

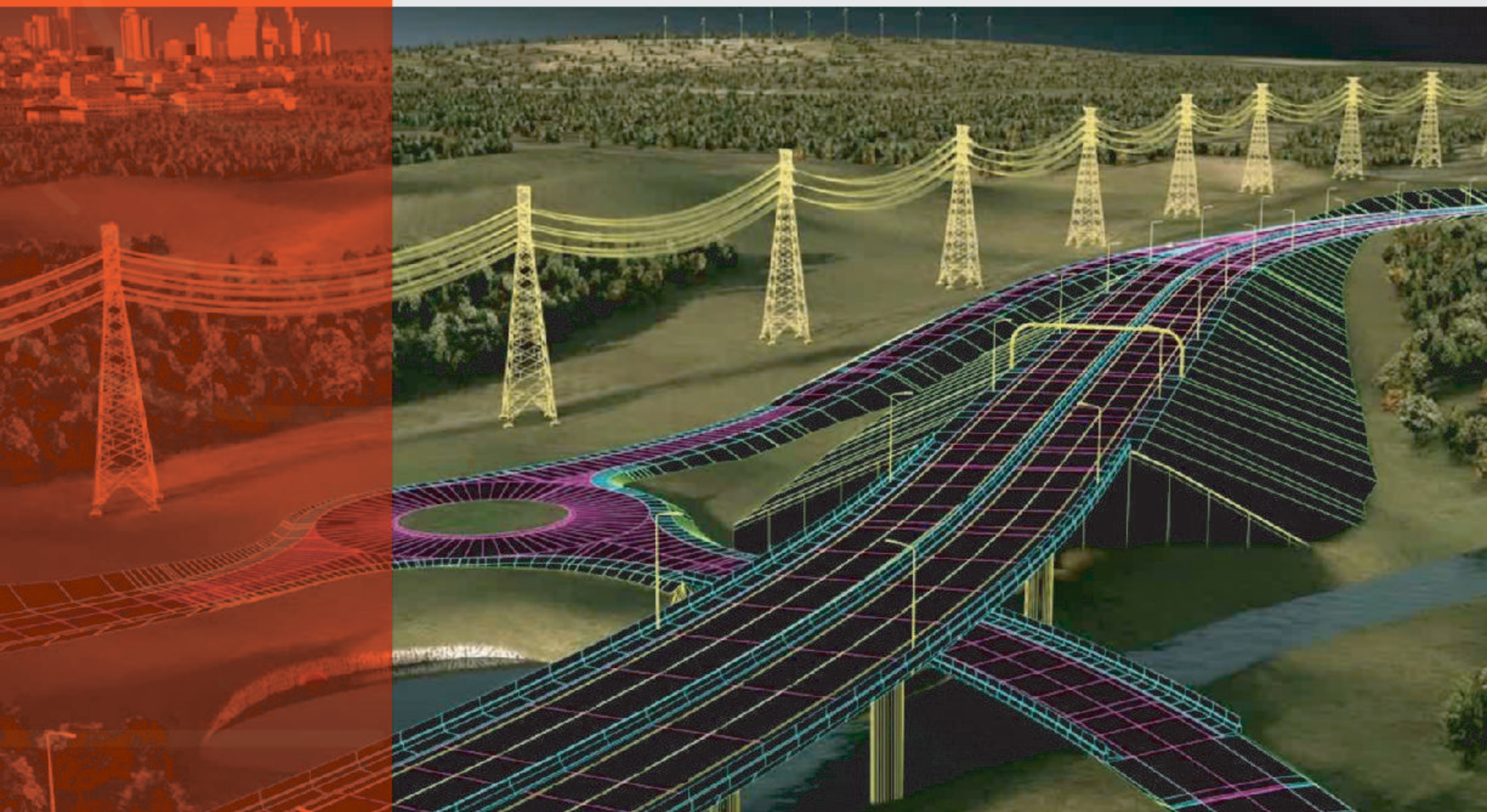


TETÁ REMBIAPO
HA MARANDU
Motenondeha
Ministerio
OBRAS PÚBLICAS
Y COMUNICACIONES

GOBIERNO
NACIONAL

Paraguay
de la gente

Manual de Carreteras del Paraguay



UNIDAD

DISEÑO DE CARRETERAS

3



Revisión 2019



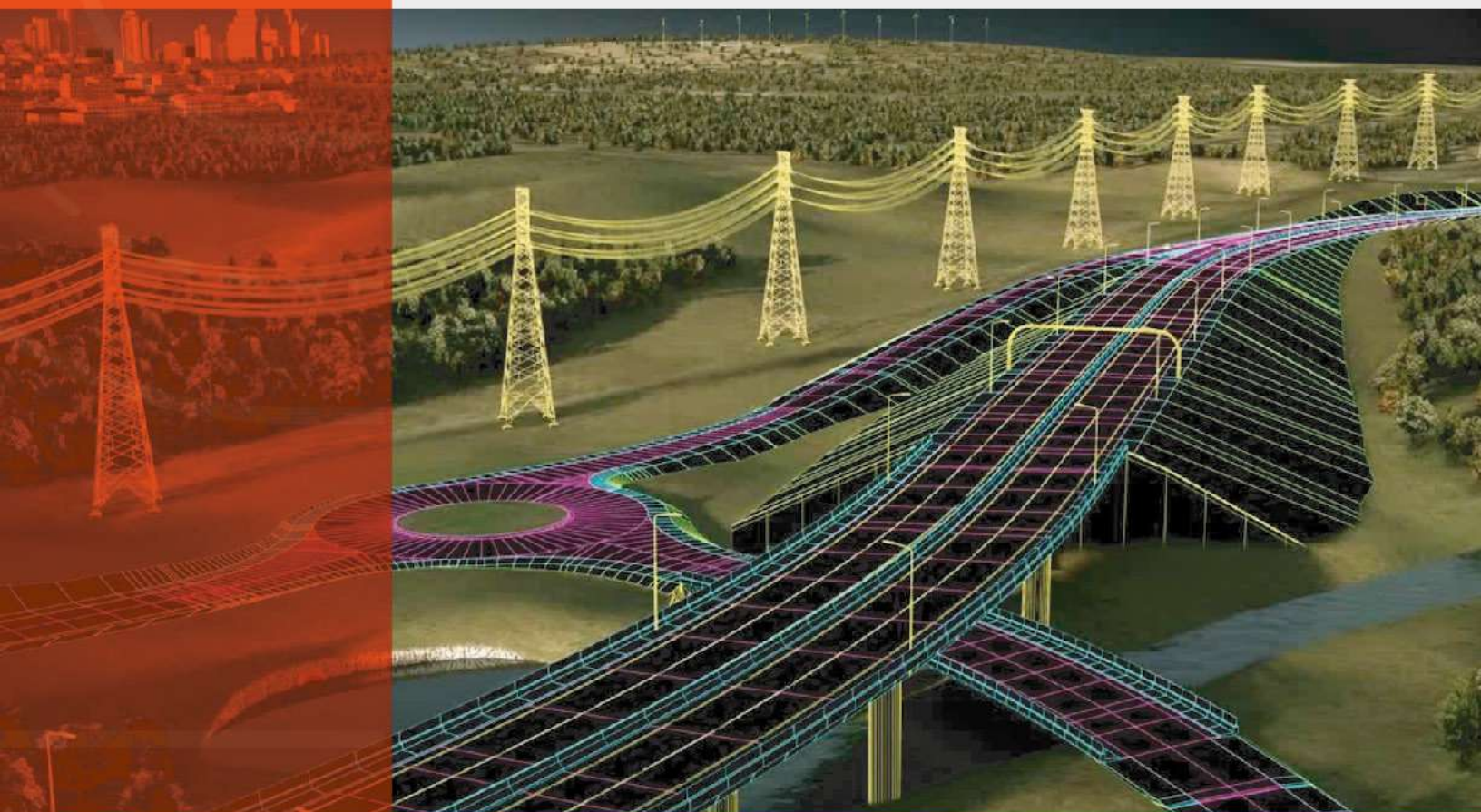
TETÁ REMBIAPO
HA MARANDU
Motenondcha

Ministerio
OBRAS PÚBLICAS
Y COMUNICACIONES

**GOBIERNO
NACIONAL**

*Paraguay
de la gente*

Manual de Carreteras del Paraguay



UNIDAD

3

DISEÑO DE CARRETERAS

Volumen 3.1 - Diseño Geométrico Vial

APC
ASOCIACION PARAGUAYA DE CARRETERAS

WORLD ROAD
ASSOCIATION
MUNDIALE
DE LA ROUTE
COMITÉ
NACIONAL
PARAGUAYO

Revisión 2019

UNIDAD 3 VOLUMEN 3.1
Diseño Geométrico Vial

INDICE

CAPITULO 3.1.1.GEOMETRIA VIAL	10
SECCION 3.1.1.1. ESTUDIOS NECESARIOS PARA EL DISEÑO DE LAS CARRETERAS	11
3.1.1.1.1. ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS	11
3.1.1.1.2. ESTUDIOS DE TRÁNSITO	11
3.1.1.1.3. ESTUDIOS GEOLÓGICOS	11
3.1.1.1.4. ESTUDIOS GEOTÉCNICOS	12
3.1.1.1.5. ESTUDIOS QUÍMICOS DE LOS MATERIALES	12
3.1.1.1.6. ESTUDIOS HIDROLÓGICOS	12
3.1.1.1.7. ESTUDIOS HIDRÁULICOS	12
3.1.1.1.8. ESTUDIOS SOCIO-ECONÓMICOS	12
3.1.1.1.9. ESTUDIOS DEL COMPORTAMIENTO DE TEMPERATURAS	13
3.1.1.1.10. ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL	13
SECCION 3.1.1.2. CONCEPTOS DE SEGURIDAD VIAL	14
3.1.1.2.1. GENERALIDADES	14
3.1.1.2.2. RESTRICCIONES DEL CONDUCTOR	14
3.1.1.2.3. ACCIDENTABILIDAD	16
3.1.1.2.4. ACCIDENTABILIDAD DEBIDO A LA SECCIÓN TRANSVERSAL	18
3.1.1.2.5. ACCIDENTABILIDAD DEBIDO A LA FRANJA DE SEPARACION CENTRAL	21
3.1.1.2.6. ACCIDENTABILIDAD DEBIDO A FACTORES DE DISEÑO	22
SECCION 3.1.1.3. TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE CARRETERAS O CAMINOS	25
3.1.1.3.1. ANTECEDENTES	25
3.1.1.3.2. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES	26
3.1.1.3.3. FILOSOFÍAS DE DISEÑO	27
3.1.1.3.4. TÉCNICAS DE DISEÑO	28
SECCION 3.1.1.4. CONCEPTOS BÁSICOS DE DISEÑO	39
3.1.1.4.1. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO DE UNA CARRETERA O CAMINO	39
3.1.1.4.2. CRITERIOS PARA DEFINIR LAS CARACTERÍSTICAS DE UNA CARRETERA O CAMINO	41
3.1.1.4.3. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN FUNCIONAL PARA EL DISEÑO	61
SECCION 3.1.1.5. CRITERIOS Y CONTROLES BÁSICOS PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS	65
3.1.1.5.1. ASPECTOS GENERALES	65
3.1.1.5.2. DISTANCIAS DE VISIBILIDAD Y MANIOBRAS ASOCIADAS	73
SECCION 3.1.1.6. TRAZADO EN PLANTA	83
3.1.1.6.1. INTRODUCCIÓN	83
SECCION 3.1.1.7. TRAZADO DEL ALINEAMIENTO VERTICAL	110
3.1.1.7.1. DEFINICIÓN	110
3.1.1.7.2. ELEMENTOS QUE LO INTEGRAN	110

SECCION 3.1.1.8. CRITERIOS DE DISEÑO PARA LA SECCIÓN TRANSVERSAL	120
3.1.1.8.1. ASPECTOS GENERALES	120
3.1.1.8.2. LA PLATAFORMA.....	122
3.1.1.8.3. LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA INFRAESTRUCTURA	133
3.1.1.8.4. OBRAS DE PROTECCIÓN DE TALUDES	139
3.1.1.8.5. REPOSICIONES DE SERVICIOS	140
3.1.1.8.6. SECCIONES TIPO	142
3.1.1.8.7. FRANJA DE DOMINIO	142
3.1.1.8.8. INSTRUCCIONES Y CRITERIOS PARA OBRAS VARIAS	143
3.1.1.8.9. TRATAMIENTO DE ZONAS MARGINALES	149
3.1.1.8.10. EL EFECTO DEL TERRENO EN LA LOCALIZACIÓN DE LA VÍA	156
SECCION 3.1.1.9. CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE INTERSECCIONES.....	159
3.1.1.9.1. ASPECTOS GENERALES	159
3.1.1.9.2. CAMPOS DE INFLUENCIA Y APLICACIÓN	161
3.1.1.9.3. FACTORES A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE UNA INTERSECCIÓN.....	161
3.1.1.9.4. ELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN TIPO	167
3.1.1.9.5. DISEÑO GEOMÉTRICO DE UNA INTERSECCIÓN	173
3.1.1.9.6. ENLACES	226
SECCION 3.1.1.10. CRITERIOS DE DISEÑO PARA TRAVESÍAS URBANAS.....	255
3.1.1.10.1. INTRODUCCIÓN.....	255
3.1.1.10.2. ESTUDIO DE VELOCIDADES.....	255
3.1.1.10.3. ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD	267
3.1.1.10.4. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN.....	272
CAPITULO 3.1.2. TRABAJOS DE CAMPO	275
SECCION 3.1.2.1. GENERALIDADES	276
3.1.2.1.1. CONTENIDO.....	276
3.1.2.1.2. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN	276
SECCION 3.1.2.2. REQUISITOS PARA LA EJECUCIÓN DE ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS ...	279
3.1.2.2.1. ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PARA CARRETERAS	279
3.1.2.2.2. ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS DE OBRAS ESPECIALES	280
SECCION 3.1.2.3. EJECUCIÓN DE LOS ESTUDIOS	283
3.1.2.3.1. TRABAJOS PREVIOS	283
3.1.2.3.2. ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PARA CARRETERAS	283
3.1.2.3.3. ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PARA OBRAS ESPECIALES	289
SECCION 3.1.2.4. ENTREGA FÍSICA EN EL CAMPO	291
SECCION 3.1.2.5. PRESENTACION DE INFORMES	292
ANEXO I - GRÁFICOS	293

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1_1. Breve descripción de los cinco principios de seguridad sostenible.....	38
Tabla 3.1_2. “Tipos de vehículos”	51
Tabla 3.1_3. “Dimensiones típicas de vehículos”	52
Tabla 3.1_4. Resumen cuantitativo y cualitativo de los niveles de servicio para carreteras y caminos en condiciones ideales (adaptado de la hcm)	60
Tabla 3.1_5. Resumen de las características principales de las clases	63
Tabla 3.1_6. Características asociadas por tipo de red y categorías.....	64
Tabla 3.1_7. Criterios de predicción de la v85% en función de vp y lr para vp entre 40 y 120 km/h	67
Tabla 3.1_8. V85% al final de una recta según longitud y velocidad de proyecto	67
Tabla 3.1_9. V85% velocidad específica en curvas horizontales.....	68
Tabla 3.1_10. “Valores para dvf” (pendiente longitudinal i = 0%)”	75
Tabla 3.1_11. “Distancias mínimas de adelantamiento en función de la velocidad de proyecto”	77
Tabla 3.1_12. “Porcentaje de sectores con distancia de adelantamiento adecuada respecto al largo total del tramo”	78
Tabla 3.1_13. “Distancia crítica entre el conductor y el borde del carril”	81
Tabla 3.1_14. Lr mín entre curvas de distinto sentido.....	87
Tabla 3.1_15. Lr mín entre curvas del mismo sentido	87
Tabla 3.1_16. Simbología para elementos de una curva	88
Tabla 3.1_17. Valores máximos para peralte y fricción transversal	89
Tabla 3.1_18. Radios mínimos absolutos en curvas horizontales.....	89
Tabla 3.1_19. Radios límites en contraperalte en tramos singulares	92
Tabla 3.1_20. Desarrollo mínimo para curvas circulares de radio mínimo.....	92
Tabla 3.1_21. Desarrollos mínimos para deflexiones $\omega \leq 6g (\leq 5^\circ)$	92
Tabla 3.1_22. Valores admisibles de pendiente relativa de borde $\delta\%$	95
Tabla 3.1_23. Valores admisibles de pendiente anexo i	96
Tabla 3.1_24. Valores de sobreelevación en curvas horizontales	98
Tabla 3.1_25. Longitudes de desarrollo de la sobreelevación en carreteras de dos carriles, en metros	100
Tabla 3.1_26. Tasa máxima de distribución de la aceleración transversal.....	103
Tabla 3.1_27. Parámetros mínimos de la clotoide por criterio de j max y δ max.....	104
Tabla 3.1_28. Tasa normal de distribución de aceleración transversal	104
Tabla 3.1_29. Relación entre pendiente máxima y velocidad de proyecto	111
Tabla 3.1_30. Tiempo de recorrido en tramos con diferentes pendientes (corresponde a la figura 3.1_18-E)	113
Tabla 3.1_31. Tiempo de recorrido en tramos con diferentes pendientes.....	114
Tabla 3.1_32.	116
Tabla 3.1_33. Sección transversal	121
Tabla 3.1_34. Efecto combinado sobre la capacidad ideal, del ancho de carril y la ubicación de las restricciones laterales	123
Tabla 3.1_35.	125
Tabla 3.1_36. Anchos mínimos de banquetas y aceras	126
Tabla 3.1_37. Pendiente transversal del sap (is%).....	127
Tabla 3.1_38. Anchos de medianas recomendables para las carreteras de la red vial.....	129
Tabla 3.1_39. Coeficientes de retención cr (m/m)	131
Tabla 3.1_40. Diagrama de opciones dentro del área construida de la carretera	132
Tabla 3.1_41. Inclinationes máximas del talud interior de la cuneta	136
Tabla 3.1_42. Distancia entre árboles en hileras dispuestas en los costados de carreteras y caminos	155
Tabla 3.1_43. Guía para seleccionar niveles de servicio para diseño	165
Tabla 3.1_44. Distancia de frenado (m) en cruces e intersecciones.....	177

Tabla 3.1_45. Tiempos (t_a) requeridos para cruzar una carretera	178
Tabla 3.1_46. Tiempos en cruces a nivel con vías férreas	180
Tabla 3.1_47. Distancias de visibilidad en cruces a nivel con vías férreas	180
Tabla 3.1_48. Trazados mínimos del borde interior de la calzada en	182
Tabla 3.1_49. Trazados mínimos del borde interior de la calzada en intersecciones no canalizadas curva compuesta ($v_p \leq 15$ km/h).....	185
Tabla 3.1_50. Trazados mínimos absolutos del borde interior de ramales de giro en intersecciones canalizadas - $v_p \leq 15$ km/h	190
Tabla 3.1_51. Radios mínimos absolutos en intersecciones canalizadas para $25 \leq v_p \leq 65$ km/h	191
Tabla 3.1_52. Valores mínimos de a en función de v_p y j para radios en el orden de los mínimos absolutos	192
Tabla 3.1_53. Desarrollo de la curva circular de enlace cuando la razón radio mayor a radio menor es 2.....	193
Tabla 3.1_54. Vehículo tipo y maniobra considerada en la determinación de los anchos ..	194
Tabla 3.1_55. Maniobras que pueden realizar los vehículos tipo.....	195
Tabla 3.1_56. Anchos de pavimento y banquetas (1) en ramales	195
Tabla 3.1_57. Longitudes de carriles de aceleración entre ramal y carretera l_t (m)= $l_a + l_c$ ($i = 0$).....	199
Tabla 3.1_58. Relación de longitud de carriles de aceleración entre vías en pendiente y en horizontal	200
Tabla 3.1_59. Longitudes l_t (m) de carriles de aceleración aplicando factores de pendiente 200	
Tabla 3.1_60. Ángulo θ de incidencia de carriles de deceleración según v	202
Tabla 3.1_61. L_c según v_c	202
Tabla 3.1_62. F_v según v_c	203
Tabla 3.1_63. Longitud adicional en carriles de deceleración para almacenamiento y espera de vehículos	204
Tabla 3.1_64. Características de la zona abierta en el cantero central para condiciones mínimas de giro a la izquierda.....	206
Tabla 3.1_65. Tipo de maniobra posible.....	209
Tabla 3.1_66. Longitud de transición (z) para hacer desaparecer el carril de recuperación	214
Tabla 3.1_67. Longitudes para reducción de ancho de pavimento en narices convergentes	215
Tabla 3.1_68. Valores admisibles pendiente relativa de borde (δ %)	219
Tabla 3.1_69. Máxima diferencia algebraica aceptable entre la pendiente transversal del carril del camino de paso y el peralte del ramal de giro en su arista común.....	220
Tabla 3.1_70. Anchos requeridos para el giro de vehículos v_{a1} en rotondas normales pequeñas.....	223
Tabla 3.1_71. : Radios límites en contraperalte para anillos de rotondas	224
Tabla 3.1_72. Velocidades de proyecto mínimas en ramales de enlace.....	248
Tabla 3.1_73. Radios mínimos absolutos con peraltes máximos en ramales de enlace.....	249
Tabla 3.1_74. Parámetros mínimos de clotoides (amín - $v_p \leq 60$ km/h) y (anormal - $v_p \geq 70$ km/h)	249
Tabla 3.1_75. Banquetas mínimas en ramales de enlace	250
Tabla 3.1_76. Parámetros mínimos absolutos para el proyecto en elevación de ramales ..	252
Tabla 3.1_77. Rango de velocidades equivalentes	256
Tabla 3.1_78. Aspectos temporales medición de velocidades	258
Tabla 3.1_79. Velocidad límite legal máxima en vías interurbanas	260
Tabla 3.1_80. Velocidad mínima a adoptar	262
Tabla 3.1_81. Velocidad máxima propuesta para operación de la vía (km/h).....	265
Tabla 3.1_82. Longitud del estrechamiento en función de la velocidad	269
Tabla 3.1_83. Tipos y usos de cercos.....	274

