en superficie seca saturada

- n. Es obligatorio que se llegue a la condición de “saturación con superficie seca” sólo después de uno o varios tanteos con el molde cónico.

Si el cono de agregado fino se desmorona al primer intento, la muestra ha sido secada más allá de la condición deseada.

En este caso se rociarán unos cuantos mililitros de agua al agregado fino para humedecerlo bien. Se mezcla de nuevo completamente y se pasa el material a una bandeja más pequeña.

- o. En el instante en que el cono se derrumbe por primera vez al quitar el molde, los agregados están en su condición de “Saturados con Superficie Seca”.

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

- a. Con el material en su condición de “Saturados con Superficie Seca”, introducir de inmediato por medio de un embudo y una cuchara 150,0 g \pm 10 g de la muestra en el frasco graduado, previamente tarado. (*véase figura 18 y 19*).

Se debe tener la balanza lista con los pesos apropiados para la lectura requerida.



Figura 18 Tarado del conjunto frasco + embudo



Figura 19 Adición de la muestra al frasco

- b. Después que se haya introducido $150,0\text{ g} \pm 10\text{ g}$. de la muestra en el frasco, se debe anotar la lectura del peso en el formato de ensayo. Llenar de agua hasta saturar la muestra dentro del frasco (*véase figura 20*).

Utilizar agua limpia que esté a una temperatura de $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- c. Se conectan el frasco a una bomba de vacío de 30 mm Hg de capacidad, durante un período de 15 minutos (*véase figura 21*).
- d. Después de transcurrido el primer período de 15 minutos se agrega el doble de agua a la muestra y se comienza un segundo período de 15 minutos más (*véase figura 22*).



Figura 20 Muestra saturada



Figura 21 Frasco conectado a la bomba de vacío



Figura 22 Segundo periodo de extracción de vacío

- e. Se debe enrasar el frasco con agua a su capacidad total y pesar el conjunto en la balanza (*véase figura 23*).
- f. Tomar la temperatura de la muestra y anotarla en el formato de ensayo.
- g. Sacar la muestra del frasco y pasarla a una o unas bandejas inoxidables como se aprecia en la figura 24.
- h. Dejar reposar la muestra en la bandeja hasta que el agua esté clara. Ahora se puede eliminar algo del agua antes de colocar la bandeja con la muestra en el horno (*véase figura 25*).
- i. Se debe secar la muestra hasta peso constante. Una vez secada sacar del horno, y dejarla enfriar hasta temperatura ambiente.

Un enfriador (deseCADOR) ayudará a hacer esto en el mínimo de tiempo.

- j. Pesar la muestra secada a peso constante y anótelo en su formulario.



Figura 23 Muestra + agua a capacidad total



Figura 24 Muestra del frasco en bandeja



Figura 25 Muestra en el horno

CÁLCULO REQUERIDO

A.1. Peso específico Bulk (Gsb)

$$Gsb = \frac{\text{Suelo seco superficie seca saturada}}{\text{Peso volumen del agua igual a la muestra en superficie seca saturada}} \quad (1)$$

A.2. Peso específico superficie seca saturada (GsS.S.S.)

$$(GsS.S.S.) = \frac{\text{Peso de la muestra S.S.S.}}{\text{Peso volumen del agua igual a S.S.S.}} \quad (2)$$

A.3. Peso específico aparente (Gsa)

$$(Gsa) = \frac{\text{Suelo seco S.S.S.}}{\text{Peso volumen del agua igual a muestra seca}} \quad (3)$$

A.4. Absorción (%)

$$\% = \frac{\text{Peso húmedo muestra S.S.S.}}{\text{Suelo seco S.S.S.}} \times 100 \quad (4)$$

OBSERVACIONES

- Se ha hecho bien el ensayo, si al repetirlo, el valor del PE no varía en más de 0,02 con el resultado anterior; y 0,05 % en el caso del porcentaje de absorción. De no cumplirse esta condición deberá repetirse nuevamente el ensayo.
- Cuando se trabaje con un decimal, 1 ml. de agua pesa 1 g. y ocupa el volumen equivalente a 1 cm³ a la temperatura de 20 °C

CRITERIOS DE PRECISIÓN

Promedio de Precisión

Precisión	Valores de ensayo de resultados (%) en tamaño de la fracción ^A	Desviación Estándar (%) ^B	Rango de aceptabilidad de los resultados de ensayo (%) ^B
Un solo operador	Menos de 2 Más de 2	0.14 0.7	0.5 ^C 2.0
Varios operadores	Menos de 2 Más de 2	0.17 1.0	0.5 2.8

- A.** El porcentaje entre tamices consecutivos o porcentaje relacionado con el tamiz más grande el N° 30 (0,59 mm) o porcentaje que pasa el menor de los tamices el N° 200 (0,074 mm).
- B.** Estos números representan respectivamente el primero y segundo límite como se descri-

be en la norma C 670.

- C. El mínimo segundo es 0.5 % en este caso, cuando los resultados del ensayo están expresados en el más próximo 0.5%.

H011 Método de ensayo para determinar la resistencia de los agregados al desgaste utilizando la máquina de Los Ángeles

NORMA : A.S.T.M. C 131 -C 535 /N.L.T. 149 /I.N.V.E 218-219/FLNV-MVAG-07/08

OBJETIVO : Determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando la máquina de los ángeles, consecuencia de la acción combinada de la abrasión, machaqueo e impacto.

DURACIÓN : Para realizar el ensayo y obtener los resultados se estiman un máximo de 24 horas.

**EQUIPOS
REQUERIDOS** :



Figura 1 Equipos requeridos para el ensayo

- **Máquina de desgaste de los ángeles.**
- **Balanza** con capacidad de 20 Kg. con apreciación de 1g.
- **Tamices** para agregado grueso.
- **Horno** con control de temperatura uniforme de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- **Carga abrasiva** o esferas metálicas de fundición o de acero.
- **Tamiz # 12.**

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- a. La muestra para el ensayo se obtendrá mediante el tamizado, separando las distintas fracciones del agregado según el método acorde a la granulometría del material a ensayar (**véase figura 2**).



Figura 2 Separación del material

- b. Las fracciones se deben lavar separadamente como se muestra en la **figura 3**.

Nota 1: Si el agregado está libre de costras o de polvo, puede eliminarse del procedimiento de lavado antes y después del ensayo.

La eliminación del lavado posterior rara vez reducirá la pérdida medida en más del 0.2% del peso de la muestra original.

Si se quisiera obtener mayor información sobre la uniformidad de la muestra que se está ensayando, determinando la pérdida después de 100 revoluciones en el caso de agregados de tamaño mayor de 37.5mm (1 1/2") y 200 revoluciones para agregados con tamaño 19 mm (3/4"), no se debe lavar el material retenido en el tamiz N° 12.



Figura 3 Lavado del material

- c. Una vez lavado el material se procede a introducirlo en el horno a una temperatura de 105 °C y 110 °C hasta que su peso sea constante, (**véase figura 4**).



Figura 4 Introducción del material lavado en el horno

- d. Se deberá elegir en la tabla 1 “Granulometrías representativas de los agregados, para la selección del método de ensayo a utilizar” (**Véase Anexo B**), la gradación más parecida al agregado que se va a usar en la obra tomando en cuenta el tamaño del agregado para la ejecución del ensayo.

Se deberá trabajar con la unión de la tabla de especificaciones de la norma A.S.T.M C 131 y la tabla de la norma A.S.T.M C 535 para agregados de tamaño menor de 37,5 mm (1 ½”) y agregados de tamaño mayor de 19 mm (3/4”).

NOTA 2: Se debe tomar en cuenta la cantidad de material a utilizar tanto para agregados de tamaño menor de 37.5 mm (1½”) como para agregados de tamaño mayor de 19 mm (3/4”), en el caso de este último se necesita mayor cantidad de material ya que entre sus retenidos se encuentran los agregados más grandes y por lo tanto se le debe aplicar mayor número de revoluciones o vueltas.

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

- a. Una vez seleccionado el método a utilizar (véase en ANEXO B tabla 1 “Granulometrías representativas de los agregados, para la selección del método de ensayo a utilizar”) y determinado el peso de la muestra a usar, se colocan en la máquina de los ángeles la muestra y el número de esferas correspondientes para el ensayo, como se aprecia en la **figura 5**.

Nota 3: Se debe ajustar bien la tapa de la ventana de alimentación de la máquina para evitar perder material fino durante el ensayo (**véase figura 6**).

- b. Luego, se pone a funcionar su mecanismo, a una velocidad debe estar comprendida entre 30 y 33 revoluciones por minuto (rpm) y el número total de vueltas deberá ser el especificado en el método a utilizar. La máquina deberá girar de manera uniforme para mantener una velocidad periférica constante.
- c. Una vez cumplido el número de vueltas prescrita, se descarga el material del cilindro y se procede a efectuar una separación en la muestra ensayada del material más grueso, este se lava y se seca en horno a una temperatura comprendida entre los $110 \pm 5^\circ \text{C}$.
- d. La fracción fina que retiene el tamiz # 12 se une con el material más grueso y la muestra pasante se desecha (**véase figura 7**).



Figura 5 Colocación de la muestra y las esferas en el equipo de desgaste

Figura 6 Ajuste de la tapa del equipo

Figura 7 Fracción fina retenida en el tamiz # 12

PROCEDIMIENTOS APLICABLES EN EL ENSAYO

- a. La relación de pérdida después 100 o 200 de 500 o 1000 revoluciones dependiendo del agregado especificado para los dos tipos de ensayo, no debería exceder en más de 0,20 % para materiales de dureza uniforme. Cuando se realice esta determinación se procurará evitar toda pérdida de muestra.
- b. La muestra total, incluido el polvo producido por el desgaste, se vuelve introducir en la maquina hasta completar las vueltas especificadas por el método elegido para el ensayo.

Un procedimiento recomendable es que después de descargar el material a ensayar dentro del cilindro de acero se ajusten fuertemente los tornillos de la tapa de la máquina, que en muchos casos permite que el material que está en proceso de ensayo se pase entre las fisuras de los bordes de la tapa y se pierda.

CÁLCULOS

El cálculo de este ensayo es muy sencillo, siendo el porcentaje de desgaste igual a la diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra ensayada, expresado en tanto por ciento del peso original y se expresa de la siguiente forma:

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} \times 100 \quad (1)$$

Dónde:

Pf = Peso final

Pi = Peso inicial

PRECISIÓN DE ENSAYO

Para agregados con tamaño máximo nominal de 19 mm (3/4), con % de pérdidas entre 10 y 45 %, el coeficiente de variación entre resultado de varios laboratorios, es de 4.5 %.

Resultados de dos ensayos bien ejecutados, por dos laboratorios diferentes, sobre muestras del mismo agregado grueso, no deberán diferir el uno del otro en más del 12.7 % de su promedio.

El coeficiente de variación de operadores individuales, se encontró que es el 2.5.

Los resultados de dos ensayos bien ejecutados sobre el mismo agregado grueso, no deberán diferir el uno en más del 5.7 % de su promedio.

Las esferas de fundición, serán de un diámetro entre 46.38 mm y 47.63 mm y un peso comprendido entre 390 g y 445 g.

POSIBLES ERRORES

El no cumplimiento de los parámetros y especificaciones del ensayo.

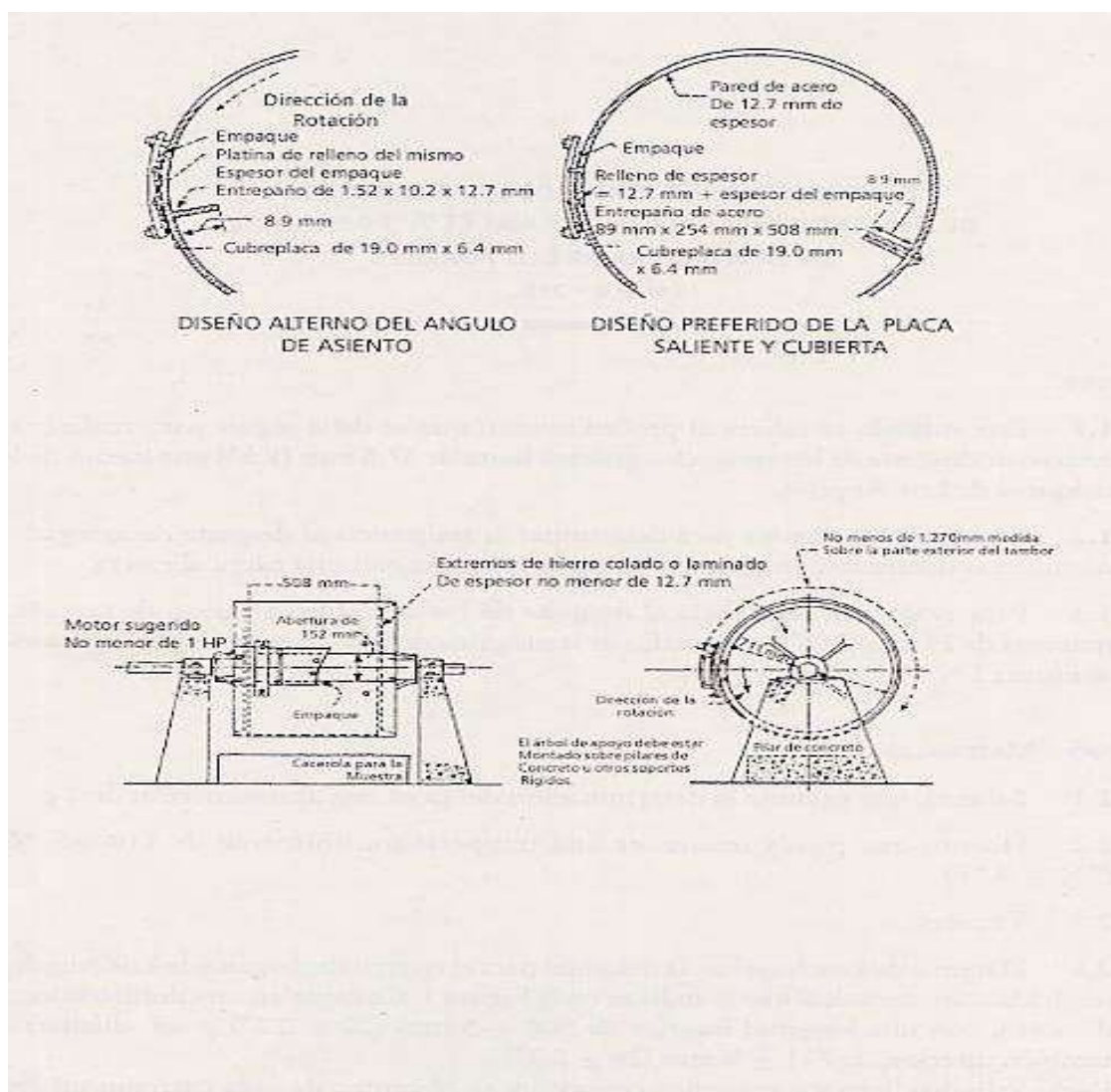
El uso indebido del equipo de desgaste de los ángeles.