Tabla 3.1_84. Estándares mínimos de precisión de cierre para levantamientos topográficos de ingeniería y construcción	284
Tabla 3.1_85. Estándares mínimos de precisión de cierre para nivelaciones topográficas de ingeniería y construcción	284

INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1_1. Concepto de dominio de diseño.....	29
Figura 3.1_2. Ejemplo de aplicación del concepto de dominio de diseño – variando el ancho de la banquina	30
Figura 3.1_3. V85% velocidad específica en curvas horizontales	69
Figura 3.1_4. Relación entre radios consecutivos (carreteras con $v_p \geq 80$ km/h)	70
Figura 3.1_5. Relación entre radios consecutivos (caminos con $v_p \leq 80$ km/h)	70
Figura 3.1_6. Distancia de visibilidad de frenado	74
Figura 3.1_7. Distancia mínima de adelantamiento	77
Figura 3.1_8. Despeje necesario para asegurar la distancia de visibilidad	80
Figura 3.1_9. Verificación gráfica de la distancia de visibilidad de frenado en alineamiento vertical.....	82
Figura 3.1_10.....	294
Figura 3.1_11 Desarrollo del peralte en curvas circulares sin curvas de enlace.....	295
Figura 3.1_12 Componentes de la curva circular con espirales.....	296
Figura 3.1_13 Características generales de la clotoide.....	297
Figura 3.1_14 Elementos del conjunto: arco de enlace – curva circular	298
Figura 3.1_14-A Parámetros mínimos y normales de la clotoide en función del radio de curvatura	299
Figura 3.1_15 Desarrollo del peralte en arcos de enlace, calzadas bidireccionales	300
Figura 3.1_16 Desarrollo del peralte en arcos de enlace, calzadas unidireccionales	301
Figura 3.1_17 Desarrollo del peralte: calzadas unidireccionales, caso curvas contrapuestas o en s	302
Figura 3.1_18-A Efecto de la pendiente sobre la velocidad de operación. Vehículos con relación peso/potencia 90 kg/hp	303
Figura 3.1_18-B Efecto de la pendiente sobre la velocidad de operación. Vehículos con relación peso/potencia 120 kg/hp	304
Figura 3.1_18-C Efecto de la pendiente sobre la velocidad de operación. Vehículos con relación peso/potencia 180 kg/hp	305
Figura 3.1_18-D Efecto de la pendiente sobre la velocidad de operación. Vehículos con relación peso/potencia 210 kg/hp	306
Figura 3.1_18-E Perfil longitudinal de un tramo con tangentes de pendiente diferente	307
Figura 3.1_19 Tipos de curvas verticales	308
Figura 3.1_20 Elementos de la curva vertical	309
Figura 3.1_21 Longitud de curvas verticales para cumplir con la distancia de visibilidad de parada	310
Figura 3.1_22 Sección transversal doble carril	312
Figura 3.1_23 Sección transversal calzada única en curva	313
Figura 3.1_24 Secciones típicas de cordón-cuneta en carreteras.....	314
Figura 3.1_25 Sección tipo en recta de vías con medianera.....	315
Figura 3.1_26 Paradas de omnibus sobre la banquina caminos de desarrollo y locales	316
Figura 3.1_27 Paradas de omnibus fuera de la banquina vías bidireccionales y colectores	317
Figura 3.1_28 Paradas de omnibus fuera de la banquina	318
Figura 3.1_29-A Espacio mínimo requerido para la bicicleta	319
Figura 3.1_29-B Un ejemplo de espacios para ciclovía bidireccional	320
Figura 3.1_30 Taludes de terraplén en función del tránsito y de su altura y criterios de instalación de barreras de contención	321
Figura 3.1_31 Diversas secciones de cunetas.....	322
Figura 3.1_32 Tipos de secciones transversales	323
Figura 3.1_33 Diagrama de curva de masa.....	324
Figura 3.1_34 Principales superficies que configuran una intersección	325
Figura 3.1_35 Calzada, banquina y superficies de capa demarcada.....	326
Figura 3.1_36 Detalle de islas.....	327

Figura 3.1_37 Principales elementos en las calzadas de intersecciones (1)	328
Figura 3.1_38 Principales elementos en las calzadas de intersecciones (2)	329
Figura 3.1_39 Ejemplos de tramos de trenzado	330
Figura 3.1_40 Tipos de trenzado	331
Figura 3.1_41 Tipos básicos de intersecciones	332
Figura 3.1_42 Modificaciones de trazado por número de ramas y esviaje	333
Figura 3.1_43 Empalmes e intersecciones simples	334
Figura 3.1_44 Ensanches para empalmes “i” o “y” e intersecciones en cruz	335
Figura 3.1_45 Empalmes canalizados válidos para tipos “x” o “y”.	336
Figura 3.1_46 Empalmes canalizados en “y”	337
Figura 3.1_47 Empalmes canalizados de alto costo	338
Figura 3.1_48 Intersecciones canalizadas	339
Figura 3.1_49 Intersecciones con importantes giros a la izquierda en un cuadrante	340
Figura 3.1_52 Trazado de curva de tres centros	343
Figura 3.1_53 Trazados mínimos para vehículos livianos (l)	344
Figura 3.1_54 Trazados mínimos para camión simple (c) aplicable a omnibus	345
Figura 3.1_55 Trazados mínimos para tracto camión con semiremolque corriente (va)	346
Figura 3.1_56 Trazados para ramales de giro con islas mínimas	347
Figura 3.1_57 Carriles de cambio de velocidad	348
Figura 3.1_58 Carriles de aceleración	349
Figura 3.1_59 Carriles de deceleración caso i: directa	350
Figura 3.1_60 Carriles de deceleración caso ii: en paralelo	351
Figura 3.1_61 Longitudes de carril de deceleración	352
Figura 3.1_62 Longitudes de carril de deceleración	353
Figura 3.1_63 Carril de deceleración central	354
Figura 3.1_64 Trazado mínimo con canalización para giros a la izquierda con ensanche del camino y pin-tura	355
Figura 3.1_65 Aberturas de canteros centrales, trazados para radios de giro mínimos con y sin esviaje en el cruce	356
Figura 3.1_66 Aberturas de cantero central de diseño sobre los mínimos para remates en punta de proyectil	357
Figura 3.1_67 Aperturas de cantero central, trazados mínimos para giros en “u”	358
Figura 3.1_70 Transiciones parabólicas más corrientes para el retranqueo de vértices de islas	361
Figura 3.1_71 Detalles del trazado para islas	362
Figura 3.1_72 Diseños para terminales de salida	363
Figura 3.1_73 Diseños para terminales de entrada	364
Figura 3.1_74 Elevación en intersecciones, ejemplo: caso de plataforma única	365
Figura 3.1_75 Perfil longitudinal de ramal, ejemplo de solución	366
Figura 3.1_76 Radios y peraltes deseables en intersecciones cuando no existen condicionamientos limitantes	367
Figura 3.1_77 Desarrollo recomendable de peralte en empalmes de ramal y carretera	368
Figura 3.1_78 Tipo de intersección apropiado según intensidad media diaria en un nudo de tres ramas	369
Figura 3.1_79 Rotondas típicas	370
Figura 3.1_80 Rotondas especiales	371
Figura 3.1_81 Factores relevantes para el diseño de rotondas	372
Figura 3.1_82 Capacidad de rotondas, parámetros geométricos para el cálculo	373
Figura 3.1_83 Estructura del proyecto de un enlace	374
Figura 3.1_84 Distancias requeridas para desnivelaciones en terreno horizontal	375
Figura 3.1_85 Enlaces tipo	376
Figura 3.1_86 Ramales de enlace	377
Figura 3.1_87 Ramales de enlace	378
Figura 3.1_88 Formas de desaparición de carriles auxiliares	379
Figura 3.1_89 Enlace tipo de tres ramas	380
Figura 3.1_90 Enlaces de cuatro ramas	381
Figura 3.1_91 Enlaces tipo diamante clásico	382
Figura 3.1_92 Modificaciones de enlace tipo diamante	383
Figura 3.1_93 Enlaces tipo trébol parcial	384
Figura 3.1_94 Enlaces simétricos de libre circulación	385

Figura 3.1_95 Rotondas desniveladas	386
Figura 3.1_96 Ejemplos de equilibrio de carriles.....	387
Figura 3.1_97 Esquema del proceso de definición geométrica de un enlace	388
Figura 3.1_98 Terminales sucesivos	389
Figura 3.1_99 Separación entre terminales sucesivos.....	390
Figura 3.1_100 Secciones transversales tipo de ramales	391
Figura 3.1_101 Formulario de datos estudio de velocidades (1).....	393
Figura 3.1_102 Formulario de datos estudio de velocidades (2).....	394
Figura 3.1_103 Longitud de estrechamiento.....	395
Figura 3.1_104 Elementos reductores de velocidad lomadas pavimentadas.....	396
Figura 3.1_105 Elementos reductores de velocidad lomadas no pavimentadas.....	397
Figura 3.1_106 Elementos reductores de velocidad lomadas no pavimentadas zona de residencia peatonal.....	398
Figura 3.1_107 Elementos reductores de velocidad baterías de bandas transversales vibratorias	399
Figura 3.1_108 Elementos reductores de velocidad demarcación de bandas transversales.....	400
Figura 3.1_109 Elementos reductores de velocidad tramos de estrechamiento de carriles demarcación y tachones.....	401
Figura 3.1_110 Elementos reductores de velocidad tramos de estrechamiento de carriles demarcación e hitos delineadores (tubulares)	402
Figura 3.1_111 Trayectoria mínima de giro para el vehículo de diseño (p) (Automóvil)	404
Figura 3.1_112 Trayectoria mínima de giro para el vehículo de diseño (su-9 (su-30)) (camión de unidad simple)	405
Figura 3.1_113 Trayectoria mínima de giro para el vehículo de diseño (su-12 (su-40)) (camión de unidad simple).....	406
Figura 3.1_114 Trayectoria mínima de giro para el vehículo de diseño (bus-12 (bus-40)) (businterurbano)	407
Figura 3.1_115 Trayectoria mínima de giro para el vehículo de diseño (bus-14 (bus-45)) (bus interurbano)	408
Figura 3.1_116 Trayectoria mínima de giro para el vehículo de diseño (city-bus) (bus urbano).....	409
Figura 3.1_117 Trayectoria mínima de giro para el vehículo de diseño (s-bus-11 (s-bus-36)) (bus escolar convencional)	410
Figura 3.1_118 Trayectoria mínima de giro para el vehículo de diseño (s-bus-12 (s-bus-40)) (bus escolar grande)	411
Figura 3.1_119 Trayectoria mínima de giro para el vehículo de diseño (a-bus) (bus articulado)	412
Figura 3.1_120 Características de giro para un camión típico combinado con semiremolque	413
Figura 3.1_121 Longitudes de tractocamiones comúnmente utilizados.....	414
Figura 3.1_122 Trayectoria mínima de giro para el vehículo de diseño (wb-12 (wb-40)) (camión semiremolque intermedio)	415
Figura 3.1_123 Trayectoria mínima de giro para el vehículo de diseño (wb-19 (wb-62)) (camión semiremolque interestatal)	416
Figura 3.1_124 Trayectoria mínima de giro para el vehículo de diseño (wb-20 (wb-67)) (camión semiremolque interestatal).....	417
Figura 3.1_125 Trayectoria mínima de giro para el vehículo de diseño (wb-20d (wb-67d)) (combinación doble remolque).....	418
Figura 3.1_126 Trayectoria mínima de giro para el vehículo de diseño (wb-28d (wb-92d)) (combinación doble remolque de montaña rocosa).....	419
Figura 3.1_127 Trayectoria mínima de giro para el vehículo de diseño (wb-33d (wb-109d)) (combinación doble para autopista de peaje)	420

CAPITULO 3.1.1.

GEOMETRIA VIAL

SECCION 3.1.1.1.

ESTUDIOS NECESARIOS PARA EL DISEÑO DE LAS CARRETERAS

3.1.1.1.1. ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS

Los Estudios Topográficos son necesarios para el diseño integral de una Obra Vial. Desde el punto de vista del diseño estructural, tanto de la Obra Básica, la Plataforma y el Pavimento, el Ingeniero Especialista en cálculos estructurales viales, deberá contar con los datos topográficos ya sea directamente de los resultados de dichos estudios en sí mismos o indirectamente a través del diseño geométrico ya elaborado o terminado, de manera a poder evaluar convenientemente ciertos parámetros proporcionados por dichos estudios y que podrían incidir de alguna manera en los procesos de cálculos que afectara al diseño final de la estructura de la Obra Vial.

3.1.1.1.2. ESTUDIOS DE TRÁNSITO

En nuestro País, los Estudios de Transito podemos dividirlos en dos partes:

- a) Para Trazados Nuevos donde aún no existe un camino operativo.
- b) Para Trazados Existentes a ser reconstruidos o mejorados.

Trazados nuevos:

En estos trazados no se pueden realizar el conteo de vehículos, ya que la vía aún no existe. Por tanto debe echarse manos a los estudios socio-económicos para determinar el tránsito a ser generado o desviado por la nueva traza, una vez que entre en operación.

Trazados Existentes:

En estos tramos si se pueden aplicar toda la metodología de estudios de tránsito, desde el punto de vista de frecuencia, destinos, pesos y tamaños. A esto se deben sumar los estudios socio-económicos que podrían eventualmente generar más tránsito o desviar transito sobre su estructura, debido al mejoramiento de los índices de operación de la carretera.

La frecuencia y peso de los ejes que circularan por la futura vía, ya sea totalmente nueva o mejorada, afectara directamente la vida útil de la estructura a ser diseñada.

3.1.1.1.3. ESTUDIOS GEOLÓGICOS

Los Estudios Geológicos son importantes desde dos puntos de vista, primero porque el Ingeniero Estructuralista a través de este estudio puede conocer sobre qué tipo de terreno será implantada la obra básica y el pavimento en particular; y segundo porque también le permitirá conocer la disponibilidad de materiales para diseñar las posibles mezclas de materiales que le permitan tener la resistencia necesaria y suficiente para el transito estimado y alcanzar la vida útil proyectada, así como también economizar al máximo las operaciones en la etapa de construcción.

3.1.1.1.4. ESTUDIOS GEOTÉCNICOS

Los Estudios Geotécnicos permitirán conocer a profundidad las características físicas de los materiales y la resistencia de los mismos. Estos materiales deberán ser ensayados en laboratorios certificados para la realización de los mismos, y de acuerdo con las Normativas existentes, cuyos procedimientos no podrán ser cambiados bajo ningún motivo.

3.1.1.1.5. ESTUDIOS QUÍMICOS DE LOS MATERIALES

La composición química de los suelos y materiales a ser utilizados, juegan un papel preponderante en la durabilidad de las estructuras que son construidas con ellos.

En el caso particular de la Región Occidental o Chaco Paraguayo, la presencia de sulfatos y cloruros en el suelo del mismo atacarán la estructura a ser diseñada en esos lugares, de manera que en cada tramo deberá conocerse con exactitud el porcentaje de dichos componentes químicos de manera a proyectar estructuras que puedan soportar positivamente esos ataques.

También, en muchas ocasiones es importante conocer la composición química de basaltos, granitos y otros materiales pétreos de amplia utilización en nuestro País, de manera a poder asegurar la vida útil de proyecto.

3.1.1.1.6. ESTUDIOS HIDROLÓGICOS

El comportamiento estacional de las lluvias, combinado con picos estacionales de tránsito, pueden ser factores determinantes en el diseño de los pavimentos, dado que el agua es uno de los elementos destructivos más importantes de las estructuras de los pavimentos. Por esta razón el conocimiento detallado de la hidrología de la zona de proyecto es muy importante para el Ingeniero de estructuras.

3.1.1.1.7. ESTUDIOS HIDRÁULICOS

Los Estudios Hidráulicos proporcionarán los datos necesarios para que el Especialista en diseño de estructuras hidráulicas pueda proyectar las Obras de Arte necesarias en función a la categoría del camino. Este especialista deberá trabajar en cercana coordinación con el Especialista en Estructuras, ya que en algunos proyectos de costo reducido, se podría por ejemplo permitir que durante la época de grandes avenidas de agua, esta pase por encima de las estructuras y por ende también encima del pavimento. Esta situación deberá ser tomada muy en cuenta por el Ingeniero de Estructuras de manera a realizar un diseño acorde con esas exigencias.

3.1.1.1.8. ESTUDIOS SOCIO-ECONÓMICOS

Los estudios Socio-Económicos conducirán a conocer las posibles expansiones Urbanas y Rurales, como ser desarrollos urbanos importantes de cualquier índole en zonas de Ciudad o cercana a ellas, desarrollos industriales, desarrollos rurales como ganadería, agroindustria, comercio en general entre otros.

Estos estudios proporcionarán posibles aumentos del parque automotor, mayor frecuencia de los mismos y probablemente transporte de carga pesada.

Estos estudios serán de gran utilidad para el desarrollo integral del proyecto, pero en especial para el diseño de la estructura vial a ser utilizada.

3.1.1.1.9. ESTUDIOS DEL COMPORTAMIENTO DE TEMPERATURAS

La temperatura es un factor fundamental para el diseño de todo tipo de estructuras, pero en especial para las flexibles que usan ligante asfáltico.

Por esta razón, al igual que los estudios estadísticos de Hidrología, los estudios estadísticos de temperatura ambiente son muy importantes para un correcto diseño estructural.

Para el correcto estudio del comportamiento de las temperaturas y la creación de una base de datos es importante que todos los tramos importantes del País cuenten con termómetros especiales para el efecto, y un equipo encargado del inventario de las carreteras lo lea periódicamente y lo archive correctamente en la base de datos. También las estaciones meteorológicas del País pueden colaborar para llevar un histórico de las máximas y mínimas temperaturas de las distintas zonas y regiones por donde pasan las carreteras.

3.1.1.1.10. ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL

En el diseño de las estructuras de Pavimento, se utiliza materiales que en mayor o menor medida impactan en el medio ambiente. Por esa razón, el especialista deberá conocer el grado de vulnerabilidad ambiental en la cual se implantara el proyecto vial, y así poder diseñar mezclas que en función a esa vulnerabilidad pueda tener el menor impacto posible en el medio ambiente.

SECCION 3.1.1.2. | CONCEPTOS DE SEGURIDAD VIAL

3.1.1.2.1. GENERALIDADES

Si bien el transporte automotor, debido a sus características ha facilitado el desplazamiento del hombre, influyendo notablemente en sus actividades sociales y económicas, también ha llegado a constituirse en una importante causa de accidentes, siendo motivo de miles de muertes cada año.

Este hecho ha despertado gran inquietud entre todos los especialistas motivando un sinnúmero de estudios, a fin de determinar los factores de seguridad que intervienen en la operación de las carreteras. En el presente capítulo se procura tratar los aspectos más importantes emergentes de este problema.

3.1.1.2.2. RESTRICCIONES DEL CONDUCTOR

Básicamente se ha establecido que el conductor de un vehículo tiene dos dificultades principales, la visión y el tiempo de reacción. Estas limitaciones deben ser tomadas en cuenta al momento de realizar el Diseño Geométrico de la Carretera.

Al margen de estas dificultades, a las cuales el hombre ha demostrado poder hacer frente, el conductor frecuentemente tiene que utilizar carreteras que resultan inadecuadas; a lo que debe agregarse el cambio continuo en las características de los vehículos, que sumado a las limitaciones del usuario en cuanto a visión y tiempo de reacción, fijan ciertas condiciones de proyecto que deben tomarse en cuenta.

A. VISIÓN

La máxima agudeza visual del conductor corresponde a un cono de 3 grados, siendo bastante clara la visión entre 5 y 6 grados; hasta 12 grados la visión es regularmente clara. En el resto del campo visual el enfoque visual es borroso, aunque se pueden distinguir la luz y el movimiento.

Si suponemos que se tiene un cono de visión de 10 grados a cada lado del eje del camino, se considera que con ligeros movimientos del ojo del conductor, hacia ambos lados, éste obtendrá un campo de visión relativamente claro, de 20 grados en su trayectoria. En este cono de 20 grados, tan sólo 5 grados tendrán la mayor claridad en cualquier instante. En algunas ocasiones, razones prácticas inducen a aceptar movimientos adicionales del ojo para ampliar ese campo visual y captar algunos detalles, tales como vehículos que se aproximan, señalamiento y otros; sin embargo, el campo visual de todas maneras está limitado a un ángulo agudo.