La pérdida de material en cualquier circunstancia del proceso de preparación o durante el ensayo.

Programación errada del número de revoluciones del equipo.

ANEXO A

ESPECIFICACIONES GENERALES DE LA MÁQUINA LOS ÁNGELES



ANEXO B

Tabla N° 1. Granulometrías representativas de los agregados, para selección del método de ensayo a usar.

TAMAÑO DEL CEDAZO		ASTM C 131				ASTM C 535		
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	1	2	3
3"	2½"					2500±50		
2½"	2"					2500±50		
2"	1½"					5000±50	5000±50	
1½"	1"	1250±25					5000±25	5000±25
1"	¾"	1250±25						5000±25
¾"	½"	1250±10	2500±10					
½"	⅜"	1250±10	2500±10					
⅜"	¼"			2500±10				
¼"	N° 4			2500±10				
N° 4	N° 8				5000±10			
TOTAL PESO, g		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±100	10000±75	10000±50
N° DE ESFERAS		12	11	8	6	12	12	12
REVOLUCIONES		500				1000		

H0113 Método de ensayo para determinar el equivalente de arena

- NORMA** : A.S.T.M. D 2419-99 / COVENIN 1123 / A.A.S.T.H.O. T 176/ NLT- 113-92 / I.N.V.E. 107-98 / FLNV MVAG-33
- OBJETIVO** : El objeto de este ensayo es descubrir la presencia de excesos de material nocivo que pasa el tamiz N° 200.
- ALCANCE** : Este ensayo permite obtener la proporción en porcentajes cualitativamente del contenido de polvo fino o material arcilloso que contienen los suelos o agregados.
- COMENTARIOS** : Cuando se realice el ensayo evite exponer la probeta a la acción directa a la luz solar.
- DURACIÓN** : Con práctica se puede hacer el ensayo en el Laboratorio en 40 min., después de tener la muestra preparada.

**EQUIPOS
REQUERIDOS**



Figura 1 Equipos y materiales requeridos



Figura 2 Equipos requeridos

- **PROBETA ESTÁNDAR:** DE 38 cm. Tres probetas.
- **BARRA ESTÁNDAR DE MEDICIÓN**
- **TUBO IRRIGADOR:** De cobre o latón el cual debe estar unido por una manguera con el sifón.
- **HORNO ELÉCTRICO:** Capaz de mantener una temperatura constante de 105°C a 110°C.
- **RELOJ CONTADOR Y CRONÓMETRO**
- **CUARTEADOR:** Del tipo CONTROLS 5-D 431
- **EQUIPO AGITADOR:** Capaz de dar 90 ciclos en 30 seg en un recorrido horizontal de 20 cm (1ciclo es un recorrido de ida y vuelta o sea de izquierda a derecha y de derecha a izquierda).
- **FRASCO O ENVASE:** De plástico o de vidrio, de unos 4 Lts de capacidad, con sifón acoplado en un tapón, con dos tubos que lo atraviesan, uno de ellos sumergidos sobre el líquido y el otro sobre su nivel para la entrada de aire. En el cual se verterá la solución de ensayo.

- **TAPONES DE GOMA**
- **ESPÁTULA Y CUCHARA**
- **SOLUCIÓN CONCENTRADA DE CLORURO DE CALCIO (NaCl)**
- **SOLUCIÓN DE ENSAYO:** Preparada con 88 ml de solución concentrada mezclada con 3697 ml de agua destilada o desmineralizada para completar un galón (3785 ml).
- **TAMIZ:** No 4
- **ENVASES:** De 85 ml (3 onzas) de capacidad de bronce, latón o aluminio.
- **EMBUDO PLÁSTICO**

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

- a. Del material a ensayar, obtenga por medio de cuarteo, una porción representativa necesaria para el ensayo.



Figura 3 Horno utilizado en el ensayo

- b. Seque dicha muestra en el horno a peso constante a una temperatura de 105°C a 110°C, **(véase figura 3)** y luego deje enfriar a temperatura ambiente.
- c. Se tamiza la muestra por el tamiz No 4, para así obtener muestra pasa No. 4 (véase figura 4).
- d. Se Cuarteo la muestra para llenar tres envases de 85 ml (véase figura 5).
- e. Llene el envase con el agregado hasta que se rebose (véase figura 6).
- f. Enrase el material cuidadosamente con una espátula **(véase figura 7)**.



Figura 4 Tamizado de la muestra en tamiz Nº 4



Figura 5 Cuarteo de la muestra tamizada

Figura 6 Llenado del envase



Figura 7 Enrasado del material

NOTA 2: Es recomendable antes de enrasar el material producir una ligera compactación, mediante pequeños golpes, del envase con la superficie del mesón o de trabajo.

- g. Se debe obtener tres muestras de un mismo suelo o agregado para realizar el ensayo, como se aprecia en la figura 8.
- h. Antes de iniciar la ejecución del ensayo debe cerciorarse que existe un efecto de sifonado al abrir el pasador del tubo irrigador, si no es así, se debe soplar el tubo de salida (sifón).
- i. Se procede a llenar la probeta estándar con la solución de ensayo hasta la marca de 10 cm (véase figura 9).
- j. Con la ayuda de un embudo, se vierte el agregado o suelo en la probeta estándar, como se aprecia en la **figura 10**.



Figura 8 Obtención de tres muestras



Figura 9 Llenado de la probeta con la solución de ensayo



Figura 10 Adición del agregado en la probeta de ensayo

- k. Se debe golpear el fondo de la probeta con la palma de la mano y se la hace girar para expulsar las burbujas de aire y humedecer completamente la muestra (véase figura 11).
- l. Se procede a dejar en reposo tres probetas con las muestras de agregado recolectadas (véase figura 12) por un tiempo de tres minutos.
- m. Transcurridos los 10 minutos, se procede a insertar un tapón en la probeta para evitar pérdida de material y se coloca está en la mordaza del equipo agitador (**véase figura 13**). Se selecciona el tiempo (30 seg), y se activa el equipo para iniciar la agitación.



Figura 11 Expulsión de las burbujas de aire de la probeta



Figura 12 Muestras en reposo



Figura 13 Equipo agitador con la muestra

NOTA 3: Cuando no se disponga de un equipo agitador mecánico, la agitación se podrá realizar manualmente, desplazando la probeta horizontalmente a una distancia de 20 cm y a una velocidad de 90 ciclos en 30 seg. Un ciclo corresponde a un recorrido de ida y vuelta.

- n. Después de la agitación se retira la probeta del equipo agitador y se coloca sobre el mesón de trabajo, para proceder a retirar el tapón de la probeta, como se aprecia en la figura 14. Se debe abrir el paso del líquido (solución) aflojando el pasador (llave) del tubo irrigador y lavando el tapón de manera tal, que el material adherido después de la agitación caiga dentro de la probeta.

NOTA 4: El frasco que contiene la solución de ensayo debe estar entre 90cm a 1 m de altura de la superficie del mesón de trabajo.

- o. Se debe lavar las paredes de la probeta con un tubo irrigador para reducir al mínimo la pérdida de material, como se aprecia en la figura 15.
- p. Se debe introducir el tubo irrigador hasta el fondo de la probeta y lavar el material haciéndolo suspender mientras se mantiene la probeta inclinada, como se aprecia en la **figura 16**, aplicando al tubo irrigador, un movimiento suave, ascendente y descendente mientras se gira la probeta.

Cuando se considere que el material este completamente limpio (se suspende todo el material fino), se mantiene el tubo irrigador en el fondo, en posición vertical hasta que el líquido se aproximé a la marca de 38 cm, el irrigador se va retirando pausadamente hasta completar dicha marca.



Figura 14 Extracción y lavado del tapón



Figura 15 Lavado de las paredes de la probeta



Figura 16 Introducción del tubo irrigador al fondo de la probeta

NOTA 5: Al concluir el lavado del material debe asegurarse que las graduaciones de la probeta queden frontalmente para poder tomar las lecturas.

- q. Se procede a dejar las probetas en reposo por 20 minutos, en ese lapso las probetas no deben moverse y el mesón sobre el cual están debe estar libre de vibraciones (**véase figura 17**).

A cada probeta se le mide el tiempo para que cada una tenga 20 minutos de reposo \pm 15 seg.

- r. Transcurrido los 20 minutos se lee el nivel superior y se anota esta lectura como LECTURA DE SUSPENSIÓN (véase figura 18)
- s. Se introduce cuidadosamente la barra estándar en la probeta, hasta que se asiente suavemente encima del sedimento por su propio peso, sin tocar las paredes de la probeta al bajar la barra, como se observa en la figura 19.
- t. Se toma la lectura donde se ve uno de los tornillos al pie de la barra. Si este punto en el pie de la barra no es visible, se hace girar hacia las graduaciones de la probeta para poder distinguir el tornillo y hacer la lectura. Se anota esta lectura como LECTURA DE SEDIMENTACION. En la **figura 20** se indica la lectura de sedimento.



Figura 17 Probetas en reposo



Figura 18 Lectura de suspensión



Figura 19 Barra estándar dentro de la probeta



Figura 20 Lectura del Sedimento de arena

CÁLCULOS

El valor equivalente de arena (E.A.) se deduce de la siguiente fórmula:

$$E.A. (\%) = \frac{\text{Lectura de sedimentación}}{\text{Lectura de suspensión}} \times 100 \quad (1)$$

Lectura de suspensión

Si el valor de resultado no es un número entero, se redondea la fracción al número in-

mediato superior.

Ejemplo:

Tabla 1 Lecturas de Suspensión y de Sedimentación de un Equivalente de Arena

LECTURA SUSPENSION a	LECTURA SEDIMENTACION b	EQUIVALENTE DE ARENA (b/a)*100
14,80	9,60	65,00
14,60	9,60	66,00
14,40	9,40	66,00
	PROMEDIO	66,00

Del cuadro anterior se tiene:

- a) El primer ensayo da como resultado: 64.9 - se redondea al entero próximo superior = 65.0
- b) El segundo ensayo da como resultado: 65.8 - se redondea al entero próximo superior = 66.0
- c) El tercer ensayo da como resultado: 65.3 - se redondea al entero próximo superior = 66.0
- d) El promedio da como resultado: 65.6 - se redondea al entero próximo superior = 66.0

RESULTADOS

Los resultados no deben variar ± 4 puntos con respecto al promedio con estos ensayos.

H0114 Método de ensayo para determinar la disgregabilidad de los sulfatos

- NORMA** : A.S.T.M. C88 / A.A.S.T.H.O. T 104
- OBJETIVO** : Determinar la resistencia a la desintegración de los áridos por la acción saturada de sulfato de magnesio ($MgSO_4$), cuando son sometidos a la acción de los agentes atmosféricos.
- ALCANCE** : Determinar la fuerza expansiva interna que puede sufrir un agregado, derivada de la rehidratación de la sal generada en las inmersiones (simula el proceso de expansión del agua cuando se hiela) en las condiciones que pudiera darse en obra, por lo que el método proporciona información sobre la resistencia del árido a la intemperie.
- DURACIÓN** : El proceso alternativo de inmersión y desecación de la muestra se prosigue hasta complementar el número de ciclos que determine la especificación aplicable al respecto, normalmente cinco (5) días.
- EQUIPOS REQUERIDOS** :



Figura 1 Equipos requeridos para el ensayo

- **Tamices:** que cumplan las especificaciones, que para los mismos se refieren en la norma Agregado Fino: 3/8" (9.5 mm), #4, #8, #16, #30, #50, #100. Agregado Grueso: 2½" (63,5 mm), 2" (50,8 mm), 1½" (38 mm), 1¼" (32 mm), 1" (25,4 mm), ¾" (19 mm), 5/8" (15,9 mm), 5/16" (7,9 mm), ½" (12.5 mm), 3/8" (9,5mm), #4, #5/16.
- **Tanque de Inmersión:** el tanque tendrá un volumen de al menos cinco (5) veces el volumen de la muestra sumergida de árido para ensayo.
- **Regulador de la temperatura:** se dispondrá de un medio para mantener y regular la temperatura de las muestras de ensayo $21^{\circ}C \pm 1^{\circ}C$, durante la inmersión en las soluciones de sulfato de magnesio.
- **Recipientes:** para contener y sumergir los áridos en la solución de sulfato.
- **Balanza:** con capacidad de 5 kg y sensibilidad de ± 1 g.
- **Horno:** que pueda alcanzar y mantener una temperatura de $110^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$.
- **Solución:** la disolución de sulfato de magnesio se prepara disolviendo en (1) litro de

agua destilada 350 g de sulfato de magnesio.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- a. Tamaño de las muestras: la muestra del agregado se obtiene y reduce, de acuerdo con lo que a tal fin se especifica en la norma (*véase figura 2*).