Métodos empíricos han demostrado que a medida que aumenta la velocidad, el conductor enfoca la vista a mayor distancia, esto implica mayor restricción de visión lateral al fijar la vista en un punto distante limitando aún más los movimientos laterales. A este fenómeno se le denomina efecto de visión de túnel, y su característica es que son menos perceptibles los objetos laterales. La anterior es una de las razones por las cuales existe un gran riesgo al cruzar a alta velocidad una zona poblada o una intersección.

El sentido de la visión consume tiempo para realizar sus funciones; simplemente para que un conductor revise a izquierda y derecha en una intersección requiere aproximadamente un segundo para ver si puede pasar.

Otro factor donde interviene la visión del individuo es el de la percepción de profundidad. Hay cierta limitación en los conductores para percibir la distancia a la cual se encuentran ciertas partes del camino o bien otros objetos sobre él.

Cuando este factor se combina con la velocidad se crea una seria limitación que siempre debe tomarse en cuenta al realizar el Diseño Geométrico de una Carretera.

El caso crítico ocurre en la oscuridad o en condiciones de poca iluminación, donde influyen también los efectos del deslumbramiento que representa tiempo para recuperarse del mismo.

De acuerdo con algunos estudios, durante el día la visión de un conductor abarcará hasta 2 cuerdas de distancia en zona urbana y hasta 800 m aproximadamente en Carreteras en zona rural.

Empíricamente se ha determinado que la distancia de percepción nocturna se reduce, hasta llegar aproximadamente a un 35% de lo normal, cuando un conductor está frente a las luces de otro vehículo. La contracción de la pupila tarda, para hacer frente a esta circunstancia, generalmente 3 segundos. Después que desaparece la fuente de luz que tenía en frente, se requiere 6 segundos o más para la recuperación de su diámetro normal.

B. TIEMPO DE REACCIÓN

El conductor percibe principalmente estímulos visuales, auditivos y cinéticos; y se acepta que el tiempo de reacción depende del tipo de estímulo percibido.

El intervalo que existe entre ver, oír o sentir y la acción de responder a estos estímulos en cualquier situación del tránsito, se llama tiempo de reacción.

La decisión que los estímulos originan, un conductor la toma a través de un proceso intelectual que termina en un juicio. En el conductor la repetición de situaciones crea hábitos y reacciones reflejas. Estas últimas, de menos duración que la respuesta a una situación compleja o nueva, se basan en juicios realizados anteriormente por el cerebro y decisiones tomadas ante situaciones similares.

El tiempo de reacción podrá variar según distintos conductores y según las distintas situaciones del tránsito. En los conductores varía con la edad, con el estado emocional y según el estado físico así como con los distintos estímulos que pueden presentarse. Las situaciones complejas en la carretera, requerirán un mayor tiempo de reacción que las situaciones sencillas. Los motivos de distracción incrementan el tiempo de reacción.

En términos generales el tiempo de reacción es el tiempo necesario para que el conductor se haga cargo de la situación y empiece a actuar; por ejemplo, aplicar el freno o dejar de acelerar. Mediante pruebas de laboratorio y de campo, se ha determinado que el tiempo de reacción para fines de Diseño puede variar desde 0,5 hasta 2,5 segundos. Se considera que los conductores toman sólo una decisión a la vez. Por tanto, es necesario que el proyectista de la Carretera evite situaciones en las que se requiera tomar múltiples decisiones o donde la decisión de los actos subsecuentes pueda distraer a los conductores de una situación inmediata que requerirá toda su atención.

Por otro lado, es indudable que los conductores confíen en ciertos patrones del entorno físico del camino o del comportamiento del tránsito.

Muchas de sus decisiones están basadas en sus experiencias anteriores. En situaciones poco usuales, donde no aparecen factores acostumbrados, tomar una decisión puede llevar demasiado tiempo.

Es necesario dar atención adecuada a los hábitos y a las reacciones condicionadas del usuario. Por ejemplo, será muy conveniente aumentar la información previa con relación a una salida

de una autopista del lado izquierdo ya que el patrón común es que esta se encuentra del lado derecho.

Un buen proyecto siempre debe tomar en cuenta la relación entre conductores y patrones establecidos y evitará las situaciones diferentes en lo posible.

3.1.1.2.3. ACCIDENTABILIDAD

A. ANÁLISIS DE ACCIDENTES

Con la finalidad de resolver los diferentes problemas que presente la operación de los caminos, es imprescindible el análisis de los accidentes como una de las bases fundamentales para emitir un juicio que indique sus causas reales y así proporcionar una solución más segura para los casos actuales y futuros.

Los accidentes se producen por circunstancias inherentes a cualquiera de los tres elementos relacionados, a saber: el camino, el vehículo y el usuario. Para deducir la falla operacional y la magnitud de los accidentes, se deberá estudiar y analizar detenidamente las estadísticas de los mismos. Solo así se podrá plantear el problema, en busca de una solución consecuente con la realidad. El correcto planteamiento aportará los requisitos que deben cumplirse para tener un buen proyecto geométrico y de señalamiento.

A1. Estadística

Un registro de accidentes debe ser iniciado por el informe formulado por un agente de tránsito luego de ocurrido el hecho. Convenientemente es de mucha ayuda que todos los informes sobre accidentes de tránsito sean centralizados en una sola unidad, en la cual los interesados puedan tener fácil acceso a la información.

Para facilitar los datos contenidos en los informes de accidentes de tránsito, es preciso que sean archivados por orden de ubicación, para lo cual deben usarse unas guías primarias con los nombres de las calles o carreteras; en este último caso, con la clave aprobada por el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, para la ubicación de un punto dado sobre la carretera.

En base a los datos obtenidos deben elaborarse mapas de frecuencia de accidentes a objeto de determinar la distribución de los mismos. Estos mapas pueden ser de una zona o de una ciudad, según corresponda; se indicará en ellos las situaciones de los accidentes, empleando símbolos para representar las distintas clases de los mismos.

Para el caso de accidentes en zonas urbanas es recomendable utilizar un plano a una escala entre 1:5.000 y 1:10.000, con los nombres de las calles claramente anotados. En regiones rurales se pueden usar mapas a escalas entre 1:25.000 a 1:50.000.

Las indicaciones en los mapas de accidentes se acumularán durante periodos de un año al cabo del cual se fotografiarán retirándose posteriormente las indicaciones para empezar a ponerlas nuevamente. Las fotografías de los mapas permitirán comparar la acumulación de los accidentes de un año con otro.

Con la ayuda de los mapas de ubicación de accidentes se determinarán los puntos de alta frecuencia, para orientar la labor de estudio de la que se derivará la experiencia para el Diseño de obras futuras y de las posibles modificaciones geométricas de señalamiento, iluminación y otros.

En la investigación de los lugares críticos donde se concentran los accidentes, se deben dibujar diagramas de colisiones y de condiciones físicas.

De manera alternativa, se podrán utilizar herramientas informáticas para estructurar y administrar un SIG (Sistema de Información Geográfica), utilizando cartas geográficas digitales y/o imágenes satelitales de resolución adecuada, para realizar los registros de datos concernientes a la estadística de accidentes. Los datos anuales podrán registrarse en capas diferentes con el fin de disponer de los datos discriminados para su procesamiento. El análisis y procesamiento de la información estadística podrá realizarse interconectando la base de datos del SIG con un sistema de procesamiento estadístico “hecho a la medida” (Taylor Made) con el fin de disponer de reportes específicos para cada resultado requerido.

A2. Falla Operacional

Los accidentes vehiculares se deben a circunstancias físicas y humanas, las cuales deben determinarse. Para ello se estudiarán las condiciones del lugar, las limitaciones físicas y mentales del usuario y su comportamiento en el movimiento vehicular, las condiciones del camino y del vehículo y demás hechos útiles para valorar la causa del accidente, debiéndose determinar el elemento que falló y por tanto es motivo de corrección. Las soluciones futuras procurarán evitar que se repitan los tipos de accidente antes registrados.

A3. Magnitud

Para medir la magnitud de los accidentes no deben usarse números absolutos, sino cifras relativas tomando en cuenta los elementos que intervienen, cuantificándolos por medio de índices, como los citados a continuación.

Índice basado en la población

Índice basado en el número de vehículo

Índice basado en el tránsito

Índice para intersección

A4. Índices de Accidentes y Mortalidad

Estos índices son los instrumentos para medir la gravedad del problema en números relativos. Básicamente existen dos tipos, los que se refieren al total de accidentes y los que se refieren al total de muertos; en ambos es costumbre tomar como periodo un año.

A continuación, se describen los índices de mayor aplicación:

A.4.1. Índice Basado en la Población

Relación entre el número de accidentes que ocurre en una ciudad región, país o sistema vial y el número de habitantes de la unidad geográfica considerada. Es útil para hacer comparaciones cuando las condiciones socioeconómicas sean semejantes.

A.4.2. Índice Basado en el Número de Vehículos

Relación entre el número de accidentes que ocurren en la unidad geográfica considerada y el número de vehículos registrados en la misma. Útil para comparar ciudades, entidades, países o sistemas viales.

A.4.3. Índice Basado en el Tránsito

Relación entre el número de accidentes en una unidad geográfica y el tránsito en esa unidad, expresado en vehículos-km. Útil para comparar tramos de caminos, núcleos de población, entidades o países.

La unidad vehículos-km puede determinarse, ya sea multiplicando el número de vehículo al año por la longitud recorrida en el tramo, en el caso de un tramo determinado de un

camino o bien multiplicando el consumo anual de combustible por el rendimiento promedio.

A.4.4. Índice para Intersecciones

Relación entre el número de accidentes que ocurre en una intersección y los volúmenes que concurren a la misma por sus accesos.

Para obtener índices de mortalidad se usarán formularios establecidos, en los cuales se debe aplicar la sustitución al número de accidentes por el número de muertos en el año.

3.1.1.2.4. ACCIDENTABILIDAD DEBIDO A LA SECCIÓN TRANSVERSAL

La Sección Transversal, sus elementos y geometría tienen importancia en la seguridad activa. El ancho de las calzadas debe ser adecuada a la velocidad de circulación. Se ha demostrado repetidamente que las vías estrechas son especialmente problemáticas, sobre todo en lo relacionado con los vehículos pesados. En general, un incremento de la anchura de las vías mejora la seguridad y una reducción del riesgo de accidentes, aunque las grandes vías suelen llevar asociado un incremento de la velocidad de circulación.

El diseño con anchuras incrementadas y la construcción de un correcto pavimento en la plataforma de rodamiento, en las banquetas y las zonas anexas a la Carretera, contribuyen a una mejora de la condición de seguridad de circulación. No obstante, se ha constatado que valores excesivos de ancho de carril y su conversión a valores menores, puede incrementar la siniestralidad.

Por otra parte, las medianas especialmente en carreteras interurbanas, pueden contribuir de manera significativa a disminuir el número y severidad de los accidentes. Se ha constatado que anchuras de mediana mayores a 12 m reducen en un 15% el número de vehículos que la atraviesan y acceden a la calzada de circulación en sentido contrario, si bien para valores mayores a 6 metros ya suponen una mejora importante.

Un buen diseño de Carreteras, supone el tomar en cuenta la seguridad en lo relativo a los adelantamientos, este aspecto también deberá ser considerado para carriles adicionales para vehículos lentos

Detalles mayores serán desarrollados en la *Sección 701* adelante.

A. NÚMERO DE CARRIL

Una de las primeras investigaciones de seguridad en carreteras con diferente número de carriles, fue un estudio realizado en Massachussets, EUA, en que se relacionan carreteras de 2 y 3 carriles. Se encontró que las Carreteras bidireccionales tenían un índice mayor de accidentes que las de 3 carriles, hasta volúmenes de 2,6 millones de vehículos al año, o sea poco más de 7.000 vehículos diarios. Al llegar a este punto el índice para caminos de dos carriles se mantiene constante, en tanto que el de 3 carriles continúa aumentando conforme se incrementa el volumen de vehículos.

Debido a que las colisiones de frente, con gran saldo de heridos y muertos, fueron asociadas con los caminos de tres carriles, ese tipo de carreteras no es recomendable para ser proyectada, excepto en tramos de pendientes largas, en donde el tercer carril es construido únicamente para dar oportunidades de adelantamiento cuesta arriba, para estos casos es recomendable intentar la implementación de una franja de separación o de aislamiento del tercer carril.

Las carreteras de cuatro o más carriles, por tener capacidad para mayores volúmenes de tránsito, deberían tener más accidentes que las vías de dos carriles; sin embargo, se ha determinado que tienen índices de accidentes menores.

El número de carriles está definido por la demanda en un tramo dado de carretera, la experiencia ha demostrado que el grado de seguridad depende más del ancho de los carriles que del número de estos.

B. ANCHO DE CARRIL

Desde hace años, buscando la justificación económica del ancho de los carriles, se pensó que si los amplios fueran más seguros que los estrechos, los beneficios de la ampliación podrían ser significativos, en términos de ahorro de costos por accidente. Se reconoció que el aumento en el ancho de carril es una garantía de seguridad.

En efecto, la investigación de los registros de accidentes en carreteras de dos carriles, de varios anchos, en el estado de Michigan, permitió concluir que los más anchos eran más seguros. Al estimar el costo de los accidentes se concluyó que el ahorro por su reducción, como regla general era de tal cuantía, que resultaba suficiente para cubrir el costo probable de la ampliación de la calzada de los 5,50 a 6,10.

Aunque la limitación principal a la construcción de calzadas más anchas ha sido de orden económico, hay también algunas razones de operación por las que los anchos de la superficie de rodamiento no son más grandes.

En efecto, si se ofrece una gran libertad de movimiento a los conductores estos tenderán a efectuar maniobras impropias y quizás a formar otro carril. Una carretera de dos carriles que tenga un ancho de calzada de 8 m, puede ser convertida en una carretera de 3 carriles con ancho de 2,65 m cada uno. El ancho de 3,65 m actualmente aceptado, es probablemente muy cercano al ancho de carril ideal para tránsito mixto de alta velocidad. No obstante, es más económico aplicar carriles de 3,50 m.

Estos resultados generalmente obtenidos, relacionando el ancho de la carretera con los accidentes de tránsito, fueron verificados por investigaciones posteriores. Los resultados del Interstate Accident Study, un estudio similar en Minnesota EUA; y otro en Inglaterra, dieron resultados sorprendentemente parecidos, comprobando la reducción del índice de accidentes al ensancharse la superficie de rodamiento.

C. DELINEAMIENTO DE CARRILES

Es ya una práctica mundial el pintar la franja central, las de los carriles y las laterales en calles y carreteras. En varios casos se encontró evidencias de los efectos benéficos de esta práctica en relación a la seguridad, al reducirse los índices de accidentalidad

D. BANQUINAS

Cualquier teoría general sobre la frecuencia de accidentes sostendrá que las banquetas más anchas deben prestar una mayor seguridad, porque significa un espacio mayor de maniobras, mejor visibilidad y área para estacionar vehículos descompuestos fuera de la superficie de rodamiento. Esta presunción podría parecer válida, particularmente donde todas las obstrucciones estuvieran fuera del acotamiento.

Antiguamente las Banquetas se construían de tierra y grava y es obvio que esto constituía un peligro, debido a que el vehículo muchas veces no podía dejar la superficie pavimentada y regresar a ella sin atascarse y ser dirigido hacia fuera del camino. Este hecho, más las dificultades en su conservación, aconsejaron las prácticas de construir banquetas con superficie transitable en todo tiempo.

Se han hecho extensas investigaciones, enfocadas a estudiar las relaciones entre los accidentes y el ancho de la banqueta, en parte para determinar el ancho más económico por construir

desde el punto de vista de la seguridad, y en parte tratando de encontrar por qué las banquetas más anchas no siempre producen mayor seguridad.

Se encontró que las banquetas más anchas resultaron con menos accidentes, los datos fueron separados por grupos de volúmenes y por técnicas de correlación y ecuaciones de regresión desarrolladas para el efecto. Las investigaciones fueron limitadas esencialmente a tramos de carreteras rectas y a nivel. La relación entre los accidentes y en ancho de banquina fue significativa en solo un grupo de volúmenes de tránsito.

Anteriormente se había encontrado que el índice de accidentes se reducía con el ensanchamiento de la banquina en carreteras de bidireccionales.

Hay varias razones para explicar la disminución en el índice de accidentes cuando se amplía la banquina, entre las más importantes están las siguientes: El conductor no tiene temor a encostarse, lo que le permite concentrar su atención en los otros problemas que se presentan, se aumenta la separación entre 2 vehículos que se cruzan, se reduce la influencia de los vehículos estacionados; la salida de la calzada no es necesariamente trágica y se obtiene una mayor seguridad en el acceso y salida de los vehículos.

E. OBSTACULOS A LOS COSTADOS DEL CAMINO

Un porcentaje muy alto de accidentes en vías se deben a vehículos que se salen de la carretera, generalmente estos accidentes son de un solo vehículo e incluyen a aquellos que se voltean o chocan con algún objeto fijo cercano a la carretera.

Estudios han establecido que este tipo de accidentes comprende entre el 30 y el 35% de todas las muertes en los accidentes de tránsito.

En virtud de que es inevitable que algún vehículo se salga del camino, los lados de éste deben acondicionarse para reducir al mínimo las consecuencias de un posible accidente, lo cual debe tomarse en cuenta en el Diseño de la Carretera.

Algunos de los posibles peligros a los costados del camino son productos del hombre, tales como cordones de acera y barandas de puentes, postes de señales y alumbrado, árboles y otros. La defensa usada para protección de estos obstáculos puede reducir la frecuencia y la gravedad de estos accidentes, pero deben estar bien proyectadas para no convertirse en obstáculos adicionales.

Cuando el terreno sea plano, para aumentar la seguridad de los vehículos que intempestivamente salen del camino, se debe prever una “zona de recuperación”, libre de obstáculos, esto siempre que no implique un incremento muy grande en el costo. Esta zona de recuperación debe ser amplia, nivelada y fácil de transitar. Deben estudiarse programas de mejoramiento para eliminar peligros tales como árboles, estructuras, soportes masivos de señales, postes y otros obstáculos que pueden representar riesgos para el tránsito. Cuando no sea posible esa eliminación, debe buscarse la forma de instalar defensas u otro tipo de protección para disminuir el riesgo.

Estudios realizados encontraron que las defensas usadas para proteger árboles a los lados del camino efectivamente redujeron la gravedad de los accidentes del tipo de salida de la superficie de rodamiento.

Otros han reportado que las defensas en los accesos de los puentes angostos redujeron en número y la gravedad de los accidentes.

3.1.1.2.5. ACCIDENTABILIDAD DEBIDO A LA FRANJA DE SEPARACION CENTRAL

A. FRANJA SEPARADORA

Es un elemento de la carretera, cuya función primordial es establecer la separación de los carriles de circulación en una carretera, tanto los de sentido opuesto, como los del mismo sentido.

B. CLASIFICACIÓN FUNCIONAL

Según su funcionalidad, existen dos tipos básicos de fajas separadoras, las cuales tienen diferentes propiedades y deberán ser consideradas separadamente, su denominación es la siguiente:

De disuasión: Son aquellas fajas separadoras que inducen al tránsito a mantenerse dentro de una calzada pero que no impiden que, eventualmente puedan ser cruzadas.

Las no cruzables: Son aquellas que impiden físicamente el cruce de una calzada a otra.

C. CLASIFICACIÓN POR ANCHURA

Las franjas de seguridad pueden tener diferentes tipos de medida, aspecto que lleva a obtener la siguiente clasificación:

A	Angostas	menores de 5 m
B	Medianas	de 5 a 18 m
C	Anchas	mayores de 18 m

Fajas Separadoras Angostas: Generalmente están constituidas por franjas separadoras. Aun cuando su efecto es difícil de evaluar con precisión, en general, han dado por resultado una reducción efectiva en accidentes en calles o carreteras antes no divididas. Cuando la sección transversal de una arteria sea de 4 o más carriles, se recomienda el uso de la franja separadora, aunque esta sea angosta. La Franja separadora no solo reduce los accidentes de cierto tipo, por ejemplo, colisiones de frente, sino que además es un refugio para el peatón y permite alojar los elementos de señalización.

En fajas separadoras angostas de arterias con altos volúmenes de tránsito, se ha ensayado el uso de defensas y barreras para evitar que los vehículos pasen de un lado a otro.

Fajas Separadoras Medianas: De acuerdo con la clasificación antes mencionada, las fajas separadoras medianas son aquellas que tienen un ancho comprendido entre 5 y 18 m.

En investigaciones realizadas en carreteras con fajas separadoras de varios anchos, fue posible establecer una correlación entre los accidentes por vehículos que cruzaron la franja separadora y el ancho de la franja separadora.

Los accidentes frontales, como un porcentaje del total de accidentes, disminuyen rápidamente al mismo tiempo que el ancho de la franja separadora aumenta.