Figura 2 Muestra de agregado fino y grueso para ensayo

- b. **Agregado Fino:** la muestra de árido fino debe cumplir con los tamices, señalados en la tabla siguiente:

Tabla N°1 Tamices a ser utilizados de acuerdo al peso en agregado fino

PASA POR TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	PESO A ENSAYAR (g)
3/8" (9,5 mm)	# 4	100
# 4	# 8	100
# 8	# 16	100
# 16	# 30	100
# 30	# 50	100
# 50	# 100	100

- c. **Agregado Grueso:** la muestra de árido grueso debe cumplir con los tamices, señalados en la tabla siguiente:

Tabla N°2 Tamices a ser utilizados de acuerdo al peso en agregado grueso

PASA POR TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	PESO A ENSAYAR (g)
2 1/2"	2"	3000 ± 300
2"	1 1/2"	2000 ± 200
1 1/2"	1"	1000 ± 50
1"	3/4"	500 ± 30
3/4"	1/2"	670 ± 10
1/2"	3/8"	330 ± 5
3/8"	# 4	300 ± 5

PREPARACIÓN: la muestra de árido fino se lava bien sobre un tamiz # 50, (*véase figura 3*) y se seca en un horno a 110°C ± 5°C hasta peso constante y se separa en fracciones por los tamices que se señalan en la tabla N° 1. La muestra de árido grueso se lava bien (*véase figura 4*) y se seca a 110°C ± 5°C hasta masa constante y se separa en las diferentes fracciones referidas en la tabla N° 2.



Figura 3

Lavado de la muestra de agregado fino grueso



Figura 4

Lavado de la muestra de agregado grueso

NOTA 1: Durante el lavado se debe evitar someter las partículas a impacto y fro-
tamientos que puedan facilitar su fractura.

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

A. INMERSIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO EN LA SOLUCIÓN:

se sumerge la muestra de ensayo en la solución de sulfato de magnesio durante un periodo de tiempo comprendido entre 16 y 18 horas. El nivel de la solución de sulfato en los recipientes debe ser tal, que cubra los agregados (*véase figura 5*). Se debe cubrir el tanque para evitar la evaporación y eventuales contaminaciones con sustancias extrañas. La temperatura de la solución y de la muestra sumergida durante todo el tiempo de inmersión deberá ser de $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ (*véase figura 6*).



Figura 5 Inmersión de muestras en sulfato de magnesio



Figura 6 Verificación de temperatura de ensayo

B. SECADO DE LAS MUESTRAS DESPUES DE LA INMERSION:

Después del periodo de inmersión se saca la muestra de la solución de sulfato, dejándola escurrir durante $15 \text{ minutos} \pm 5 \text{ minutos}$, introduciéndola seguidamente en el horno para su secado. La temperatura del horno debe estar regulada a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Se secan las muestras hasta masa constante.

Una vez que las muestra han alcanzado la masa constante, se extraen del horno (**véase figura 7**), se dejan enfriar hasta una temperatura de 20°C a 25°C y luego se procede a sumergirla nuevamente en la solución de sulfato de magnesio.

C. CICLOS DE INMERSION - SECADO:

Preferiblemente, el ensayo se realiza sin interrupciones hasta completar los cinco (5) ciclos requeridos. Sin embargo, si ineludiblemente se interrumpe el proceso, las muestras se deberán dejar en el horno a 110°C ± 5°C, hasta que el ensayo se reanude.

D. EXAMEN CUANTITATIVO:

Después de terminado el último ciclo y enfriada la muestra, se lava hasta que quede exenta de sulfato.

La bondad del lavado se comprueba con una porción del agua del lavado, después de pasar a través de la muestra, a la que se añade unas gotas de cloruro de bario al 5% (véase figura 8), si el agua se torna lechosa con la adición del cloruro se sigue lavando el agregado hasta reacción negativa.

Eliminado el sulfato por lavado, se seca la muestra en el horno a temperatura de 110°C ± 5°C, hasta masa constante y se anotan en el formato de ensayo.



Figura 7 Secado de muestra en horno



Figura 8 Adición de cloruro de bario a muestra de agua del ensayo



Figura 9 Lavado de muestra después de inmersión

Se tamiza el agregado fino por los tamices especificados en la tabla 3:

Tabla 3 Tamices para determinar la pérdida de agregado fino en el ensayo

Pasa por tamiz	Retenido en tamiz	Pasa tamiz
3/8"	#4	#4
#4	#8	#8
#8	#16	#16
#16	#30	#30
#30	#50	#50
#50	#100	

El tamizado del agregado grueso se efectúa a mano, asegurándose de que todo el material inferior pase por los tamices designados en la tabla 4:

Tabla 4 Tamices para determinar la pérdida de agregado grueso en el ensayo

Pasa por tamiz	Retenido en tamiz	Pasa tamiz
2 ½"	2"	1 ¼"
2"	1 ½"	
1 ½"	1"	5/8"
1"	¾"	
¾"	½"	5/16"
½"	3/8"	
3/8"	#4	#5

NOTA 2: Debe evitarse el paso forzado de las partículas por el tamiz.

Se debe determinar y anotar la masa retenida en cada tamiz. La diferencia entre cada una de estas masas y las iniciales correspondientes a cada fracción de la muestra ensayada; es la pérdida de material producida en el ensayo y se expresa como porcentaje de la masa inicial utilizada.

1. EXAMEN CUALITATIVO: se efectuará un examen cualitativo de las muestras ensayadas de tamaño superior a ¾" (19 mm), de acuerdo con el siguiente criterio:

- a) Se observará el efecto que produce la acción de los sulfatos y se deberán separar las partículas de cada fracción en grupos en función del efecto causado por el ensayo.
- b) Se anota el número de partículas que presentan el mismo tipo de deterioro.
- c) La acción de los sulfatos puede manifestarse de diversas maneras: Agrietamiento, formación de lascas, resquebramiento, desmenuzamiento, descacaramiento, etc.

Aunque esta evaluación se realiza para las partículas de tamaño ¾" (19 mm), se recomienda evaluar los tamaños inferiores para observar si presentan resquebramiento excesivo.

CÁLCULOS Y RESULTADOS

La hoja de resultados incluirá la siguiente información:

- Masa de cada fracción de cada muestra antes del ensayo.
- Masa de cada fracción de la muestra que pasa el tamiz designado, después del ensayo y expresada como porcentaje de la masa original de la fracción.
- Pérdida media calculada a partir de los porcentajes de pérdida de cada fracción y en función de la granulometría de la muestra tal como recibida en laboratorio o, preferiblemente, en función de la granulometría media del de que se obtuvo la muestra enviada al laboratorio.
- En los agregados finos (con 10% o menos del árido superior a 3/8" (9,5mm) se asume que los tamaños superiores a 3/8" (9,5 mm) presentan la misma pérdida que la de la fracción inferior más próxima de la que se disponga de datos de ensayo.
- En los agregados gruesos (con menos de 10% inferior a #4) se asume que los tamaños inferiores a #4 presentan la misma pérdida que la de la fracción superior más próxima de la que se disponga de datos de ensayo.

- En los agregados que contengan cantidades significativas de ambos materiales, finos y gruesos, que se han ensayado como dos muestras distintas, se calculan las pérdidas medias, separadamente, para las fracciones superior e inferior a #4, en función de las granulometrías recalculadas, considerando 100% la fracción gruesa.
- En el cálculo de la masa media, aunque su masa represente menos del 5% de la muestra, como si tuvieran la misma pérdida que la media de las mismas fracciones más próximas inferior y las más próximas superior o, si falta algunas de esas fracciones, la misma pérdida que la fracción más próxima superior o inferior, de la que esté presente.
- El resultado del ensayo, pérdida media, se expresa redondeando al número entero más próximo.
- Si la muestra contiene partículas superiores a 3/4" (19 mm) se referirá: el número de partículas en cada fracción antes del ensayo, y (2) el número de partículas alteradas, clasificadas como: desintegradas, rotas o hendidas, desmenuzadas y agrietadas.