En las fajas con ancho mediano de carreteras con altos volúmenes de tránsito, las defensas pueden ser muy útiles. Este tipo de dispositivo no evita los accidentes, únicamente los convierte de un tipo a otro (colisión frontal a accidente de un solo vehículo). Es condición primordial asegurar que el accidente causado por la defensa sea de menos severidad que el accidente evitado. Por lo anterior, las defensas deberán tener propiedades bien definidas: primero, deberá evitar el cruce del vehículo al otro lado. Segundo, deberá disminuir la velocidad del vehículo con una desaceleración tal, que sea tolerable para los ocupantes.

Fajas Separadoras Anchas: Aunque los datos para determinar el comportamiento de las fajas separadoras anchas son escasos, el índice de accidentes por vehículos que las cruzan, muestra una ligera reducción cuando su anchura pasa de 15 m.

Un aspecto importante que debe considerarse al proyectar fajas separadoras amplias, es el de tratar de evitar colocar en posición inadecuada en su área, objetos potencialmente peligrosos para vehículos fuera de control, tales como semáforos, árboles, postes, señales y pilares de pasos inferiores.

Cuando se colocan árboles dentro de la faja, para proteger contra el deslumbramiento o prevenir la monotonía deberán ser elegidas de tal modo que al crecer no causen daños, en caso de ser golpeadas por un vehículo de motor. Deberán considerarse adicionalmente los taludes y cunetas que puedan existir dentro de la faja.

3.1.1.2.6. ACCIDENTABILIDAD DEBIDO A FACTORES DE DISEÑO

A. LOS ACCIDENTES Y EL ALINEAMIENTO HORIZONTAL

Se han realizado estudios que han determinado que la curvatura de los caminos está relacionada con los accidentes, en todos los tipos de carretera.

Los vehículos al ingresar en una curva son sometidos a la fuerza centrífuga que es equilibrada por la resultante del peso del vehículo y la fuerza de rozamiento lateral entre llantas y pavimento. La salida de un vehículo obedece a uno o a la combinación de los siguientes conceptos: velocidad excesiva para las condiciones imperantes, sobreelevación inadecuada o pavimento derrapante.

En ciertos estudios se encontró que en carreteras bidireccionales el índice de accidentes aumenta alrededor de 0,23 por grado de curvatura.

Para carreteras divididas de 4 carriles, con acceso controlado, el índice de accidentes aumento 0,64 por grado de curvatura.

Así como el grado de curvatura influye en la incidencia de accidentes, la frecuencia de las curvas es otro de los factores que tienen marcada influencia en la accidentabilidad de las carreteras. Se ha establecido que la peligrosidad aumenta tanto al disminuir el radio de curva como al disminuir la frecuencia de ellas. Como conclusión se establece que las curvas cerradas de menor grado y aisladas son las más peligrosas.

Algunos investigadores trataron de relacionar los índices de accidentes con las curvas de diferentes grados. Asimismo, otros trabajos han demostrado que, a partir de un grado de curvatura, las curvas en el extremo de las tangentes mayores de 5 km de longitud tienen un índice de accidentes de 1,25 veces mayor que las curvas ubicadas en el extremo de tangentes menores de 5 km de longitud.

Es seguro que la alta incidencia de accidentes en las curvas comprende un número mayor de factores que los citados anteriormente, tales como exceso de velocidad, distancia de visibilidad de parada y sobreelevación.

Entre las medidas aplicables para incrementar la seguridad en caminos existentes, están las rectificaciones, las sobreelevaciones y la distancia de visibilidad adecuada, además de un buen señalamiento preventivo y restrictivo, marcas en el pavimento y otros.

Ciertas experiencias en rectificación de las curvas mostraron que los accidentes se redujeron un 80% en casos donde la sobreelevación fue aumentada, adicionalmente los accidentes con lesio-

nados fueron reducidos en un 60%. En casos donde la visibilidad fue mejorada los accidentes con lesionados se redujeron en un 65%.

En cuanto a las señales preventivas, resultado de los estudios realizados, muestran una reducción en los accidentes en curvas cuando estos elementos son colocados de manera correcta.

Con relación al uso de señales restrictivas que indiquen la velocidad máxima para pasar por una curva, estas han demostrado su efectividad en aquellos casos en donde el conductor no puede advertir situaciones peligrosas.

B. LOS ACCIDENTES Y EL ALINEAMIENTO VERTICAL

Uno de los aspectos más importantes en el alineamiento vertical, con respecto de los accidentes, es la distancia de visibilidad de parada.

Estudios realizados han demostrado que el índice de accidentes decrece con el aumento de la distancia de visibilidad.

Por otra parte, al comparar el índice de accidentes con la frecuencia de las restricciones en visibilidad (definiéndose como una restricción a la distancia de visibilidad menor a una cierta distancia dependiendo de la topografía de la zona), se determinó que el índice de accidentes decrece conforme las restricciones son más frecuentes. Cuando las restricciones ocurren con frecuencia el conductor se adapta al medio y los índices de accidentes tienden a disminuir.

Otro de los aspectos importantes del alineamiento vertical con relación a los accidentes es la pendiente longitudinal. Estudios concluyen que los accidentes se incrementan cuando la pendiente longitudinal aumenta, esto se atribuye a la gran diferencia de velocidades entre los vehículos ligeros con respecto a los vehículos pesados.

C. ILUMINACIÓN

Aproximadamente el 60% de todos los accidentes fatales de tránsito ocurren en horario nocturno, cuando los volúmenes de vehículos y peatones son más bajos. Al tomar como base el kilometraje, los índices de accidentes nocturnos son el doble de los diurnos en las ciudades y cerca del triple en vías rurales.

Aunque los efectos de la fatiga, intoxicación y otros factores que podrían incrementar el riesgo de viajar de noche no han sido completamente evaluados, es indiscutible que la velocidad reducida contribuya a estas diferencias en los índices de accidentes. La iluminación artificial es un medio efectivo y aprobado para reducir los accidentes nocturnos de tránsito.

Algunos estudios han determinado una tendencia a la disminución de los índices de accidentes nocturnos con un nivel más alto de iluminación.

La experiencia acumulada sugiere que el mayor beneficio viene de dar niveles mínimos de iluminación y que la superficie del pavimento tiene un papel importante en el nivel de iluminación que se requiere.

D. CRUCES CON VÍAS FÉRREAS

Los accidentes en los cruces de carreteras con vías férreas han sido materia de interés público por muchos años, especialmente por lo espectacular de los mismos accidentes y sus saldos en pérdidas de vidas y bienes. A pesar de que los accidentes en estos empalmes son solamente un pequeño porcentaje del total de los accidentes, arrojan un alto número de personas muertas y heridas.

Es importante mencionar que de una muestra estadística de 3.627 accidentes que ocurrieron en sectores de cruce con vías férreas, solamente cerca de un tercio del total fueron entre el

ferrocarril y los vehículos automotores, el resto de los accidentes ocurrieron entre los vehículos cuando uno de ellos estaba esperando a que pase el tren y fue alcanzado por otro que no pudo detenerse a tiempo.

De estos dos tercios, la mitad ocurrió en el momento en que un tren pasaba por el empalme y la otra mitad cuando el tren no estaba presente. Entre estos últimos, el 13,3% de los accidentes que ocurrieron fue provocado por los vehículos que tienen obligación de parar en todos los empalmes; también se observó que muchos de los daños ocasionados a los vehículos accidentados se debieron a obstáculos naturales, incluyendo los apoyos o postes masivos de los dispositivos de control.

Para mejorar las condiciones en los cruces con vías férreas se vio la necesidad, en primer lugar, de proporcionar la distancia de visibilidad adecuada, tomando en cuenta la velocidad de los trenes y el de los vehículos sobre la carretera. Otra manera de mejorar las condiciones de seguridad se basa en la implementación de pasos a desnivel en los cuales se tiende a la eliminación del riesgo.

SECCION 3.1.1.3.

TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE CARRETERAS O CAMINOS

3.1.1.3.1. ANTECEDENTES

El MOPC, encargado de la temática vial en la República del Paraguay, ha realizado diversos estudios en cuanto a las condiciones actuales del transporte en nuestro país.

Derivado de estos estudios se determinó que era necesario mejorar los sistemas de transporte, encarando políticas de desarrollo en la construcción efectiva de carreteras del País, creando un entorno favorable especialmente al transporte público, siendo necesario para ello fomentar:

Soluciones consistentes que apoyen al transporte público.

Establecimiento de Normas adecuadas para el Diseño de Carreteras, que incluyan principalmente:

- » El establecimiento de zonas con distancia de visibilidad de parada
- » Gradientes reducidos
- » Curvatura horizontal mínima
- » Diseño de Intersecciones
- » Paradas de ómnibus
- » Carriles para vehículos de velocidad lenta

La optimización de recursos ha sido siempre la meta principal en el Diseño de Carreteras, no obstante, en la actualidad la tendencia se encamina a la concepción de vías que combinen una optimización de Recursos tanto en la etapa de construcción como en la de mantenimiento de la vía, o sea una economía conjunta a lo largo de toda la vida útil de la Carretera.

La red con la longitud más corta en general, compatible con la vinculación de todos los orígenes y destinos, teóricamente tendría el menor costo. También podría representar un ahorro en los costos de mantenimiento, siempre que el intento de reducir la longitud de la vía no tenga ningún impacto adverso en la alineación vertical, resultando en pendientes muy empinadas o una carretera con mal drenaje, lo cual podría repercutir en costos elevados de construcción y mantenimiento. Suponiendo que, tomando el tramo corto, los costos de mantenimiento son favorables, es posible que la carretera tenga una geometría tal, que el paso por ella sea muy forzado y tortuoso para los usuarios, lo que merecería un análisis de parte del proyectista, de manera de equilibrar la ecuación costo construcción y mantenimiento en relación a la seguridad, confortabilidad y comodidad de la vía.

De esto se desprende que la geometría de la Carretera es tan importante como su longitud total, en la optimización de los costos para un ciclo de vida de la vía.

No se debe interpretar el Diseño Geométrico de la Carretera como una simple optimización de longitud, concepto que a menudo es erróneamente aplicado, ya que aspectos como la confortabilidad, comodidad, seguridad y operatividad, deben ser tomados en cuenta, por ello es que un diseño de carreteras debe contener un alto nivel de planificación geométrica.

La planificación geométrica, debe incluir una cuidadosa selección de la sección transversal. La anchura del camino y su forma, tienen un impacto significativo en los costos de construcción.

Economizar en la sección transversal mediante la reducción del número y la anchura de los carriles, podría tener un efecto sobre el flujo de tráfico y el consiguiente aumento de los costos operativos para los usuarios de la carretera. La clasificación de los diferentes componentes de una red de carreteras y la estimación adecuada de los volúmenes de tráfico de las mismas, es esencial para la correcta planificación de una red de carreteras realmente económica.

Históricamente el Diseño de Carreteras ha considerado en su concepción aspectos como la movilidad y accesibilidad. Este tipo de diseños fue proyectado específicamente para vehículos de pasajeros poniendo un poco de atención a las necesidades de otros vehículos, especialmente en las intersecciones. Sin embargo, los proyectistas actualmente deben reconocer que la red de carreteras, especialmente en zonas densamente pobladas, sirve para otras funciones además de la movilidad y la accesibilidad. Necesidades de las comunidades, tales como la interacción social, la relajación y el comercio, son aspectos cada vez más importantes.

Asimismo, en zonas urbanas existe una tendencia hacia el uso mixto de la tierra. Una consecuencia de este cambio es que las longitudes de viaje son más cortas y los modos de transporte distintos, convertidos en una opción más práctica.

Se puede esperar que el transporte en bicicleta o también el recorrido peatonal, vayan creciendo en el medioambiente urbano. Por tal razón en el proceso de Diseño, el proyectista tendrá que hacer la previsión necesaria para estas opciones de movilidad que a diario van creciendo más en su uso.

3.1.1.3.2. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

Para poder entender los fundamentos principales que son base en el diseño de carreteras, debemos comprender las leyes del movimiento que rigen la interacción entre el vehículo y la carretera. Isaac Newton ha formulado leyes que ayudan a comprender esta problemática, estas son:

El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa y ocurre según la línea recta a lo largo de la cual aquella fuerza se imprime.

Con toda acción ocurre siempre una reacción igual y contraria: o sea, las acciones mutuas de dos cuerpos siempre son iguales y dirigidas en direcciones opuestas.

Mediante la aplicación de las leyes del movimiento, junto con la experimentación juiciosa, podemos obtener un conocimiento razonable de la interacción entre el vehículo y la carretera, ya que son esencialmente determinantes. En esencia, esta comprensión describe lo que un vehículo en movimiento a lo largo de una carretera puede hacer y no necesariamente lo que el conductor desea hacer.

Por tanto, para describir correctamente el sistema operativo de una carretera con estas leyes, se debe integrar el factor humano, que incluye las percepciones, las reacciones, la identificación, la evaluación, la decisión y las respuestas, de un amplio espectro de personas, ante circunstancias variables.

Existen Manuales de Diseño de Carreteras que tienden a centrarse en la dinámica del vehículo, restando importancia a todas las debilidades del componente humano del sistema, que se resume en un tiempo de reacción individual. El comportamiento humano, con acciones imprevisibles propias del comportamiento del medio, debe ser tomado en cuenta a la hora de realizar el diseño.

Investigaciones en cuanto a accidentes, a menudo revelan que no siempre la carretera o el vehículo fueron los factores que causaron el mismo, sino que el componente humano en el sistema fue la causa principal de lo sucedido.

Un vehículo en movimiento a lo largo de una carretera es un sistema muy complejo con una gama infinita de posibilidades y resultados.

Este sistema cuenta con numerosos elementos, cada uno con su propia probabilidad de falla. Cuando estos se incluyen como un conjunto de factores, la diversidad de elementos, aseguran que la posibilidad de falla del sistema en su conjunto es muy alta. La consecuencia y medida de estas fallas son los accidentes.

Según Hauer, los caminos diseñados según las normas no son seguros, ni inseguros, ni apropiadamente seguros; los caminos diseñados según las normas tienen un premeditado nivel de seguridad. Basa su afirmación en argumentos lógicos y ejemplos históricos, incluyendo al sistema el elemento humano. Asimismo, revela que las normas de diseño actuales tratan de representar a los usuarios viales mediante ciertos parámetros fijos y fallan en reconocer el hecho de que los usuarios recuerdan los caminos recorridos y el camino más allá y se adaptan al camino que ven adelante. Como resultado, la relación entre las normas de diseño vial y la seguridad vial no es clara, y el nivel de seguridad diseñado en los caminos es impremeditado.

Según la dinámica propuesta por Newton, tomando en cuenta el diagrama vectorial que describen las fuerzas que operan en un vehículo atravesando una curva con peralte, y si se ofrece una explicación adecuada de la situación, las curvas teóricamente no deberían ser los sectores de mayor frecuencia de accidentabilidad, y en el peor de los casos, los accidentes deberían tener exactamente la misma tasa de ocurrencia en las curvas como en las tangentes que la siguen o la preceden. Además, los vehículos que salen de la carretera deberían ser igualmente distribuidos entre el interior y el exterior de la curva. Sin embargo, la realidad revela que la tasa de accidentes en las curvas es mayor que en las tangentes y que la mayoría de los vehículos que salen de la vía, lo hacen hacia el exterior de la curva.

Evidentemente el diagrama de vectores no es una exposición completa o suficiente de la problemática existente. Por ejemplo, muchas veces los conductores solo dirigen en una curva a partir de su punto de partida, encontrándose obligados a seguir un camino con un radio menor que el previsto por el diseñador. Si la curva de diseño se encuentra en un radio mínimo, la subtrayectoria seguida por el conductor, que se convierte en muy mínima, de hecho, generará consecuencias sumamente imprevistas. Una reacción de pánico, en estas circunstancias, podría provocar que el vehículo se desviase y se encontraría fuera de control.

Si bien se hace referencia a un error humano como la causa principal para la mayoría de los accidentes, es de destacar que muchos conductores no cometen un error de manejo, en un mismo punto a lo largo de la carretera. Si bien es necesario reconsiderar el papel de los modelos de Newton en que se basan las normas geométricas, no debe dejarse de lado los factores humanos que requieren una evaluación sumamente cuidadosa.

3.1.1.3.3. FILOSOFÍAS DE DISEÑO

Comúnmente se han definido filosofías de diseño que tienden a ser simplistas y que ignoran los aspectos mencionados en los anteriores numerales. Estas filosofías de diseño persiguen una seguridad que deposita de manera excesiva sus argumentos en los modelos derivados de la dinámica de Newton.

La filosofía actual, se basa en la suposición de que cualquier diseño que se ajusta a las políticas establecidas para el Diseño Geométrico de la vía, es seguro y que aquellas que no, serían inseguras.

Este planteamiento que a menudo es asumido por los diseñadores, es aceptado por los tribunales cuando se trata de toma de decisiones sobre cuestiones de responsabilidad.

A pesar de que han transcurrido varias décadas de investigación de la compleja relación entre vehículo, carretera, conductor y seguridad de funcionamiento, esta temática no siempre es bien comprendida. Existen numerosos investigadores que han estudiado las relaciones entre las ta-

sas de accidentes y los elementos específicos del diseño geométrico, los resultados obtenidos no siempre han sido suficientes para la aplicación práctica.

Este aspecto se debe concretamente a la limitada visión de las investigaciones realizadas, las cuales, al examinar la relación entre los accidentes y los elementos de diseño individual, no toman en cuenta los efectos interactivos de otros parámetros, especialmente el factor humano, lo que podría conducir a la desvalorización de relaciones importantes.

Tomando en cuenta lo anteriormente expuesto, podemos concluir que se justifica la implementación de nuevas filosofías de diseño.

Esta nueva filosofía deberá tomar en cuenta dos niveles fundamentales. El primero, debe estar relacionado con la planificación geométrica, aspecto que pocas veces es expuesto en los Manuales de Diseño Geométrico de Carreteras. El segundo nivel del diseño geométrico es el que trata sobre la seguridad operacional en detalle. Este es el nivel en el que se centran los manuales, poniendo la misma atención en la eficacia y la seguridad de los elementos de la carretera. Se propone que, en la nueva filosofía, la seguridad debe ser considerada como primordial. Sacrificar la seguridad en aras de la eficiencia y la economía no es una práctica aceptable.

Por lo tanto, una filosofía más integral, debe basarse en el concepto de reducir la probabilidad de errores al nivel más bajo posible y además debe tratar de reducir las consecuencias de estos errores que se producen. Para lograr este objetivo, los diseños deben comenzar con un claro entendimiento del propósito y funcionalidad de la vía, seguida de una apropiada selección de los elementos de diseño y su consecuente integración con la forma del terreno y su uso actual y futuro. Una marca particular de la capacidad del Profesional en Diseño debe basarse en su capacidad de prever y optimizar los objetivos en conflicto que son inherentes a cualquier proyecto.

3.1.1.3.4. TÉCNICAS DE DISEÑO

Es importante establecer que, para obtener un diseño de vía aceptable, se debe recurrir a la experiencia y el estudio del profesional en diseño, aspecto que no podrá ser sustituido ni menospreciado en ninguna instancia. Sin embargo, existe una serie de herramientas y técnicas útiles, que se encuentran a disposición del diseñador. De las cuales es nuestro propósito tomar en cuenta las siguientes:

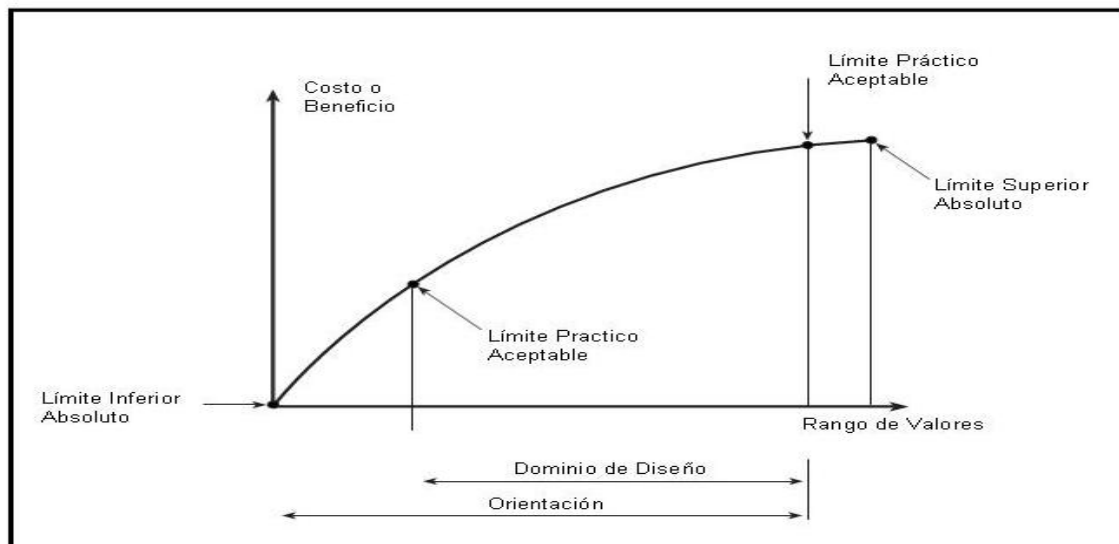
- » Concepto de Dominio de Diseño
- » Auditorias de Seguridad Vial
- » Análisis Económico
- » Flexibilidad en el diseño de la Carretera
- » Diseño Interactivo de la Carretera
- » Ingeniería de Valor y
- » Seguridad Sostenible

A. DISEÑO BAJO EL CONCEPTO DE “DOMINIO DE DISEÑO”

El concepto de “Dominio de Diseño”, establece que para cualquier parámetro de diseño existe siempre un rango de valores que podrían ser adoptados, con un límite superior y uno inferior. El valor adoptado para un determinado parámetro de diseño debe lograr un nivel aceptable de rendimiento en las condiciones medias en términos de seguridad, funcionamiento y consecuencias económicas y ambientales.

La Figura 3.1_1 ilustra el concepto mencionado.

Figura 3.1_1. Concepto de Dominio de Diseño



Mientras que los valores dentro de la región inferior del dominio de diseño de un parámetro de diseño en particular, son generalmente menos seguros y menos eficientes operativamente, normalmente son de menor costo que los de la región superior.

En la región superior del dominio, los valores obtenidos para el diseño son en general más seguros y eficientes en la operación, pero suelen conllevar a un mayor costo constructivo. De hecho, el concepto de Dominio de Diseño establece el límite en el que los parámetros deben ser seleccionados para su evaluación mediante el concepto de “Ingeniería de Valor”.

Durante los últimos años ha habido muchos avances en cuanto al diseño de carreteras y los procedimientos de evaluación de la seguridad y la operabilidad.

Estas mejoras, así como las iniciativas en la evaluación y auditoría en los sistemas viales, han mejorado considerablemente los procesos de Diseño de Carreteras.

Todo lo anteriormente mencionado, hace práctico el considerar los valores de los parámetros de diseño mediante el concepto de Dominio de Diseño, ya que esto facilita la estimación en cuanto a cambios de nivel de servicio, costos y seguridad.

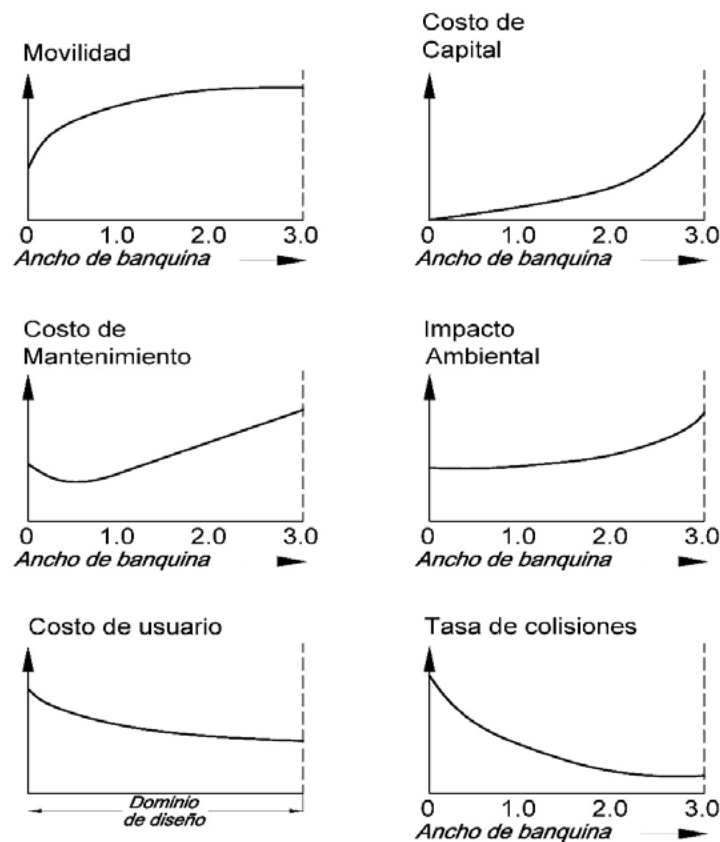
Si el diseñador no cuenta con valores para un determinado parámetro de diseño, deberá orientarse en la literatura existente en cuanto a la sensibilidad de la seguridad ante los cambios de los valores de los parámetros de diseño. Sin embargo, este tipo de literatura es limitada en comparación con la literatura dirigida a la evaluación de funcionamiento o costos de construcción.

El tomar en cuenta el concepto de “Dominio de Diseño”, conlleva los siguientes beneficios:

- ▶ El concepto se encuentra directamente relacionado con la verdadera naturaleza del proceso y función del diseño de carreteras, pues pone mayor énfasis en el desarrollo adecuado de la vía y su rentabilidad, que en el concepto simplista del cumplimiento de las normas.
- ▶ Refleja directamente la representación continua de la relación entre los servicios, el costo, la seguridad y los cambios de los valores de las dimensiones de diseño. Por lo tanto, refuerza la necesidad de considerar los impactos de las compensaciones en todo el dominio.
- ▶ Proporciona una conexión implícita con el concepto de “Factor de Seguridad”, un concepto que fue extraído de otros proyectos de ingeniería relacionados a los procesos de riesgo y seguridad.

La Figura 3.1_2 es un ejemplo de cómo pueden variar los costos y beneficios variando el valor de un parámetro de diseño en concreto, dentro del Dominio de Diseño, en el caso de la Figura 3.1_2 se ha variado el ancho de la banquina. La aplicación de este concepto a todos los parámetros de diseño dará lugar a un óptimo diseño del Proyecto.

Figura 3.1_2. Ejemplo de Aplicación del Concepto de Dominio de Diseño – Variando el Ancho de la Banquina



La aplicación del concepto de Dominio de Diseño, en la práctica plantea algunos problemas. En algunos casos, el concepto de obtener un Dominio de Diseño con límites superior e inferior y una serie continua de valores intermedios, puede no ser práctico ni deseable.

Un ejemplo de lo anteriormente planteado es la apreciación en cuanto al ancho de carriles. En este caso solo se puede considerar una serie de valores discretos para la dimensión en cuestión.

En otros casos, puede que no exista un límite superior en el Dominio de Diseño, respecto a lo que es lo práctico y económico.

El diseñador debe respetar los controles y las limitaciones en mayor o menor grado, de los parámetros, dependiendo de su naturaleza y significado. A menudo, el diseñador se enfrenta ante el dilema de no poder elegir las dimensiones de diseño o criterios que satisfagan a todos los controles y restricciones. Esto trata de decisiones de ingeniería que requieren experiencia, conocimiento y una buena apreciación de los valores de la comunidad.

Algunos criterios de diseño, como el espacio vertical en las estructuras son inviolables. Otros son menos rígidos y algunos son poco más que sugerencias. Algunos de los valores elegidos son por razones de seguridad o por servicio o capacidad, mientras que otros se basan en la comodidad, confortabilidad o valores estéticos. La elección de criterios de diseño es muy importante en el proceso de Diseño Geométrico y es esencial que el diseñador tenga una buena compren-

sión de su origen y antecedentes. Un diseño cuidadosamente preparado por un diseñador que tiene un buen conocimiento, no sólo de los criterios, sino también de su origen y fundamento, y que realice una juiciosa aplicación de valores de la comunidad, podrá obtener el nivel deseado de servicio, seguridad y economía.

Para muchos elementos, una serie de dimensiones es dada y el diseñador tiene la responsabilidad de elegir el valor adecuado para un parámetro de diseño en particular. Un diseñador que tiene en mente trabajar con base en la economía, puede verse tentado a aplicar un valor mínimo o máximo, basado en un razonamiento de que mientras el valor está dentro de un rango aceptable el diseño es satisfactorio. El diseñador puede encontrar conveniente reducir los valores de los criterios de diseño, siendo esta no necesariamente una mala opción. Sin embargo, las consecuencias deben ser completamente analizadas y comprendidas, especialmente en lo que se refiere a los impactos sobre la seguridad y la relación costo beneficio. Las medidas de alivio, tales como el uso de dispositivos de control de tráfico, deben ser necesariamente consideradas en el proceso de diseño.

Finalmente se debe resaltar la necesidad de obtener un diseño equilibrado en cuanto a los aspectos mencionados.

B. AUDITORÍAS DE SEGURIDAD VIAL Y EL DISEÑO DE CARRETERAS

Como su nombre indica, la auditoria de seguridad vial es un proceso estructurado que reúne conocimientos especializados y explícitos en seguridad vial, que pueden ser cuantitativamente considerados para apoyar la concepción de un proyecto vial. Se trata de un examen formal de un proyecto futuro o ya existente, en el que una organización independiente con un equipo cualificado, elabora los informes sobre las posibilidades de accidentes y la seguridad de un proyecto.

Los beneficios de realizar una auditoría de seguridad vial son:

- Una reducción en la probabilidad de accidentes en la red de carreteras.
- Una reducción en la gravedad de los accidentes en la red de carreteras.
- Una mayor conciencia de las prácticas de seguridad en el diseño de carreteras, asegurando un trabajo conjunto entre los ingenieros diseñadores y los de tráfico.
- Una reducción en los gastos de las medidas correctivas.
- Una reducción en el costo total de una carretera durante su ciclo de vida.
- Las experiencias realizadas en Australia y Nueva Zelanda, han demostrado que la realización de auditorías de seguridad vial, reducen un cuatro por ciento el costo de un proyecto vial.

Sin embargo, es necesario equiparar este costo de los beneficios potenciales de la auditoria de seguridad vial, por ejemplo:

- Un ahorro de tiempo y costos al cambiar los detalles del proyecto en la fase de planificación y diseño, en lugar de modificar o eliminar un elemento de la vía una vez construido.
- Una reducción en la probabilidad de accidentes y por lo tanto en los costos que conllevan los mismos.
- Una reducción en los costos legales.
- Los objetivos de una auditoria de seguridad vial son:
- Identificar e informar sobre el peligro de accidentes y la seguridad de un proyecto vial

- Garantizar que se eliminen los elementos ya emplazados de una carretera, en sectores potenciales de accidentes
- Que el riesgo de accidentes sea reducido

La auditoría de seguridad vial puede ser realizada en cualquiera de las siguientes etapas, sin embargo, mientras antes se realice será mejor:

- Primera Etapa: Diseño Preliminar
- Segunda Etapa: Fase de Anteproyecto
- Tercera Etapa: Fase de Diseño Final
- Cuarta Etapa: Fase de Construcción
- Quinta Etapa: Fase de Entrega Preliminar
- Sexta Etapa: Fase de Entrega Final y Puesta en Servicio

C. ANÁLISIS ECONÓMICO Y EL DISEÑO DE CARRETERAS O CAMINOS

Los análisis económicos forman parte intrínseca de cualquier proyecto de ingeniería civil en la que el “Valor Económico” es un concepto importante.

Las carreteras son esenciales para la movilización de personas y mercancías. Los beneficios de esta movilización alcanzan un costo. La construcción de una carretera tiene un costo de construcción y mantenimiento, consume espacio y afecta al medio ambiente, genera ruido y contaminación, etc. Todos estos con los costos de movilidad.

Al gastar más dinero en la construcción, otros costos pueden reducirse (por ejemplo, el tiempo de viaje se reduce). Asimismo, los gastos adicionales deben crear incrementos en los beneficios y reducciones en otros gastos. Los análisis económicos realizan una evaluación de compensaciones entre costos y beneficios.

El análisis aplicado a un camino puede ser muy complejo, dependiendo del alcance del proyecto. Muchas evaluaciones formales e informales pueden haber sido llevadas a cabo y las decisiones haber sido tomadas, antes de que el diseñador se involucre. En casos extremos el diseñador puede encontrarse muy limitado por las decisiones ya adoptadas, que hay pocas o ninguna oportunidad de que él pueda juzgar costos y beneficios. Sin embargo, es tarea del diseñador incorporar criterios de planificación y diseño, siempre que esto sea posible. El diseñador también debe identificar situaciones en las que las decisiones adoptadas puedan limitar injustificadamente un óptimo diseño. Cuando se presentan de manera efectiva las justificaciones realizadas por el diseñador, los cambios pueden afectar el plan de trabajo y el alcance de los proyectos, influyendo también esto en el cambio de las políticas actuales.

El Ingeniero en Diseño Geométrico de Carreteras, determina la alineación horizontal y vertical y la sección transversal en cada punto de la carretera. Asimismo, realizará una planificación especial en cada zona de intersección de vías, de manera de determinar los movimientos divergentes, convergentes y contradictorios del tráfico. En la selección de las dimensiones de diseño, el diseñador puede afectar directamente algunos de los beneficios, costos e impactos de la carretera y planificar su ensanchamiento futuro.

La particularidad de un profesional en diseño de carreteras se debe ver reflejada en su capacidad de optimizar y prever que las decisiones adoptadas en el diseño repercutan en los beneficios, costos e impactos del proyecto.

Para la mayoría, si no todos los proyectos de carreteras, el diseñador tendrá cierto margen para emitir juicios de valor, aunque esto variará cuando existen decisiones políticas ya realizadas.

Los factores en los que el diseñador puede influenciar con su criterio, son los siguientes:

- Movilidad
- Impactos Ambientales
- Seguridad
- Costos de Capital
- Estética
- Costos de mantenimiento
- Costos de operación del vehículo

Para influir respecto a estos factores, el diseñador se guiará por las decisiones de políticas de su competencia, tales como la importancia relativa de los costos de mantenimiento frente a los costos de capital o en el consumo de combustible y la contaminación del aire frente al costo de capital.

D. FLEXIBILIDAD EN EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA CARRETERA

Una revisión de las normas contenidas en este y otros manuales, revelará rápidamente que las mismas permiten cierto grado de flexibilidad en el diseño. El grado en que esta flexibilidad se emplea en el proceso de diseño es, de hecho, nada más que la aplicación de la técnica y la ciencia de la ingeniería.

En un intento de formalizar el proceso y orientar las decisiones adecuadas para el diseñador, el Departamento de Transportes de los Estados Unidos, publicó un informe en 1.997 titulado “Flexibilidad en el Diseño de la Autopista”.

Este documento se compone de tres secciones principales: Una introducción al proceso de diseño de carreteras, las directrices generales en referencia a los principales elementos de diseño de la carretera, y ejemplos de diseño de seis proyectos presentados como estudios para el caso.

Los conceptos descritos en el documento anteriormente mencionado, actualmente son comúnmente conocidos como “Diseño Sensible al Contexto”.

El concepto más importante a tener en cuenta durante todo el proceso de diseño de la carretera, es que cada proyecto es en verdad único. El valor y las características de una zona, las costumbres y valores de la comunidad que se encuentra en el área de influencia, sus necesidades, las necesidades de los usuarios de las carreteras, los desafíos físicos y sus oportunidades, son factores únicos que los diseñadores de carreteras deben tener en cuenta en cada proyecto.

Para cada proyecto, los diseñadores se enfrentan a la tarea de equilibrar la necesidad de mejora de la carretera con la necesidad de integrar en forma segura el diseño, en torno a los alrededores naturales y humanos.

Para lograr esto, los diseñadores de carreteras deben aplicar el concepto de “Flexibilidad en el Diseño”. Hay un número de opciones disponibles para ayudar en la consecución de un diseño vial equilibrado y para resolver los problemas de diseño. Entre ellos están los siguientes:

- Aplicar la flexibilidad disponible en cuanto a los estándares de diseño.
- Las excepciones de diseño pueden ser necesarias, cuando las consecuencias de impacto ambiental son grandes.

- Volver a evaluar las decisiones tomadas en la etapa de planificación del proyecto y en la fase de evaluación de impacto ambiental.
- Bajar la velocidad de diseño, cuando sea apropiado.
- Mantener la geometría horizontal y vertical de la carretera existente y la sección transversal, donde sea posible.
- Considerar la elaboración de normas de diseño alternativas, especialmente para las carreteras turísticas o históricas.
- Analizar la seguridad y la operabilidad para diseños futuros o modificaciones al diseño propuesto.

Además de aplicar el concepto de flexibilidad, un proceso exitoso de diseño de carreteras debe incluir la opinión pública. Para que esta sea eficaz, debe realizarse un sondeo de opinión incluso antes de identificar la necesidad de implementación del proyecto. Si el propósito principal y la necesidad de la mejora no han sido acordados, será muy difícil arribar a un consenso posterior. La opinión pública puede ayudar a evaluar las características de la zona y determinar las necesidades más valoradas por la comunidad, arribando con ello a un potencial impacto sobre la población. El conocimiento de estas características evaluadas de manera temprana, apoyará a que los criterios aplicados por los proyectistas, no sufran cambios durante el proyecto.

Luego de trabajar con la comunidad en la definición de las necesidades básicas del proyecto y tras haber evaluado las características físicas de la zona, la participación de los pobladores es necesaria para obtener datos para las alternativas de diseño. Trabajar con la comunidad afectada para resolver problemas de diseño a medida que surgen, es mucho más eficaz que intentar que estos participen cuando las decisiones de diseño ya han sido tomadas. Se debe hacer lo posible para que la comunidad participe en todas las zonas donde se identifiquen alternativas de cambio sobre el trazo existente o alternativas de trazo nuevas.

Una de las principales fuentes de permanente conflicto entre las carreteras y las comunidades a las que sirven, se relaciona con el tema de la clasificación funcional. En particular, la necesidad de identificar la “correcta” clasificación funcional de un tramo carretero, resolvería los conflictos potenciales de diseño antes de que estos tengan lugar.

Esta correcta clasificación puede realizarse haciendo revisiones de la clasificación funcional, en función del uso de la tierra adyacente al lugar de emplazamiento de la carretera.

Hay una serie de controles fundamentales que deben ser equilibrados unos con otros a objeto de obtener un mejor diseño. Estos controles incluyen:

- La velocidad de diseño de la carretera.
- El año de Diseño y el nivel de servicio para la hora pico de la carretera.
- Las características físicas del vehículo de diseño.
- Las características de rendimiento del vehículo de diseño.
- Las costumbres y capacidades del conductor de la carretera.
- La demanda de tráfico actual y futuro.

E. MODELO INTERACTIVO (IHSDM)

El Software IHSDM por sus siglas en inglés, Interactive Highway Safety Design Model (Modelo Interactivo de Diseño de Seguridad en Carreteras) es una herramienta de diseño desarrollada por la FHWA (Federal Highway Administration U.S.). Esta herramienta disponible en su versión 13.0.0 septiembre 2017 puede ser descargada en forma gratuita en <http://www.ihsdm.org>, el soporte técnico del usuario se encuentra disponible sin cargo en IHSDM.Support@dot.gov y 202-493-3407.

Esta herramienta de auditoría de diseño es la encargada de dar una evaluación a los diseños sobre los efectos en la seguridad, se puede aplicar tanto, en nuevas vías, como para vías existentes y realizarles la evaluación de cada uno de los diferentes módulos que ofrece el software.

IHSDM ofrece seis diversos módulos de evaluación que permiten hacer evaluaciones individuales o del conjunto y realizar más de un análisis al modelo, estos módulos son:

- CPM (Crash Prediction Module) Módulo de Predicción de Choques.
- DCM (Design Consistency Module) Módulo de Consistencia del Diseño.
- IRM (Intersection Review Module) Módulo de Recisión de Intersecciones.
- PRM (Policy Review Module) Módulo de Revisión de Políticas de Diseño.
- TAM (Traffic Analysis Module) Módulo de Análisis de Tráfico.
- DVM (Driver / Vehicle Module) Módulo de Conductor / Vehículo.

IHSDM tiene la ventaja de permitir trabajar ya sea en el sistema anglosajón o en el sistema métrico, lo cual hace más fácil su uso a nivel internacional. El software se rige bajo las normas AASHTO, pero estas pueden ser modificables según la región y sus normas. También cuenta con una completa lista de ejemplos sencillos de cada módulo y sus diferentes aplicaciones.

Los módulos PRM y CPM han sido diseñados para comprobar automáticamente si hay problemas de seguridad y para estimar las tasas de accidentes, con base en la información definida en el proyecto de diseño. Los otros módulos están diseñados para ayudar a los administradores de proyectos en la detección de problemas de seguridad relacionados con los factores de riesgo.

E1. Módulo de predicción de choques

El CPM estima la frecuencia de fallas esperadas en una carretera en función de su diseño geométrico y características de tráfico. Los algoritmos de predicción de fallos consideran el efecto de un número de segmentos de carretera y variables de intersección.

Se realizan estimaciones cuantitativas, incluyendo el número de accidentes de un determinado segmento de carretera o intersección, así como los porcentajes de accidentes graves y mortales.

El módulo permite a los usuarios comparar el número de accidentes durante un período de tiempo determinado para diferentes alternativas de diseño o para realizar análisis de sensibilidad en una sola alternativa.

El CPM puede proporcionar información para proyectar proyectos de mejora en carreteras existentes, comparar el rendimiento relativo de seguridad de las alternativas de diseño y evaluar la eficacia en función de los costos de seguridad de las decisiones de diseño.

E2. Módulo de consistencia en el diseño

El módulo de consistencia de diseño (DCM) ayuda a diagnosticar problemas de seguridad en curvas horizontales. Los choques en las carreteras rurales de dos carriles están sobrerrepre-

sentados en curvas horizontales, y las inconsistencias de velocidad son un factor común que contribuye a los choques en las curvas. Este módulo proporciona estimaciones de la magnitud de las posibles incoherencias de velocidad.