PRECISIÓN

Se indica la precisión del ensayo para el agregado grueso en el campo de valores de pérdida comprendido entre 9% y 20% en el caso de soluciones de sulfato de magnesio.

INFORME

En el informe se deberá reflejar la siguiente información:

- Peso de cada fracción de las muestras antes del ensayo.
- Pérdida media, calculada por medio del tanto por ciento de pérdida de cada fracción, teniendo en cuenta la granulometría original de la muestra.
- En estos cálculos los tamaños inferiores al tamiz N° 50, se supone no debieran presentar pérdidas.

H0121 Método de ensayo para determinar el índice de aplanamiento y alargamiento de los áridos para carreteras.

- NORMA** : A. S. T. M. D 4791-99 NLT-354/90
- OBJETIVO** : El objeto de este método es describir el procedimiento a seguir para la determinación del porcentaje de caras largas y aplanadas de los agregados que van a ser empleados en la construcción de carretera.
- ALCANCE** : Este método de ensayo da como resultado las partículas largas y aplanadas de los agregados, que son perjudiciales para las mezclas asfálticas
- DURACIÓN** : Con práctica en el Laboratorio se puede hacer el ensayo en 2 Horas.

**EQUIPOS
REQUERIDOS** :



Figura 1 Equipos requeridos para el ensayo

- **Balanza:** Con capacidad adecuada y una sensibilidad de 0.1 grs.
- **Tamices:** 1 1/2" (37,5 mm), 1 1/2" (37,5 mm), 1" (25,4 mm), 3/4" (19 mm), 1/2" (12,5 mm) y 3/8" (9,5 mm), dependiendo de la gradación del agregado.
- **Espátula o cuchara de albañil:** Para la separación del agregado.
- **Bandejas:** De fondo plano y diversos tamaños.
- **Vernier:** Que permita una apreciación de por lo menos 0,5 mm.

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

NOTA 1: Las partículas alargadas y planas son perjudiciales ya que tienden a romperse y degradarse bajo el efecto de compactación y del tráfico por esto se exige un porcentaje mínimo de 5%.

- a. Se debe homogenizar la muestra a ensayar como se aprecia en la **figura 2**.
- b. La muestra para el ensayo se obtendrá, por medio de un cuarteo del total del material

recibido. (Véase figura 3).

- c. De las muestras obtenidas por el cuarteo se separan por los tamices $1\frac{1}{2}$ " a $3/8$ ", descartando el material que retenga en el tamiz $1\frac{1}{2}$ " y pase el tamiz $3/8$ ". (Véase figura 4).



Figura 2 Homogenizar la muestra

Figura 3 Cuarteo de muestra

Figura 4 Tamizado de la muestra

- d. Se debe pesar la muestra a ensayar y dicho peso se registrará como peso total de muestra. (Véase figura 5)
- e. Se extiende la muestra en un área suficientemente grande, para visualizar las partículas alargadas y planas del agregado (Véase figura 6).
- f. Se debe medir el largo de la partícula con un calibrador (vernier), como se aprecia en la figura 7 y anotar dicho valor en la planilla de ensayo.



Figura 5 Peso total de muestra



Figura 6 Extendido del agregado



Figura 7 Medición del largo de la partícula

- g. Se debe medir el espesor con un calibrador (vernier), de la partícula y registrar el valor en la planilla de ensayo (véase figura 8).

NOTA 2: El resultado del ensayo se expresará como el porcentaje de partículas cuya dimensión máxima y la mínima, sea mayor de 5, es decir largo vs espesor.



Figura 8 Medición del espesor de la partícula

CÁLCULOS

Determinación del cociente de longitud máxima entre longitud mínima de cada partícula.

$$C = L / E > 5 \quad (1)$$

Dónde:

C = Cociente

L = LARGO (Longitud máxima)

E = ESPESOR (Longitud mínima)

Ejemplo 1:

$$L = 5,3 \text{ cm}$$

$$E = 1,5 \text{ cm}$$

$$C = \frac{5,3 \text{ cm}}{1,5 \text{ cm}} = 3,5$$

NOTA 3: Luego de realizar los cálculos antes mencionados, se procede a pesar las partículas alargadas y aplanadas, y se registra como peso de partículas alargadas y aplanadas (**véase figura 9**).



Figura 9 Peso de partículas alargadas y aplanadas

D.1.Determinación del porcentaje de caras largas y aplanadas (%).

$$\% = \frac{\text{Peso de caras largas y aplanadas}}{\text{Peso total de muestra}} \times 100 \quad (2)$$

Tabla 1 Relación del tamaño máximo nominal vs. peso mínimo de la partícula

Tamaño Máximo Nominal de la Partícula (pulg.)-(mm)	Peso Mínimo de la Partícula (Kg)
3/8" (9,5)	1,0
1/2" (12,5)	2,0
3/4" (19,0)	5,0
1" (25,0)	10,0
1 1/2" (37,5)	15,0
2" (50,0)	20,0
2 1/2" (63,0)	35,0

SECCION 6.3.3.17.

**ANEXO II
 CEMENTO PARA HORMIGÓN DE USO
 VIAL.**

Composición, características, evaluación de la conformidad y condiciones de recepción conforme a la Norma Paraguaya NP 17 044 80

OBJETO

Este anexo especifica los componentes de los cementos para hormigones de uso vial, basados en Clinker de cemento portland, y las proporciones en que deben combinarse para producir una serie de tipos y clases de cemento.

Específica, asimismo, las exigencias mecánicas, físicas y químicas aplicables a estos tipos y clases de cemento, y establece sus condiciones de recepción.

TIPOS, DESIGNACION Y COMPOSICION DE LOS CEMENTOS

Los cementos conformes con esta norma se subdividen en seis tipos de acuerdo con lo indicado en la tabla 1.

TABLA 1 - TIPOS DE CEMENTO ⁽¹⁾

TIPO	CEMENTOS	CATEGORIAS	IDENTIFICACION
CPI	Portland Común	32	CPI-32
		40	CPI-40
CPII-C	Portland Compuesto	32	CPII-C32
		40	CPII-C40
CPII-F	Portland con Filler Calizo	32	CPII-F32
		40	CPII-F40
CPIII	Portland Siderúrgico	25	CPIII-25
		32	CPIII-32
CPIV	Portland Puzolánico	32	CPIV-32
CPV ARI	Portland Alta Resistencia Inicial	-	CPV-ARI

Norma Paraguaya NP 17 044 80

TABLA 2 – COMPOSICION DE CEMENTOS

CEMENTO TIPO	IDENTIFICACION	CLINKER + YESO (%)	PUZOLANA P (%)	ESCORIA E (%)	FILLER CALIZO F (%)
Portland Común	CPI	95-100	5-0	5-0	5-0
Portland Compuesto	CPII-C	79-65	Dos o tres componentes (P+E+F) 21%-35%		

Portland con Filler Calizo	CPII-F	94-80	-	-	6-20
Portland Siderúrgico	CPIII	79-30	-	21-70	-
Portland Puzolánico	CPIV	85-50	15-50	-	-
Portland Alta Resistencia	CPV-ARI	100-95	0-5	0-5	0-5

Norma Paraguaya NP 17 044 80

REQUISITOS

D.1. Forma de entrega.