El DCM utiliza un modelo de perfil de velocidad que calcula las velocidades del 85% percentil, de flujo libre, del vehículo de pasajeros en cada punto a lo largo de una carretera. El modelo de perfil de velocidad combina velocidades estimadas del percentil 85 en curvas (combinaciones horizontales, verticales y horizontales-verticales), velocidades deseadas en tangentes largas, velocidades de aceleración y desaceleración de curvas de entrada y salida, y un algoritmo para estimar velocidades en grados verticales.

El modelo fue calibrado utilizando datos de velocidad recogidos en curvas horizontales y sus tangentes de aproximación en seis estados. El módulo identifica dos posibles problemas de consistencia:

- (1) grandes diferencias entre la velocidad de diseño asumida y la velocidad estimada del percentil 85, y
- (2) grandes cambios en las velocidades de percentil 85 desde una tangente de aproximación a una curva horizontal.

Las evaluaciones de consistencia del diseño brindan información valiosa para diagnosticar posibles problemas de seguridad en las autopistas existentes. También proporcionan controles de garantía de calidad de diseños de alineación preliminar y final propuestos.

E3. Módulo de revisión para intersecciones

El Módulo de Revisión de Intersección (IRM) realiza una revisión de diagnóstico para evaluar sistemáticamente un diseño de intersección para las preocupaciones de seguridad típicas.

El IRM es un sistema experto que guía al usuario a través de una evaluación sistemática de un diseño geométrico de intersección, existente o propuesto, para identificar posibles problemas de seguridad y posibles tratamientos para abordar esas preocupaciones. La revisión considera problemas de diseño que incluyen:

Configuración de intersección: intersecciones multileg, intersecciones asimétricas, intersecciones en T compensadas y más de un enfoque de caminos secundarios en el mismo lado de la carretera principal.

Alineación horizontal: intersección en curva horizontal, curva en el tramo de intersección y alineación de aproximación que difiere entre los enfoques opuestos.

Alineación vertical: intersección en la curva vertical de la cresta, cresta o curva vertical de hundimiento en el enfoque de intersección, pendiente pronunciada a través de la intersección y continuidad del perfil de la carretera secundaria a través de la intersección.

Distancia de la vista de intersección

El IRM puede proporcionar información útil para el alcance del proyecto, la ingeniería preliminar y la revisión del diseño.

E4. Módulo de análisis de tránsito

El Módulo de análisis de tráfico utiliza el modelo de simulación de tráfico TWOPAS para estimar las medidas de calidad de servicio del tráfico para un diseño existente o propuesto bajo flujos de tráfico futuros actuales o proyectados. El módulo de análisis de tráfico facilita el uso de TWOPAS al alimentarlo con los datos de geometría de camino almacenados por IHSDM.

TWOPAS es el modelo de simulación de tráfico microscópico utilizado para desarrollar el capítulo de carretera de dos carriles del “Manual de capacidad de carretera” de la Junta de investigación de transporte (TRB). TWOPAS produce medidas que incluyen la velocidad promedio y el porcentaje de tiempo dedicado a otros vehículos. TWOPAS tiene la capacidad de simular cualquier combinación de pendientes, curvas, restricciones visuales, zonas sin paso y carriles de paso y escalada.

El módulo de análisis de tráfico es particularmente útil durante el alcance del proyecto y la ingeniería preliminar para evaluar el rendimiento operativo de las alternativas a las secciones transversales de dos carriles, incluidos los carriles de paso, las vías de escalada y las secciones cortas de cuatro carriles.

E5. Módulo de comportamiento conductor/vehículo

El objetivo del Módulo de Conductor / Vehículo es permitirle al usuario evaluar cómo un conductor manejaría un vehículo (por ejemplo, un automóvil de pasajeros o tractor-remolque) dentro del contexto de un diseño de carretera e identificar si existen condiciones en un diseño dado que podría ocasionar la pérdida del control del vehículo (p. ej., derrape o vuelco).

El Módulo de conductor / vehículo consiste en un Modelo de rendimiento del conductor vinculado a un Modelo de dinámica del vehículo. El rendimiento del conductor se ve influenciado por las señales del sistema de carretera / vehículo (es decir, los conductores modifican su comportamiento en función de los comentarios del vehículo y la carretera). El rendimiento del vehículo es, a su vez, afectado por el comportamiento / rendimiento del conductor. El Driver Performance Model estima la velocidad y el recorrido de un conductor a lo largo de una carretera rural de dos carriles en ausencia de otro tráfico. Las estimaciones resultantes sirven como entrada para el Modelo de Dinámica del Vehículo, que estima medidas que incluyen la aceleración lateral, la demanda de fricción y el momento de rodadura.

F. INGENIERIA DE VALOR

El diseño de carreteras se realiza generalmente en un ambiente de presupuesto limitado, donde con el menor costo se debe abarcar la mayor cantidad posible de kilómetros de carretera. Por esta razón, los diseñadores se encuentran bajo una considerable presión de asegurar la minimización de los costos.

Si bien la economía y la eficiencia fiscal es un objetivo clave en todos los diseños, es esencial realizar un análisis exhaustivo de los parámetros de diseño a ser aplicados, así como una evaluación pormenorizada en cuanto a la seguridad, costos de construcción y mantenimiento, impacto ambiental y los impactos operacionales.

Un método de análisis de lo anteriormente expuesto, es el concepto de “Ingeniería de Valor”, que es una técnica de gestión probada, basada en un estudio exhaustivo y sistemático que apunte al establecimiento de proyectos que cuenten con el mejor equilibrio entre su costo, su seguridad y su rendimiento.

En el contexto del Diseño de Carreteras, lo que significa la introducción del concepto de “Ingeniería de Valor”, debería ser más que una simple manera de reducir al mínimo los costos de construcción, debería significar la aplicación de conceptos de seguridad, rendimiento operativo y calidad. De hecho, la “Ingeniería de Valor” puede, y a veces lo hace, mejorar los costos de construcción de manera de reducir los costos durante el ciclo de vida.

Más y más autoridades, están utilizando el concepto de “Ingeniería de Valor” a objeto de obtener costos de diseño de mayor eficacia. Si se aplica correctamente este concepto, será un aporte valioso para el proceso de diseño funcional, donde se evalúan de forma explícita y cuantitativa, la gama completa de los costos que intervienen en el ciclo de vida, así como sus beneficios.

Ingenieros de diseño que actúan de manera independiente dentro de un equipo de diseño, a menudo no aplican el concepto de “Ingeniería de Valor”. El concepto debe ser aplicable en todo momento y a lo largo de todo el diseño, por todos los que conforman el equipo de diseño. Si se cumple ello, la aplicación independiente del concepto de “Ingeniería de Valor” se hará menos necesaria.

G. SEGURIDAD SOSTENIBLE

A principios de la década de 1990, para mejorar la seguridad vial en los Países Bajos, el Instituto de Investigación de Seguridad Vial (SWOV) desarrolló un concepto de “Seguridad sostenible” basado en la evidencia. Desde aquí, la política holandesa de seguridad vial se consideró exitosa y una buena práctica en Europa.

La seguridad sostenible representa un enfoque integrado para un sistema de tráfico que consta de tres componentes principales: ‘humano’, ‘vehículo’ y ‘diseño’ (Koornstra et al., 1992; SWOV 1993). El objetivo principal de la Seguridad Sostenible es prevenir accidentes (severos) y, si es imposible, disminuir la posibilidad de una lesión grave. El punto de partida es el ser humano: su físico vulnerabilidades, pero también sus capacidades (las personas cometen errores y no siempre observan las reglas).

En un sistema de tráfico vial sostenible y seguro, todo se ajusta a las limitaciones y capacidades del usuario de la carretera. La infraestructura vial debe diseñarse de manera uniforme según los conocimientos científicos, para eliminar encuentros peligrosos entre los usuarios de la carretera, y para dejar en claro cómo deben comportarse los usuarios de la carretera. La educación es se usa para instruir a las personas sobre el comportamiento apropiado en el tráfico y, finalmente, para hacer cumplir debería verificar si la participación en el tráfico está relacionada con la seguridad.

La seguridad sostenible apunta al camino medidas de seguridad que intervienen lo antes posible en la “cadena” desde el diseño del sistema hasta, en última instancia, el comportamiento del tráfico. En la visión de Seguridad Sostenible, cinco principios son centrales (ver Tabla 3.1_1). Los dos últimos principios, el perdón y la conciencia del estado, se agregaron cuando la visión se actualizó en 2005. Los temas de la educación del usuario de la carretera, la aplicación del comportamiento del tráfico y los sistemas de transporte inteligentes, especialmente, se elaboraron más a fondo (Wegman y Aarts 2006; Wegman et al., 2008).

Tabla 3.1_1. BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS CINCO PRINCIPIOS DE SEGURIDAD SOSTENIBLE

Principio de seguridad sostenible	Descripción
Funcionalidad de carreteras	Mono-funcionalidad de carreteras, ya sea a de carreteras de paso, vías de distribución, vías de acceso, de forma jerárquica red vial estructurada
Homogeneidad de masas y / o velocidad y dirección	Igualdad en velocidad, dirección y masas a medio y altas velocidades
Previsibilidad del rumbo del camino y usuario de la carretera comportamiento por un diseño de camino reconocible	El entorno vial y el comportamiento de los usuarios de la carretera que apoyan las expectativas del usuario de la carretera a través de la coherencia y la continuidad en el diseño de carreteras
Perdón del medio ambiente y de los usuarios de la carretera	Limitación de lesiones a través de un entorno de carretera tolerante y anticipación del comportamiento del usuario de la carretera
Conciencia del estado por el usuario de la carretera	Capacidad para evaluar la capacidad de la propia tarea

Fuente: F. Wegman y L. Aarts (eds). 2006. Avance de la seguridad sostenible. Perspectivas nacionales de seguridad vial para 2005-2020. Leidschendam: SWOV.

SECCION 3.1.1.4.

CONCEPTOS BÁSICOS DE DISEÑO

3.1.1.4.1. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO DE UNA CARRETERA O CAMINO

A. CLASIFICACIÓN DE LOS FACTORES

A1. Aspectos Generales

Se ha establecido que existen muchos factores que influyen en diferentes grados al diseño de una carretera, los cuales no pueden ser considerados en justa proporción al momento de la elaboración del proyecto.

A2. Factores Funcionales

Los factores funcionales tienen relación con el servicio para el cual la carretera debe ser diseñada, entre estos se tienen los siguientes:

Función que cumple la carretera

Volumen de tránsito inicial y futuro, su composición y características

Velocidad de Proyecto y Velocidad de Operación

Seguridad para los usuarios

Relación con otras vías y la propiedad colindante

A3. Factores Físicos

Los factores físicos en carreteras, son aquellos que se relacionan con las condiciones impuestas por la naturaleza en la zona del trazado, los principales factores de este tipo son:

Relieve, condiciones topográficas

Hidrografía

Geología

Clima

A4. Factores Económicos o de Costo

Es de mucha importancia considerar los factores de carácter económico, que atañen tanto al costo de construcción de la carretera como al costo de explotación de la misma. La minimización de ambos costos en consonancia con los factores anteriormente tratados proporcionase la solución al diseño óptimo de la carretera.

Los costos obtenidos para la construcción de una carretera, son consecuencia de la categoría de diseño adoptada para ella. Esta relación es tan directa que muchas veces actúa como un criterio retro alimentador que obliga a modificar decisiones anteriormente adoptadas respecto de las características asignadas a un Proyecto.

A5. Factores Humanos y Ambientales

Todo diseño de carreteras debe ser realizado sin duda alguna en relación con las características de la comunidad a la que se pretende servir y el medio ambiente en que ésta se encuentra inserta.

Factores humanos y ambientales que influyen en mayor grado las decisiones en relación a un Proyecto de carreteras son por ejemplo los siguientes:

- Idiosincrasia de usuarios y peatones
- Uso de la tierra adyacente al eje vial
- Actividad de la zona de influencia
- Aspectos ambientales-impacto y mitigación

Es importante que el proyectista a tiempo de realizar el diseño encomendado, tome en cuenta estos factores que son indispensables en el desarrollo del proyecto.

B. PONDERACIÓN CUALITATIVA DE LOS FACTORES MÁS RELEVANTES

Los diversos factores mencionados con anterioridad se influyen entre si y adquieren mayor relevancia según sea la función asignada a la carretera y las características del entorno en que ésta se encuentra.

Aunque han existido buenas intenciones para obtener criterios o metodologías que permitan considerar una exacta ponderación de estos factores, el hecho no ha sido posible. Es por eso que a continuación tan solo destacamos los aspectos que, por lo general, influyen en mayor grado, las decisiones a adoptar en relación a un proyecto específico.

El tipo y calidad de servicio que la carretera debe brindar al usuario y a la comunidad nacional regional o local, según corresponda, debe definirse en forma clara y objetiva, ya que de ello dependerá la categoría asignada al proyecto y las eventuales restricciones que deberán imponerse al usuario y a los habitantes y centros de actividad económica de la zona de influencia.

La seguridad para el usuario y para aquéllos que de algún modo se relacionen con la carretera constituye un factor fundamental que no debe ser negociado por consideraciones de otro orden.

La inversión inicial en una carretera es sólo uno de los factores de costo y debe ser siempre ponderado conjuntamente con los costos de conservación y operación a lo largo de la vida de la obra.

La acertada selección de la categoría que le corresponde a un proyecto específico, así como la correcta aplicación de las técnicas de diseño permiten, mediante un tratamiento cuidadoso de los sectores conflictivos, obtener un equilibrio óptimo entre seguridad deseable, calidad de servicio y rentabilidad social del proyecto.

La oportuna consideración del impacto de un proyecto sobre el medio ambiente; permite evitar o minimizar daños que en otras circunstancias se vuelven irreparables. Por otra parte, la compatibilización de los aspectos técnicos con los aspectos estéticos, está normalmente asociada a una más alta calidad final del proyecto.

3.1.1.4.2. CRITERIOS PARA DEFINIR LAS CARACTERÍSTICAS DE UNA CARRETERA O CAMINO

A. ASPECTOS GENERALES

Carretera es el término utilizado para referirse a Autopistas, Multicarriles, Bidireccionales, Colectores, Locales y de Desarrollo, que se empleará según corresponda, en la designación de vías de características de diseño altas, adecuadas para acomodar importantes volúmenes de tránsito de paso circulando a velocidades elevadas, y que cuenten con pavimento de tipo superior. También serán designadas así las vías de características geométricas medias y mínimas, adecuadas para dar servicio a volúmenes moderados y bajos de tránsito, cuya función principal consiste en dar acceso a la propiedad adyacente, en este último caso las vías podrán llevar también la denominación de Camino.

B. FUNCIÓN DE LA CARRETERA O CAMINO

La carretera es una infraestructura de transporte que tiene como finalidad permitir la circulación de vehículos en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y de comodidad. Puede estar constituida por una o varias calzadas, uno o varios sentidos de circulación o uno o varios carriles en cada sentido, de acuerdo con las exigencias de la demanda de tránsito y la clasificación funcional de la misma.

Al realizar el diseño de una carretera, interesa posibilitar velocidades de desplazamiento elevadas, que puedan ser mantenidas a lo largo de la misma en condiciones seguras. Para que se justifiquen económicamente las inversiones que implica la infraestructura asociada a este tipo de servicio, se requerirán demandas de tránsito elevadas como promedio diario anual. Los elevados volúmenes de tránsito a que se hace referencia obligan, normalmente a pasar de carreteras de dos carriles para tránsito bidireccional a carreteras de cuatro o más carriles destinadas a tránsito unidireccional. Esta definición debe ser tomada con el objeto de evitar problemas de congestión que invalidan la función asignada, para permitir tránsito ininterrumpido a elevados volúmenes de demanda en los que coexistirán vehículos rápidos y lentos (automóviles y camiones), sin que unos restrinjan la libertad de maniobra y selección de velocidad deseadas por los otros. En estos casos resulta indispensable restringir el acceso hacia o desde la propiedad colindante y dar un tratamiento especial al cruce de la carretera con otras vías de tránsito. Normalmente este tipo de Carreteras está destinado a viajes largos y su importancia es de orden nacional o al menos interregional; el porcentaje de kilómetros respecto del total de la red es bajo.

En el caso de carreteras cuya función primordial es la de dar acceso a la propiedad colindante deberá permitirse todos los movimientos que ello implica, con la consecuente restricción impuesta a los vehículos en tránsito. Su zona de influencia es limitada y por ende los volúmenes de tránsito que los solicitan no pasan de algunos cientos como promedio diario anual. La longitud de los viajes en este tipo de caminos suele ser corta, ya que normalmente ellos empalman con otras vías de categoría superior.

La función que cumplen, así como los bajos volúmenes de tránsito que los utilizan obligan, por consideraciones económicas y de seguridad para usuarios y habitantes de la propiedad colindante, a considerar velocidades de desplazamiento por lo general moderadas a bajas.

Estas carreteras rara vez llegan a presentar problemas de congestión, pero es común que la evolución de tránsito en una carretera inicialmente construida con capa de grava llegue a justificar una superficie de rodadura pavimentada situación que debe tenerse presente al seleccionar sus características geométricas de diseño. Dentro de la Clasificación Funcional para Diseño este tipo de vías corresponde a las categorías que se han denominado como Carreteras Locales y de Desarrollo.

Cuando el servicio al tránsito de paso y a la propiedad colindante presenta similar importancia y además acceden a ella numerosos caminos de tipo local o de desarrollo, se enfrenta una si-

tuación intermedia respecto de las antes descritas. En efecto, los volúmenes de tránsito pueden fluctuar entre varios cientos y algunos miles de vehículos, pudiendo preverse en algunos casos problemas de congestión que obliguen a consultar ampliaciones a lo largo de la vida económica de la carretera.

La Velocidad de Operación deseable en este tipo de caminos será mayor que en los caminos de tipo local, pero en razón de su función mixta no podrá ser tan alta como en Carreteras Bidireccionales, Multicarril y Autopistas. Por otra parte, según sean los volúmenes de tránsito previstos, el acceso a la propiedad puede verse restringido en cierta medida y el empalme o cruce con otros caminos requerir un tratamiento especial.

Este tipo de vías cumple una función de colector de tránsito. En caso de existir Carreteras Bidireccionales o eventualmente Autopista en la zona de influencia de la Carretera Colectora, será éste el que se conecte con dichas vías mediante las obras especiales de intercambio de tránsito.

C. DEMANDA Y CARACTERÍSTICAS DEL TRÁNSITO

C1. Aspectos Generales

Para seleccionar la categoría que se debe dar a una determinada vía, es indispensable tener una acertada predicción de los volúmenes de demanda, su composición y la evolución que estas variables puedan experimentar a lo largo de la vida de diseño.

A continuación, se describen los principales indicadores que intervendrá en el proceso de selección de la categoría de la vía.

C2. Tránsito Medio Diario Anual (TMDA)

El Tránsito Promedio Diario Anual, es la representación del promedio aritmético de los volúmenes diarios de tráfico para todos los días del año, previsible o existente en una sección dada de la vía. Su conocimiento da una idea cuantitativa de la importancia de la carretera en la sección considerada.

C3. Clasificación por Tipo de Vehículo.

Expresa en porcentaje la participación que le corresponde en el TMDA a las diferentes categorías de vehículos, debiendo diferenciarse por lo menos las siguientes:

- Vehículos livianos: automóviles, camionetas de hasta 1.500 kg
- Locomoción colectiva: buses rurales e interurbanos
- Camiones: unidad simple para transporte de carga.
- Camión con semirremolque o remolque: unidad compuesta para transporte de carga.

Según sea la función del camino la composición del tránsito variará en forma importante de una a otra vía.

En países en vías de desarrollo la composición porcentual de los distintos tipos de vehículos suele ser variable en el tiempo.

C4. Demanda Horaria.

En caminos de alto tránsito es el Volumen Horario de Diseño (VHD), y no el TMDA, lo que determina las características que deben otorgarse al proyecto para evitar problemas de congestión y determinar condiciones de servicio aceptables. El VHD deberá obtenerse a partir de una ordenación decreciente de los mayores volúmenes horarios registrados a lo largo de todo un año. Al graficar estos valores se podrá establecer el volumen horario de demanda máxima normal, que para la mayoría de los caminos de tránsito mixto (aquellos que no presentan una

componente especializada preponderante, por ejemplo: turismo) coincide con el volumen asociado a la trigésima hora de mayor demanda. Los volúmenes asociados a las horas que ocupan las primeras posiciones en la ordenación decreciente se consideran máximos extraordinarios en los que se acepta cierto grado de congestión al final del horizonte de diseño del proyecto. El volumen asociado a la trigésima hora será mayor aunque similar, que los volúmenes previsibles en una gran cantidad de horas al año que figuran a continuación de la trigésima hora (Hora 30); de allí su definición como máximo normal. Algunos países adoptan para el diseño la Hora 100.

En caso que la información ordenada gráficamente no presente el comportamiento descrito, se deberá adoptar un criterio adecuado que permita establecer el volumen a considerar como máximo normal para el diseño. De lo anteriormente expuesto se infiere que el VHD considera las demandas críticas tomando en cuenta las variaciones estacionales y diarias que normalmente presenta una carretera. Por otra parte el VHD debe ser proyectado al término del periodo de diseño a fin de considerar su evolución en el tiempo.

A falta de información estadística que permita elaborar el análisis detallado del comportamiento horario actual de una ruta existente o para estimar el VHD de una nueva ruta, se podrá utilizar la relación empírica extensamente comprobada en caminos de tránsito mixto, que relaciona el TMDA con el VHD:

VHD año $i = 0,12 - 0,18$ del TMDA año i (VHD año $i = 0,10 - 0,15$ del TMDA i para Hora 100)

Coefficientes del orden de 0,12 corresponden por lo general a carreteras de tránsito mixto con variaciones estacionales moderadas (0,10 para Hora 100).

Coefficientes del orden 0,18 se asocian a carreteras con variaciones estacionales marcadas, causadas normalmente por componentes de tipo turístico (0,15 para Hora 100).

Es importante hacer notar que mientras no se produzca un cambio importante en el Sistema de Actividades del área de influencia de la ruta, la relación entre el VHD y el TMDA se mantendrá razonablemente constante en el tiempo.

En cuanto a la composición por categoría de vehículo, es necesario tener presente que los volúmenes horarios máximos se producen por un incremento de los vehículos livianos, y en los casos con componente turística, este incremento se da en días coincidentes con una baja en el volumen de camiones. En definitiva el VHD presentara normalmente una composición porcentual diferente de la que se observa para el TMDA, situación que deberá analizarse en cada caso particular.

C5.Crecimiento del Tránsito.

Deben establecerse los volúmenes de tránsito presentes en el año de puesta en servicio del proyecto y aquéllos correspondientes al año horizonte de diseño. Ello, además de fijar algunas características del proyecto, permite eventualmente elaborar un programa de construcción por etapas.

En el caso de caminos locales o de desarrollo que por lo general no inducen cambios estructurales en la red vial y que rara vez enfrentan problemas de congestión a lo largo de su vida de diseño, tasas de crecimiento de tipo histórico observadas en la región pueden ser suficientes para abordar el problema. En el caso de Autopistas, Autorrutas, Primarios y eventualmente Colectores, se requerirá un estudio especial para proyectar la evolución del tránsito en todos sus aspectos, según se resume en el Capítulo 2.600 del MC-V2 y se estudia detalladamente en el Tomo II del MC-V1.

D. CONCEPTOS RELATIVOS A VELOCIDAD EN EL DISEÑO VIAL

D1. Velocidad de Proyecto (V_p)

La velocidad de proyecto de una carretera es la velocidad que se escoge para determinar y relacionar entre sí las características geométricas o físicas de la misma, tales como el peralte, la visibilidad, el radio de curvatura, etc. Constituyendo a la velocidad máxima según las condiciones favorables que adoptan los conductores dependiendo de las características óptimas de la carretera.

Por tanto, esta velocidad es la que se debe utilizar para definir las características geométricas mínimas de los elementos del trazado bajo condiciones de seguridad y comodidad, elementos que sólo podrán ser empleados en la medida que estén precedidos por otros (en ambos sentidos del tránsito), que anticipen al usuario que se está entrando a un tramo de características geométricas mínimas, el que además deberá estar debidamente señalado.

En consecuencia, el concepto Velocidad de Proyecto se usará para efectos del Sistema de Clasificación Funcional para Diseño, a fin de indicar el estándar global asociado a la carretera y para definir los parámetros mínimos aceptables bajo condiciones bien definidas.

D2. Velocidad Específica (V_e)

La velocidad específica es la máxima velocidad a la que un vehículo puede circular por un elemento del trazado considerado individualmente en condiciones de seguridad y comodidad, encontrándose el pavimento húmedo, los neumáticos en buen estado y sin que existan condiciones meteorológicas, del tránsito, del estado del pavimento o del entorno de la vía que impongan limitaciones a la velocidad.

La Velocidad Específica se aplica a los elementos curvos de la planta. Su divergencia con el antiguo concepto de Velocidad de Diseño, surge de la adopción de leyes de variación del peralte que, en vez de disminuirlo ante radios crecientes, lo mantienen relativamente alto para un rango amplio de los mismos, confiriendo mayor seguridad ante velocidades de circulación mayores que las de proyecto, situación que es consecuente con la tendencia de los usuarios a elevar la velocidad ante trazados amplios.

En el caso particular de los elementos curvos la V_e debe entenderse como la máxima velocidad a la que se puede recorrer una curva horizontal de radio y peralte dado, haciendo uso de la máxima fricción transversal especificada para dicha velocidad en condiciones de pavimento húmedo, neumáticos en razonable buen estado y condiciones de flujo libre, según se expone en Sección 401.02.9(c), el coeficiente de rozamiento transversal recomendado es menor que el máximo usado antiguamente a partir de velocidades sobre 70 km/h.

D3. Velocidad de Operación (V_{op})

La velocidad de operación es la velocidad media de desplazamiento que pueden lograr los usuarios en una carretera con una velocidad de diseño dada, bajo las condiciones prevalecientes del tránsito y grado de relación de ésta con otras vías y con la propiedad adyacente. Si el tránsito y la interferencia son bajas, la velocidad de operación puede llegar a ser muy similar a la velocidad de diseño. A medida que el tránsito crece, la interferencia entre vehículos aumenta tendiendo a bajar la velocidad de operación del conjunto. Este concepto es básico para evaluar la calidad del servicio que brinda una carretera, así como parámetro de comparación entre una vía existente con características similares a una vía en proyecto a fin de seleccionar una velocidad de diseño lo más acorde con el servicio que se desee brindar.

D4. Velocidad Percentil 85 ($V_{85\%}$)

El percentil 85 juega un papel fundamental en ingeniería de tránsito, la velocidad denominada 85% percentil es aquella que no es superada por el 85% de los usuarios en un tramo de características homogéneas, bajo las condiciones de tránsito prevalecientes, estado del pavimento,

meteorológica y grado de relación de este con otras vías y con la propiedad adyacente. Cuando dichas condiciones no imponen restricciones, la V85% suele ser mayor que la Velocidad de Proyecto, independientemente de si la Velocidad de Proyecto está señalizada, corresponde a la máxima legal. En consecuencia, el 85% de los usuarios circula a la V85% o menos y un 15% de los usuarios supera dicha velocidad.

Según los estudios hechos en distintos países, si para condiciones de flujo libre se representa en ordenadas el porcentaje acumulado de usuarios que circula a una velocidad menor o igual que "X" y en abscisas la velocidad de circulación, resulta una curva en forma S inclinada que ilustra la distribución de velocidades. En la medida que aumenta el flujo, la curva se desplaza hacia atrás, sin embargo, las velocidades máximas de unos pocos usuarios (V99%), se mantienen siempre muy elevadas.

Si se realiza una comparación entre las velocidades de bajada con las de subida se tiene como resultado que el efecto de la pendiente hasta un 4 a 5% en general no es significativo y solo se hace perceptible para las velocidades máximas absolutas (V99%) en condiciones de flujo libre (100 - 750 Veh./h).

Para el flujo 100 - 350 Veh./h casi no hay diferencia en las velocidades de subida y bajada para los percentiles 50 y 85 y la V50% es prácticamente igual a la Velocidad de Operación estimada, la V85% supera dicha velocidad calculada para el tramo en 8 y 6 km/h y la V99% en 20 y 30 km/h, siendo el valor mayor para el flujo de subida. Es decir, la velocidad posible de los vehículos livianos existentes hoy en día, casi no está limitada por las pendientes si el usuario está dispuesto a correr el riesgo.

Para los flujos de subida, los mayores volúmenes de tránsito afectan los valores de la V50% y V85%, no así en el caso de la V99%.

Países como el Reino Unido, Alemania y Suiza ha elaborado modelos de predicción de la V85% según sean las características de la carretera, en especial para el caso de carreteras bidireccionales.

En el caso del Reino Unido se ha adoptado como representativa de su realidad la siguiente relación entre los diversos percentiles.

$$\begin{aligned} V85\% & V99\% \\ V50\% & V85\% = 1,19 \end{aligned}$$

No se indica sin embargo que relación existiría entre la V50% y la Velocidad de Proyecto de las carreteras.

En España existen datos de una investigación llevada a cabo por CEDEX en 1.993 que indican órdenes de magnitud para diferentes tipos de carreteras, clasificadas según su sección transversal. Se hace notar que en España la velocidad máxima legal en Autopistas y Autovías es de 120 km/h y en el resto de las carreteras de 100 y 90 km/h, salvo señalización en contrario.

La sola comparación de los datos del Reino Unido con los de España en cuanto a la relación entre percentiles, muestra que tan diferente puede ser la realidad de un país a otro, por ello no parece recomendable adoptar un modelo de predicción desarrollado en otros países sin antes estudiar detenidamente la realidad nacional.

D5. Velocidades de Proyecto según Categoría de la Obra Vial

La Velocidad de Proyecto fija el marco de referencia mínimo que define el diseño geométrico de una carretera, principalmente en lo relativo a su trazado horizontal y vertical.

La Velocidad de Proyecto seleccionada para un proyecto de categoría dada dependerá fundamentalmente de la función asignada a la carretera, del volumen y composición del tránsito previsto, de la topografía de la zona de emplazamiento y del diferencial de costo que implica seleccionar una u otra velocidad de proyecto dentro del rango posible considerado para la categoría. En definitiva, la elección de una Velocidad de Proyecto que se aparte de la óptima se reflejará en una disminución de la rentabilidad del proyecto.

Dentro del rango de velocidades posibles para cada categoría de carretera se justificarán las más altas en terrenos llanos o ligeramente ondulados y las más bajas para otro tipo de relieves. Esto no sólo por las consideraciones de costo ya expuestas, sino que también porque el usuario está mejor dispuesto a aceptar velocidades menores cuando el terreno es difícil y el trazado necesariamente sinuoso, que cuando no encuentra una razón evidente para ello.

Por lo anteriormente expuesto si un sector extenso de la carretera, que pueda llegar a ser pavimentado, se emplaza en un terreno muy favorable, sus elementos deberán proyectarse con valores más amplios, correspondientes a unos 10 a 20 km/h por sobre la Velocidad de Proyecto que le corresponde a la carretera considerando su función y volumen de demanda general, a fin de evitar que cuando la carretera se pavimente los usuarios traten de alcanzar esas velocidades en un trazado que no las acepta.

Ahora bien, al cambiar la característica del sector y pasar a un terreno difícil que obliga a retornar a las características propias de la velocidad de proyecto general asignada a la carretera, se debe diseñar cuidadosamente una zona de transición en que los elementos críticos (curvas en planta, distancia de visibilidad, etc.) vayan disminuyendo en forma paulatina a lo largo de varios elementos del trazado hasta recuperar los valores normales correspondientes a la V_p propia de camino.

E. CONTROL DE ACCESO

E1. Aspectos Generales

El control de acceso es la acción por la cual se limita parcial o totalmente, el derecho de los dueños ocupantes de la propiedad adyacente o de las personas en tránsito a acceder a una carretera y por la cual se regulan las modificaciones que pueda experimentar el goce de la luz, el aire y la vista existente antes de la construcción de la carretera.

Aspectos a tomar en cuenta son los siguientes:

Corresponde en Autopistas el régimen de Control Total de Acceso, que exige que ellas no tengan acceso directo más que a través de enlaces debidamente proyectados para conectarse con Carreteras Multicarril, Bidireccionales y otras.

Para este fin las Autopistas deberán contar con cercos de malla a todo lo largo del trazado, que eviten el ingreso de peatones y animales. La distancia mínima entre enlaces estará regulada y se rechazan los accesos direccionales.

Las carreteras Multicarril deberán contar con Control Total de Acceso respecto de los vehículos, pero la distancia entre enlaces será regulada en cada caso por la Dirección de Vialidad, dependiendo de las circunstancias. Se aceptarán los accesos direccionales. Es deseable que las carreteras Multicarril posean también cercos de malla a todo lo largo si ese no fuere el caso, deberán construirse los cercos 750 m antes y después de la estructura del enlace y en todas las zonas cuyo desarrollo lateral aumente la probabilidad de ingreso a la carretera de peatones y animales.

En carreteras Bidireccionales se debe establecer Control Parcial de Acceso pudiendo tener algunos accesos directos a través de intersecciones debidamente proyectadas, conectándose así a otras Carreteras. El número de accesos directos deberá reducirse a un mínimo según se especifica más adelante.

E2. Accesos Directos

Cuando una carretera bidireccional cruce un área urbana la frecuencia media de accesos directos no deberá sobrepasar uno cada 1.000 m, pudiendo variar esta distancia entre 750 y 1.500 m, según la densidad de la red urbana, la existencia de enlaces, etc. En áreas rurales se procurará evitar accesos a menos de 2.500 m. En áreas suburbanas el distanciamiento mínimo podrá reducirse a 1.500 m.

En áreas rurales se deberán tener presente los siguientes criterios generales respecto de la forma de implementar el control parcial de acceso:

Cuando las propiedades tengan acceso a una vía pública existente o a una carretera Bidireccional, no se autorizará acceso directo a la carretera más que por las intersecciones de uso público construidas para tal objeto.

Si existen varias propiedades contiguas que tras la construcción de la carretera quedan aisladas de toda la vía pública se construirá para dichas propiedades una conexión con otra vía pública.

Cuando las propiedades aisladas tengan un frente a la carretera, mayor de 1.500 m, se permitirá un acceso directo a la carretera por propiedad y toda vez que sea posible se procurará dar un acceso común para dos propiedades. En estos casos la incorporación o salida desde o hacia la carretera deberá ser sólo en el sentido del tránsito correspondiente a la calzada o carril de tránsito adyacente al acceso. Los cambios de dirección de recorrido deberán ejecutarse en las zonas especialmente diseñadas para ello (enlaces, intersecciones, zonas de giro en U en cantero central ensanchado).

E3. Caminos Laterales o de Servicios

Un camino lateral es aquel que se construye adyacente a una Autopista Multicarril o carretera Bidireccional para servir a objetivos tales como el de Controlar de manera efectiva el acceso a vías de alta velocidad, procurando la seguridad y libertad de circulación de paso, asimismo esta vía proveerá acceso a la propiedad colindante, restituirá la continuidad del sistema de carreteras o calles previamente existentes y evitará recorridos excesivamente largos, provocados por la construcción de la vía de alta velocidad.

Un camino lateral se justifica económicamente si su costo es menor que el de proveer acceso desde otro camino público o resulta más barato que adquirir la totalidad de la propiedad afectada.

E4. Control de Acceso y Nuevos Trazados

Las nuevas carreteras deberán ser diseñadas, en lo posible, da tal manera que las propiedades divididas puedan tener acceso a la red de carreteras locales, esto con el objeto de evitar la construcción de caminos laterales. Cuando una propiedad quede aislada entre la carretera y algún accidente geográfico (río, lago, cerro, etc.) será preferible expropiar el terreno en su totalidad, si esto resulta más económico que la construcción de un camino de servicio especial.

E5. Control de Acceso y Caminos Existentes

En carreteras Bidireccionales en las cuales su desarrollo deba generarse a lo largo de caminos existentes, se analizará la posibilidad de dejar éstos como Caminos Laterales. Si los accesos del costado opuesto de la carretera no pueden proveerse de otra manera, se proyectará otro camino de servicio.

E6. Materialización del Control de Acceso

Para asegurar que una carretera a la que se le otorga control total o parcial de acceso permanezca bajo esa característica, deberán proyectarse e instalarse barreras, rejas o cercos adecuados.

E7. Instalaciones a los Costados del Trazado

E.7.1. Aspectos Generales

La actividad que se desarrolla en una carretera, da origen a una serie de instalaciones auxiliares, las que deben proyectarse y ubicarse de modo que no atenten contra la seguridad. En carreteras con control de acceso deberán respetarse las normas antes especificadas, incluso cuando la instalación en particular tenga una estrecha relación con la actividad que se desarrolla en la carretera. Los tipos de instalaciones más corrientes son:

Refugios para los viajeros que utilizan los medios de locomoción colectiva urbana y rural
En carreteras que admiten detenciones reguladas, Paradas de Ómnibus

Casetas telefónicas, destinadas a los usuarios que se encuentran en dificultades (especialmente en las Autopistas y Carreteras Multicarril)

Estaciones de control de peaje y pesaje de camiones

Estaciones gasolineras, lubricantes y atención mecánica

Puestos de Control Policial

Restaurantes, moteles u hoteles

Aduanas

Lugares de descanso y miradores

E.7.2. Frecuencia de instalaciones en carreteras con control de acceso

Es muy importante que las instalaciones no tengan una proliferación excesiva, ellas deben establecerse ahí donde tengan una clara justificación por la distancia a los centros poblados. Por lo general, restaurantes y hoteles deberán estar más o menos a 25 Km.

Las estaciones gasolineras y de servicios se colocarán de acuerdo a la intensidad del tránsito tratando de que coincidan con la ubicación de restaurantes y hoteles. Las casetas telefónicas en las Autopistas y Carreteras Multicarril se colocarán cada 2 Km. La existencia de enlaces con centros poblados a menos de 500 m de la carretera y las Instalaciones con accesos especialmente diseñados, permitirán espaciar las casetas telefónicas. La localización de cualquier instalación deberá anunciarse anticipadamente mediante señales informativas diseñadas en conformidad con las disposiciones del organismo rector, de manera que el conductor no sea sorprendido y ejecute maniobras rápidas que pueden resultar peligrosas.

E.7.3. Instalaciones Dentro de la Franja de Dominio

Dentro de la franja de dominio únicamente se permitirá la construcción de refugios para viajeros, casetas telefónicas, lugares de descanso, miradores, estaciones de control de peaje y de pesaje de camiones. Las instalaciones definitivas para la policía y puestos aduaneros deben quedar ubicados fuera de ésta.

E.7.4. Instalaciones Fuera de la Franja de Dominio

Instalación con fines de lucro se encuentran prohibidas de ser emplazadas en esta zona, las mismas deberán estar ubicadas fuera de la faja de dominio aun cuando preste servicio directo a los usuarios del camino. En carreteras con control de acceso deberán contar con la autorización previa y proyecto de conexión aprobado por el MOPC.

E.7.5. Utilización Ventajosa de Intersecciones y Enlaces

El proyectista y el MOPC al momento de autorizar el emplazamiento de Puestos de Control de Policía y de Mantenimiento de la Carretera deberán considerar las ventajas que ofrece que este tipo de instalaciones queden ubicadas en las cercanías de los cruces, en lo posible fuera de la franja de dominio y sin acceso directo a la carretera, en el caso de las Autopistas esta situación facilitará los giros y movimientos al mismo tiempo que aumentará el servicio que prestan. En las zonas al interior de los enlaces no se admitirá ningún tipo de instalación.

E.7.6. Conexiones a la Calzada

Todas las conexiones de las instalaciones indicadas o cualquier otra de servicio público o privado deberán construirse de acuerdo a las normas que rigen para la clase de carretera. En las Carreteras principales (Autopistas, Multicarril y Bidireccionales) se diseñarán carriles auxiliares de deceleración y aceleración. En carreteras de menor importancia la conexión deberá tener el mismo tipo de pavimento que el de la carretera principal y eventualmente se dotará de carriles de cambio de velocidad. Si el nivel de tránsito y las características del emplazamiento (visibilidad, pendientes, etc.) así lo requiere, sólo se permitirá un carril de entrada y otro de salida. En carreteras con Control de Acceso no se permitirá el cruce del cantero central para pasar de una calzada a la otra.

E.7.7. Obstrucciones a la Visibilidad

Construcciones, arborización y otros elementos que forman parte de las instalaciones, no deberán obstruir o limitar la visibilidad de la carretera, en especial si se prevé un futuro ensanche de carriles.

E.7.8. Letreros Comerciales

Las carreteras del país, cada vez se ven más afectadas por la invasión de letreros comerciales, que a más de incrementar la contaminación visual, son generadoras de una amenaza potencial a la seguridad de los usuarios de la carretera. El uso de estos elementos reduce la visibilidad y la eficacia de las señales reglamentarias, ya sea al encandilar a los usuarios de las carreteras o de atraer su atención en condiciones peligrosas para la seguridad vial.

Los criterios generales a considerar, deben ser coherentes con los siguientes principios.

Fomentar una política que restrinja la colocación de carteles o letreros de propaganda general, cuya proliferación distrae a los conductores y atenta contra la seguridad de la circulación, en particular en zonas de curvas horizontales, verticales y puntos singulares, tales como Intersecciones y Enlaces. En las Autopistas se debieran permitir solamente letreros normalizados que anuncien servicios al usuario. El uso de la iluminación y reflectorización u otros dispositivos, deberá regularse. Por razones de seguridad resulta inconveniente la iluminación mediante haces intermitentes y los anuncios comerciales de texto variable.

Se podrá colocar en las zonas de descanso del camino letreros que contengan una lista de servicios y atractivos turísticos de la zona, diseñados en conformidad con las disposiciones del órgano rector.

F. CARACTERÍSTICAS DE LOS VEHÍCULOS

F1. Aspectos Generales

Se encuentra plenamente establecido que el volumen de tráfico y su conformación influencia en el diseño de las carreteras, fundamentalmente desde dos puntos de vista: velocidad que son capaces de desarrollar y dimensiones que le son propias.

Los vehículos livianos, automóviles y similares, determinan las velocidades máximas a considerar en el diseño, así como las dimensiones mínimas. Ellas participan en la determinación de las distancias de visibilidad de frenado y de adelantamiento.