Los cementos se deben entregar a granel o envasados en bolsas de papel u otro material que asegure una eficiente protección del producto.

D.2. Contenido.

Cuando los cementos se entreguen envasados, el contenido neto nominal de cada bolsa debe ser el indicado en el rotulado.

TABLA 3 - REQUISITOS QUÍMICOS

Característica	Tipo de cemento	Requisito	Unidad
Perdida por calcinación (máximo)	CPI	5,0	g/100 g
	CPIII	5,0	
	CPIV	6,5	
	CPII-F	11,5	
	CPII-C	11,5	
Residuo insoluble (máximo)	CPI	5,0	
	CPIII	5,0	
	CPII-F	9,0	
	CPII-C	20,0	
	CPIV	20,0	
Trióxido de azufre (SO ₃) (máximo)	CPI	3,5	
	CPII-F		
	CPIII		
	CPII-C		
	CPIV		
Óxido de magnesio (MgO) (máximo)	CPI	6,0	
	CPIV	6,0	
	CPII-F	7,0	
	CPIII	-	
	CPII-C	-	
Cloruro (Cl') (máximo)	CPI	0,10	
	CPII-F		
	CPIII		
	CPII-C		
	CPIV		
Sulfuro (S ²⁻) (máximo)	CPI	0,10	
	CPII-F		
	CPIV		
	CPIII	0,30	
	CPII-C		
Coefficiente puzolánico	CPIV	Menor que 1,0	

1. Requisitos físicos y mecánicos. Los cementos deben cumplir con los requisitos indicados en la tabla 4.

TABLA 4-CARACTERISTICAS FISICAS Y MECANICAS

		Cemento Portland Común		Cemento Portland Compuesto		Cemento Portland con Filler Calizo		Cemento Portland Siderúrgico		Cemento Puzolánico	Cemento Portland Alta Resistencia Inicial	
Tipo		I		II				II		IV	V	
Categoría		32	40	32	40	32	40	25	32	32	45	
Identificación		CPI-32	CPI-40	CPII-C32	CPII-C40	CPII-F32	CPII-F40	CPIII-25	CPIII-32	CPIV-32	CPV-ARI	
Finura	Residuo Tamiz INTN 200 (% Max)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
	Blaine Min (cm ² /g)	2800	3000	2800	3000	2800	3000	-	-	2800	3200	
Tiempo de fraguado	Inicio Min (Minutos)	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	
	Inicio Min (Minutos)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Expansión autoclave % Max		1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	
Contracción al secado Max 28 días		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Retención de agua % Min		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Aire incorporado % Min		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Resistencia en MPa Valores mínimos	Compresión	2 días	-	-	-	-	-	-	-	-	20	
		3 días	-	-	-	-	-	-	-	-	27	
		7 días	20	25	20	25	20	25	15	20	20	40
		28 días	32	40	32	40	32	40	25	32	32	45

NORMA PARAGUAYA NP 17 044 80, Cementos. Especificaciones

2. Requisitos de las adiciones. Las adiciones de los cementos deben cumplir con los requisitos indicados en la tabla 5, según corresponda.

Tabla 5 - Requisitos de las adiciones

Adición	Requisito	Unidad	Min.	Max.
"Filler" calcáreo	Óxido de calcio (CaO) expresado como carbonato de calcio (CaCO ₃)	g/100 g	75,0	---
	Arcilla		---	1,2
	Carbono orgánico total		---	0,50
	Perdida por calcinación		33,0	---

Escoria de alto horno	Sulfuro, expresado como S	g/100 g	---	1,5
	Relación (CaO+MgO+Ab03) /SiO ₂	---	1,0	---
	índice de vitrificación	g/100 g	90	---
Puzolana (*)	Actividad puzolánica con cemento portland	%	75	---
Ceniza volante silícea (*)	Actividad puzolánica con cemento portland	%	75	---
	Perdida por calcinación	g/100 g	---	10
(*) La actividad puzolánica con cemento portland se debe medir en una mezcla de cemento portland normal con una adición de 25% de la puzolana o de la ceniza volante silícea por evaluar, previamente secada, molida a la superficie equivalente del cemento ± 20 m ² /kg.				

Los cementos para uso vial se deben identificar del siguiente modo:

- a) tres letras que indican el tipo de cemento, referido a su composición, tal como se indica en la tabla 1
- b) dos dígitos que indican la categoría de resistencia a la que pertenece el cemento (32 , 40 o 45)

MARCADO, ROTULADO Y EMBALAJE

Marcado y rotulado

3. Los envases deben llevar impresos directa mente y en caracteres legibles e indelebles, además de lo exigido por las disposiciones legales vigentes, las indicaciones siguientes:
 - a) la marca registrada o el nombre y apellido o la razón social del fabricante;
 - b) la leyenda con la denominación del tipo de cemento según se indica en la tabla 1 de y la designación, según lo indicado.
 - c) el contenido nominal, en kilogramos;
 - d) la procedencia;
 - e) la mención de la norma;
 - f) en los cementos portland compuestos, se deben indicar los nombres de las adiciones que se hayan incorporado (puzolana o ceniza volante silícea, escoria, “filler” calcáreo) en orden decreciente de contenido;

Quando el contenido individual de las adiciones (puzolana O ceniza volante silícea, escoria, “filler” calcáreo) sea menor que 5% se debe declarar el nombre de la adición correspondiente seguido del texto: *menor que 5%*;

Cuando la diferencia entre los contenidos de las adiciones incorporadas sea menor que 4%, el orden en el cual se las debe indicar, es indistinto;

- g) en los cementos portland puzolánicos, se debe indicar si la adición corresponde a una puzolana o a una ceniza volante silíceas;
 - h) el sello o marca de conformidad con esta norma.
4. Cuando el producto se entregue a granel, las indicaciones mencionadas en 9 se deben hacer constar en el remito.

EVALUACION DE LA CONFORMIDAD

El esquema para la evaluación de la conformidad de cementos para hormigones de uso vial, se realiza según las especificaciones de la NORMA PARAGUAYA NP 17 044 80.

Anexo A (Informativo)

Ensayos de evaluación del desempeño

Debido a las características propias de este tipo de estructura, los hormigones deben tener un adecuado desempeño para minimizar el riesgo de aparición de fisuras no controladas.

Entre los factores que tienen incidencia para controlar la fisuración temprana se encuentran:

- a) un adecuado diseño de juntas y el aserrado oportuno;
- b) un curado eficiente;
- c) la evolución de temperaturas y el gradiente térmico;
- d) la absorción y las restricciones que impone la base;
- e) el diseño de la mezcla de hormigón, capacidad de exudación, contenido de polvo en los agregados, relación agua/cemento, contenido de cemento, desempeño del cemento, y el uso de aditivos.

El estado actual del conocimiento nos permite indicar que, para reducir el riesgo de aparición de fisuras tempranas, los cementos deben poseer resistencias a la compresión y a la flexión a edades tempranas (12 h, 15 h Y 24 h) adecuadas con la exigencia en servicio, así como niveles moderados en las contracciones química y autógena.

Se deben realizar las evaluaciones interlaboratorios necesarias a fin de compartir el conocimiento y las experiencias, unificar los criterios, y obtener reproducibilidad en los resultados, con el fin de generar las condiciones necesarias para normalizar los ensayos de desempeño y poder establecer requisitos en la presente norma.

Se entiende que realizar el ensayo a 15 h en lugar de 12 h es más viable operativamente en virtud que las 12 h impone que alguna de las operaciones (moldeo o ensayo) sea realizada durante la noche. En este sentido se propone trazar curvas de evolución de la resistencia entre 12 h Y 15 h para distintos cementos de uso vial, si este parámetro es similar para los distintos productos, se considera que ensayando a 15 h se reducirá la

dispersión, y mejorará la repetibilidad de resultados dado que es más factible respetar el horario de ensayo, sumado a que las probetas poseerán mayor nivel de resistencia para soportar las exigencias del desmolde.

BIBLIOGRAFÍA

Para el Desarrollo de las **ESPECIFICACIONES** TÉCNICAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO, que comprende los Volúmenes de suelos y agregados, asfalto y hormigón, se basa fundamentalmente en los siguientes textos y normativas vigentes:

MANUAL DE CARRETERAS DE BOLIVIA

Gobierno de Bolivia. Administradora Boliviana de Carreteras

Edición: APIA XXI – Ingenieros y Arquitectos Consultores.

Fecha de Edición: Febrero 2.008

NORMA RODOVIARIA – DNER – BRASIL

Gobierno de Brasil. Ministerio Dos Transportes

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

Fecha de Edición: 2da – Rio de Janeiro, 1.998

MANUAL DE CARRETERAS DE CHILE

Gobierno de Chile. Ministerio de Obras Públicas – Dirección de Vialidad

Edición: LEN y Asociados Ingenieros Consultores Ltda.

Fecha de Edición: Diciembre 2.001

MANUAL DE DISEÑO DE CARRETERAS DE PERÚ – DG-2001

República del Perú. Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción

Fecha de Edición: Marzo 2.001

MANUAL CENTROAMERICANO DE NORMAS PARA CARRETERAS REGIONALES

SIECA - Secretaría de Integración Económica Centroamericana

Proyecto USAID N° 596-0181.20 - Consultor: Raúl Leclair

Fecha de Edición: Febrero 2.001

ROADS DESIGN GUIDE LINES OF SOUTHERN AFRICA

Southern African Development Community (SADC) - BOTSWANA

ISBN 99912-0-456-3

Edición: Julio 2.003

MANUAL DE CARRETERAS DE HONDURAS – SOPTRAVI

República de Honduras. Secretaria de Estado en los Despachos de Obras Públicas, Transporte y Vivienda. Dirección General de Carreteras.

Fecha de Edición: Diciembre 1.996

Además, la revisión de las normas e investigaciones nacionales e internacionales siguientes:

- **AASHTO**, *Standard Specifications for transportation materials and method of sampling and testing.*
- **AASHTO**, *Road test Report and pavement Research -1992.*
- **ASTM** – *American Society for Testing and Materials, Standard Specifications and Practice for Soils and Aggregates – 1999.*
- *Especificaciones Técnicas para la Construcción de Pavimentos de Larga Duración en el Chaco Paraguayo.-Texas Transportación Institute (TTI), Universidad Católica de Asunción (UCA), Universidad Nacional de Asunción (UNA), -USTDA, BID, 2008.-*
- *Federal Highway Administration, 1994, SUPERPAVE, Binder Test Methods and Illustrated Overview, DP 101, USA.*
- *Guías para la Construcción de Pavimentos de Larga Duración en el Chaco Paraguayo.-Texas Transportation Institute (TTI), Universidad Católica de Asunción (UCA), Universidad Nacional de Asunción (UNA), -USTDA, BID, 2005.-*
- *Hardin, C, 1995, Physical Properties of Asphalt Cement Binders, ASTM Publications, USA.*

- *INTN – Instituto Nacional de Tecnología y Normalización, Departamento de Ensayos en Materiales de Construcción.*
- *Manual de Tierras – Earths Manual – Bureau of Reclamation – US Department of Interior, Second Edition -1974.-*
- *Normas Provisorias de Proyectos de Trazados de Caminos, Puentes y Obras de Arte, MOPC-DGV, - Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones-Dirección General de Vialidad (1960).*
- *Norma Argentina IRAM 50002*

También los textos de consulta siguientes:

- *Anderson, J. (1975). Asphalt Emulsions in Paving Mixes: Open graded and Dense graded. (s/e). Asphalt Emulsion L Association.*
- *Ban, S. Y Hardin, J (1978). The Properties of Asphalt Emulsion Residue. (s/e). Atlanta: The Asphalt Institute, College Park, Maryland.*
- *Coyne, L y Ripple, R. (1975). Emulsified Asphalt Mix Design and Construction. (s/e). Washington, D.C: Transportation Research Board Meeting.*
- *Dybalski, J. (1975). Asphalt Emulsions.(s/e). Iowa: Iowa Asphalt Paving Conference.*
- *Epps, J y otros (1977). Use of Asphalt Emulsions in Pavement Recycling.(s/e). Phoenix: Asphalt Emulsion Manufacturers Association.*
- *Espinal, R.(1995). Emulsiones Asfálticas. Su control en obras y aplicaciones. s/e. Falcón: s/e.*
- *Ferm, R y Borgfeldt M (S/F). Cationic Mixing Grade Emulsions. (s/e). U.S.A: Highway Reserch Board.*

- *Fernández M, Hormigón, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puentes, colección Escuelas cuarta edición, (Enero 1996).*
- *German, A y otros (1993). Un Manual Básico de Emulsiones Asfálticas. (1era edición). Colombia: s/e.*
- *Herminirs R. L. Mecánica de Suelos y Dimensionamiento de Firmes – 1968.-*
- *Huffman, J. (1975). Emulsified Asphalt in Paving and Maintenance. (s/e).*
- *Nardelli, Dante Néstor, “Control de Calidad en la ejecución de terraplenes”, Obra Juan de Mena – Ruta 3, (2005).*
- *Neville, A., Properties of Concrete, John Wiley & sons, Fourth Edition, (1996).*
- *Toronto: Canadian Technical Asphalt Association.*
- *Kari, W. (1975). Emulsified Asphalt: Properties and uses. (s/e). U.S.A: Chevron Asphalt Company.*
- *Kennedy, D. (S/F). Emulsion Basics – Mixes. (s/e). Washington, D.C: Asphalt Emulsion Manufacturers Association.*
- *Ramos,N. (1954). Emulsiones Asfálticas. s/e. México: California Standard Oil Company de México.*
- *Rivera, G. (1987). Emulsiones Asfálticas (3era edición). México: Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A.*
- *The Asphalt Institute. College Park Maryland, (1976); Emulsified Asphalt Bases.*
- *The Asphalt Institute. College Park. Maryland, (1975); Typical Uses of Emulsified Asphalt.*

- *The Asphalt Institute; The Asphalt Handbook, Manual Series N° 19 (MS-19), U.S.A*
- *Transportation Research Board. National Cooperative Highway Research Program; Bituminous Emulsions For Highway Pavements, Synthesis of Highway Practice Report N°. 30, Washington, D.C.*
- *Valle Rodas, Raúl – Carreteras Calles y Aeropistas, Sexta Edición (1976).*