Los vehículos pesados, camiones de diversos tipos, y en menor medida los ómnibus experimentan reducciones importantes en su Velocidad de Operación cuando existen tramos en pendiente. La necesidad de limitar estas reducciones de velocidad determina la longitud y magnitud aceptable de las pendientes.




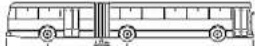
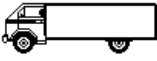



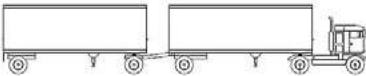
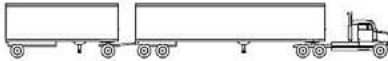


Las dimensiones de estos vehículos: largo, ancho y alto influyen en gran medida diversos elementos de la sección transversal y determinan los radios mínimos de giro, los ensanches de la calzada en curva y el gálibo vertical bajo estructuras. Las dimensiones consideradas para el diseño y los radios de giro mínimos se establecen a continuación.

F2. Dimensiones de Vehículos

Las dimensiones de los vehículos y su movilidad son factores de incidencia relevante en el diseño. El largo, ancho y alto de los vehículos condicionan en gran medida diversos elementos de la sección transversal, los radios de giro, los ensanches de calzada en curvas y los gálibos verticales bajo estructura. Su peso es uno de los factores determinantes del cálculo estructural de pavimentos y estructuras.

Las dimensiones tipo de automóviles, camiones de dos ejes, ómnibus y camiones semi-remolque, se presentan en forma detallada en la Tabla 3.1_2 y 3 siguientes:

Tabla 3.1_2. “TIPOS DE VEHÍCULOS”

TIPO DE VEHÍCULO		No. DE EJES	ESQUEMA	CÓDIGO AASHTO 2011
LIVIANOS	Automóviles	2		P
	Camionetas	2		
PESADOS	Ómnibus	2		BUS-12, BUS-14, CITY-BUS, S-BUS 11, S-BUS 12
	Ómnibus Articulado			A-BUS
	Camiones	2		SU-9
	Camiones	3		SU-12
	Semirremolque Intermedio	4		WB-12
	Semirremolque Interestatal	5		WB-19, WB-20
	Semirremolque / Remolque “Doble Fondo”	5		WB-20D
	Semirremolque Doble de Montaña / Remolque	7		WB-28D
	Semirremolque Triple / Remolque	7		WB-30T
	Semirremolque Doble de Carretera / Remolque	9		WB-33D

Nota.- Los vehículos consignados en la presente tabla corresponden al manual “A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO 2011. No se muestran en la tabla vehículos recreacionales (MH, P/T, P/B y MH/B).

Las dimensiones típicas de estos vehículos conforme a las tablas de la AASHTO son las que siguen:

Tabla 3.1_3. "DIMENSIONES TÍPICAS DE VEHÍCULOS"

Símbolo	Dimensiones (m)											
	Generales					Voladizo					Distancia típica desde el Eje de Tornamesa al centro del eje tándem trasero	
	Altura	Ancho	Longitud	Frente	Posterior	WB ₁	WB ₂	S	T	WB ₃		WB ₄
P	1.30	2.13	5.79	0.91	1.52	3.35	-	-	-	-	-	-
SU-9	3,35-4,11	2.44	9.14	1.22	1.83	6.10	-	-	-	-	-	-
SU-12	3,35-4,11	2.44	12.04	1.22	3.20	7.62	-	-	-	-	-	-
BUS-12	3.66	2.59	12.36	1.93	2,73 ^a	7.70	-	-	-	-	-	-
BUS-14	3.66	2.59	13.86	1.89	2,73 ^b	8.69	-	-	-	-	-	-
CITY-BUS	3.20	2.59	12.19	2.13	2.44	7.62	-	-	-	-	-	-
S-BUS 11	3.20	2.44	10.91	0.79	3.66	6.49	-	-	-	-	-	-
S-BUS 12	3.20	2.44	12.19	2.13	3.96	6.10	-	-	-	-	-	-
A-BUS	3.35	2.59	18.29	2.62	3.05	6.71	5.91	1,89 ^b	4,02 ^b	-	-	-
WB-12	4.11	2.44	13.87	0.91	1,37 ^a	3.81	7.77	-	-	-	-	7.77
WB-19*	4.11	2.59	21.03	1.22	1,37 ^a	5.94	12.50	-	-	-	-	12.50
WB-20**	4.11	2.59	22.40	1.22	1,37 ^a	5.94	13.87	-	-	-	-	13.87
WB-20D	4.11	2.59	22.04	0.71	0.91	3.35	7.01	0,91 ^c	2,13 ^c	6.86	-	7.01
WB-28D	4.11	2.59	29.67	0.71	0.91	5.33	12.19	1.37	2.13	6.86	-	12.34
WB-30T	4.11	2.59	31.94	0.71	0.91	3.35	6.86	0,91 ^d	2,13 ^d	6.86	6.86	7.01
WB-33D*	4.11	2.59	34.75	0.71	1,37 ^a	3.72	12.19	1,37 ^e	3,05 ^e	12.19	-	12.34

Fuente: AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2011. p. 2-3

Notas: Dado que los vehículos se fabrican utilizando dimensiones habituales de EE. UU. Y para proporcionar solo un tamaño físico para cada vehículo de diseño, los valores métricos que se muestran en los dibujos del vehículo de diseño se han convertido a partir de los valores enumerados en pies y redondeados a la centésima más cercana al centímetro.

* Vehículo de diseño con remolque de 14.63 m adoptado en 1982 (le de asistencia al transporte de superficie) (STAA)

** Vehículo de diseño con un remolque de 16,15 m como establecido en la Ley de Asistencia de Transporte de Superficie de 1982

a: Esta es la longitud del voladizo desde el parachoques hasta el eje tándem trasero.

b: La dimensión combinada es de 5,91 m y la sección de articulación es de 1,22 m de ancho

c: Típicamente la dimensión combinada es de 3.05 m

d: Típicamente la dimensión combinada es de 3.05 m

e: Típicamente la dimensión combinada es de 3.81 m

WB1, WB2, WB3 y WB4 son los ejes efectivos del vehículo, o las distancias entre los grupos de ejes, comenzando al frente y yendo hacia la parte posterior de cada unidad.

S es la distancia efectiva desde el eje posterior al punto de enganche o punto de articulación.

T es la distancia desde el punto de enganche o punto de articulación medida hacia atrás hasta el centro del siguiente eje o el centro del conjunto del eje en tándem

Para determinar las distancias de visibilidad que se utilizan en la definición de una serie de parámetros rectores del diseño, es preciso fijar algunas alturas.

-h = Altura focos delanteros: 0,60 m

-h1 = Altura ojos del conductor de un automóvil: 1,10 m

-h2 = Altura obstáculo fijo en la carretera: 0,20 m

-h3 = Altura ojos del conductor de camión u ómnibus: 2,50 m

-h4 = Altura luces traseras de un automóvil o menor altura perceptible de carrocería: 0,45 m

-h5 = Altura del techo de un automóvil: 1,20 m

Las trayectorias mínimas de giro para los vehículos de diseño presentados en la *Tabla 1* se muestran en el *ANEXO 4, Figuras 110 a 127*. Los esquemas mencionados servirán para verificar los sobrecanchos necesarios en los carriles de circulación cuando se trata de vehículos grandes y curvas de radio mínimo, especialmente en el diseño de intersecciones (sin canalizar, canalizadas, rotondas, intersecciones a nivel, a desnivel y ramales de giro).

G. FACILIDADES PARA PEATONES

G1. Generalidades

Para un manejo ecuánime de los derechos y responsabilidades de los peatones, el órgano rector deberá ser quien tenga la responsabilidad de construir veredas o aceras en algunos casos en carreteras, especialmente las que atraviesan sectores poblados. Si el flujo de peatones es considerable se deberá implementar la instalación de rejas o protecciones para aislar las aceras de la plataforma de la vía.

Cuando por la construcción de una carretera se destruyan veredas existentes se efectuará la reposición en los caminos laterales o de servicio que correspondan y no se autorizará la construcción de otras, salvo que esté indicado en los términos de la expropiación de la faja.

G2. Carreteras que cruzan Áreas Urbanas o Suburbanas

Por lo general el paso por áreas urbanas o suburbanas ha generado inconvenientes, debido principalmente al tipo de características que éstas deberían tener relacionadas con la seguridad vial. Estudios han establecido que el perfil tipo de la carretera para dichas áreas, normalmente deberá proveer zonas marginales para veredas. Estas deberán ser construidas dentro de la Franja de Dominio con la autorización previa de la Dirección de Vialidad, debiendo ser conservadas por los Municipios respectivos.

Se exceptúan las veredas de puentes o túneles donde no existan propietarios colindantes, las cuales serán de responsabilidad de la Dirección de Vialidad. De todas maneras se construirán veredas en aquellos lugares en que es necesario dar seguridad a los peatones y/o donde es importante no interferir el tránsito de los vehículos.

G3. Áreas de Enlaces

Deberá construirse veredas en estas áreas únicamente cuando sea necesario conectar un sistema de veredas existentes y cuando en forma evidente la actividad de la zona se vea subdividida por el dispositivo, situación en que se deberá considerar la inclusión de pasarelas peatonales.

G4. Parada de Ómnibus

Deberán construirse veredas donde sea necesario, desde la parada de ómnibus al sistema de veredas existentes.

G5. Senderos

Los senderos difieren de las veredas en los detalles constructivos y costos pero no en los principios técnicos. En los cruces canalizados con áreas adyacentes desarrolladas donde se prevé un gran flujo de peatones deberán construirse senderos estabilizados o pavimentados a través de los islotes.

G6. Pasarelas a Distinto Nivel

Respecto a este tema cada situación deberá considerarse de acuerdo a las circunstancias particulares, debiendo cubrir básicamente los siguientes aspectos:

- Puntos de generación de tránsito de peatones
- Volumen del cruce de peatones
- Tipo de carretera a cruzar
- Localización de otras facilidades próximas para cruzar
- Tipo y edad de las personas que utilizarán el cruce
- Consideración especial al cruce de escolares
- Volumen vehicular

La pasarela adecuada, a distinto nivel, deberá ser motivo de un cuidadoso estudio de ubicación y de las pendientes de las rampas. Este estudio deberá efectuarse en las etapas de planificación y diseño, de tal manera de poder ajustar adecuadamente las rasantes de la pasarela y la carretera.

No se recomienda construir túneles para peatones debido a la resistencia de los peatones al uso de los mismos. En el caso que esta solución sea necesaria, se ejecutará de tal manera que haya visibilidad de un extremo a otro y que esté provisto de un adecuado sistema de iluminación.

H. VALORES ESTÉTICOS Y ECOLÓGICOS

Al diseñar cualquier carretera se debe tener en consideración no tan sólo su incorporación al paisaje, sino que también el aprovechamiento de las bellezas naturales. Los valores estéticos deberán considerarse conjuntamente con la utilidad, economía, seguridad y todos los demás factores que preocupan al planificador y al proyectista. Esta disposición adquiere mayor valor en el caso de carreteras que cruzan zonas con gran potencial de la naturaleza. En todo caso, el alineamiento, el perfil y la sección transversal deben procurar guardar armonía con las condiciones del medio, evitando así un quiebre de los factores ambientales. Siempre será de primordial importancia la economía de acuerdo con las necesidades del tránsito; no obstante, un mayor gasto puede justificarse si se trata de preservar los recursos naturales que poseen un valor económico en sí. Para lograr los efectos deseados, deberán tenerse en consideración, entre otros, aspectos tales como:

El diseño de la carretera deberá realizarse de manera que la nueva construcción proteja el medio ambiente y lo lleve por lugares que destaquen la belleza.

El diseño en planta y perfil deberá acomodarse a las características del terreno a objeto de que el movimiento de tierras sea compensado. La implantación del alineamiento horizontal mediante el empleo de clotoides y la suavidad de las pendientes, acorde a los requisitos de diseño, constituyen un buen medio para lograr estos objetivos.

Es esencial evitar la destrucción de los árboles valiosos, así como proteger la vegetación en general.

Siempre que sea factible se propenderá, dentro de los márgenes económicos a buscar alineamientos curvos amplios y fajas centrales anchas en calzadas separadas, ya que estos elementos mejoran el aspecto del paisaje y evitan la monotonía del paralelismo.

Ante la situación de grandes cortes y terraplenes deberá tenerse presente la posibilidad de diseñar viaductos, túneles o muros, siempre que su costo no sea excesivo.

Las estructuras deberán ser ubicadas y diseñadas para que junto con prestar su servicio, den el mejor aspecto posible.

Los taludes deberán alabearse y tenderse lo más que sea posible y conveniente, esto con el afán de disimular las líneas de construcción y permitir que la vegetación se enriquezca en la zona. Eventualmente, estos tendidos pueden demostrarse económicamente convenientes para la obtención de materiales para terraplenes (banco de préstamo de corte) o como depósito de materiales excedentes (en tendido de terraplenes, los cuales deben quedar compactados según especificaciones).

En caso de ser necesaria, la excavación de yacimientos éstos deberán tener tratamientos especiales los que deberán ajustarse a las normas medio ambientales vigentes.

Los elementos de drenaje se colocarán de manera tal que la erosión, embalses y acumulación de detritos, sean eliminados cuando las condiciones de la naturaleza del lugar lo permitan.

Las áreas de enlaces deberán proyectarse de tal manera que sus formas se adapten a los contornos naturales. La apariencia se mejorará posteriormente con un plantío adecuado a la zona y recuperando la vegetación que no ha sido destruida en la etapa de construcción.

Si el clima de la zona y el ancho del cantero central lo permite, se contemplará la utilización de arbustos que, aparte del embellecimiento servirán para evitar los deslumbramientos producidos por los focos delanteros de los vehículos que vienen por la otra calzada, contribuyendo en esta forma a la seguridad de operación del camino. Los árboles que lleguen a desarrollar troncos de más de 10 cm de diámetro y que queden desprovistos de follaje en su parte inferior, no deben admitirse por el peligro que ellos implican en el caso de colisión, además del efecto indeseable en cuanto a la intermitencia de las luces de los vehículos que circulan en sentido contrario.

I. CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO

1.1. Aspectos Generales

Es importante al tocar este tema, hacer referencia a la teoría de Capacidad de Carreteras desarrollada por el Transportation Research Board (TRB) de los Estados Unidos, edición 2.010; pues esta constituye una poderosa herramienta para analizar la calidad del servicio que es dable esperar para el conjunto de vehículos que operan en una carretera de características dadas.

Para una mejor comprensión de los aspectos que se presentan a continuación, es necesario definir los conceptos siguientes:

Carril: Faja de pavimento destinada a la circulación de una sola fila de vehículos.

Velocidad Media de Viaje: Es la velocidad calculada al dividir la longitud de un segmento de carretera por el tiempo medio de viaje de los vehículos que recorren dicho segmento, incluyendo todos los tiempos de detención. Igual a velocidad media espacial. Se expresa en kilómetros por hora (Km/h).

Intensidad (Tasa de flujo): Es el flujo horario equivalente de paso de vehículos u otros usuarios de la vía por un punto dado o por una sección de un carril durante un intervalo menor a 1 hora, usualmente de 15 minutos. Es el flujo correspondiente a cuatro veces el volumen de los 15 minutos con mayor tránsito en una hora, este factor se expresa en Veh/h.

Demora: Es el tiempo adicional que experimenta un conductor, pasajero, ciclista o peatón por encima de lo requerido para viajar a una velocidad deseada.

Tiempo Demorado: Es el porcentaje del tiempo de recorrido que el usuario se ve demorado antes de lograr efectuar las maniobras de adelantamiento deseadas.

12. Tipos de Carreteras Rurales Consideradas

Según la teoría, se da un tratamiento diferente al problema según se trate de:

- ▶ Carreteras de dos carriles con tránsito bidireccional. En estos casos se considera que la vía no tiene control de acceso, pero que tiene prioridad sobre todas las demás vías que empalman en ella o la cruzan. En caso que existan vías de mayor prioridad, deberá sectorizarse el camino y analizar por separado los sectores así determinados. Posiblemente el punto de cruce pasará a ser un punto crítico
- ▶ Carreteras de más de dos carriles, sin control de acceso, en que se cuenta por lo menos con dos carriles adyacentes para cada sentido de tránsito (Tránsito Unidireccional). Puede tratarse de una sola calzada sin separación (cantero central), o dos calzadas separadas en plataforma única
- ▶ Carreteras de dos o más carriles para tránsito unidireccional, con control total de acceso y calzadas separadas, corresponde al caso de Autopistas, Multicarril y Bidireccionales que cumplan con las condiciones descritas

13. Condiciones Ideales o de Referencia

A fin de establecer las condiciones que permitan obtener los máximos volúmenes para una cierta calidad del flujo, se definen las condiciones ideales respecto del tránsito y de las características de la carretera. Para condiciones que se apartan de las ideales la metodología define coeficientes de corrección que permiten calcular los volúmenes máximos asociados a un cierto nivel de servicio (calidad del flujo), bajo las condiciones prevalecientes. Las condiciones ideales o de referencia son:

- ▶ Flujo de Tránsito Continuo. Libre de interferencias según lo definido en el manual de Diseño de Carreteras para las diferentes categorías de caminos que considera la teoría
- ▶ En el flujo de tránsito existen solamente vehículos livianos de pasajeros (automóviles, camionetas)
- ▶ Carriles de tránsito de 3,5 m de ancho, con banquetas a los costados de la carretera de un ancho igual o mayor que 1,8 m, libres de obstáculos. Se considera obstáculo cualquier elemento de más de 0,15 m de alto y su influencia será diferente si se trata de obstáculos continuos o aislados
- ▶ En caminos de dos carriles con tránsito bidireccional debe contarse, además, con distancia de visibilidad adecuada para adelantar, en forma continua, a lo largo de todo el sector bajo análisis. Por otra parte, el tráfico por sentido deberá repartirse en partes iguales

En la práctica la segunda condición, donde en el flujo de tránsito existen solamente vehículos livianos de pasajeros (automóviles, camionetas), es de muy rara ocurrencia ya que lo normal es que en el flujo existan camiones (cualquier vehículo de carga con seis o más ruedas) y ómnibus para el transporte público.

La presencia de estos vehículos implica un factor de corrección, cuyo valor base está determinado para trazados que se desarrollan por terrenos prácticamente planos. Cuando la topografía es en general ondulada o montañosa la metodología sugiere las correcciones adicionales necesarias.

14. Capacidad de una Carretera

Para el diseño de Carreteras se ha establecido el concepto de capacidad vial que también se emplea para el análisis de circulación y la planeación. La mejor definición de este concepto, es la que se señala en el “Manual de Capacidad para Carreteras HCM-2010” de la Transportation Research Board 2.010 (TRB) que define la capacidad de una carretera de la siguiente manera:

“Capacidad es la máxima tasa de flujo a la cual las personas o vehículos pueden de manera razonable pasar por un punto o tramo uniforme de un carril o calzada durante un período de tiempo dado, en condiciones imperantes o prevalecientes de la vía, del medio ambiente, del tránsito y de las condiciones de control”.

La capacidad se puede referir no solamente a vehículos, sino también bicicletas y a peatones, bien sean peatones de a pie, pasajeros o conductores. No es un valor instantáneo e inesperado, sino algo así como el volumen máximo promedio esperado durante un período de tiempo que es generalmente de 15 minutos. Tampoco es el volumen máximo posible en condiciones dadas, sino el que corresponde a las condiciones imperantes que suelen ser las normales.

Debido a las peculiaridades de su definición, especialmente en vías de circulación continua, es posible que ocurra congestión cuando la demanda de tránsito es inferior a la capacidad. Así sucede cuando el volumen máximo posible sea menor que la demanda durante dos o tres minutos (por aumento súbito de la demanda o disminución repentina del volumen máximo posible), a pesar de que el volumen medio durante quince minutos no llegue al valor medio que representa la capacidad

Como valores de referencia máximos absolutos se cita a continuación la “Capacidad en Condiciones Ideales” que corresponde a caminos para tránsito bidireccional o unidireccional, expresada en términos de Intensidad:

Camino Bidireccional de dos Carriles: 2.800 Veh. Livianos/hora (Total Ambos Carriles)

Camino Unidireccional con al menos dos Carriles para Tránsito en el mismo sentido 2.200 Veh. Livianos/hora (Por Carril)

Como puede observarse, la unidireccionalidad del tránsito, que evita tener que compartir los carriles para efectos de adelantamientos, tiene una importancia capital en la capacidad de una carretera. Las cifras mencionadas representan valores medios determinados mediante procesos de medición directa y son actualmente aceptadas como válidos internacionalmente.

15. Niveles de Servicio

Aunque haya capacidad de sobra para que no ocurra congestión, una vía tortuosa con tránsito intenso, de calzada estrecha y pavimento en mal estado no brinda la misma calidad de servicio que una vía con tránsito escaso, trazado suave, calzada ancha y pavimento en buen estado.

Son estas la razones que han conducido a que se establezca el concepto de nivel de servicio.

La Transportation Research Board, define este concepto como sigue:

“El nivel de servicio es la medida cualitativa que describe las condiciones de circulación de una corriente vehicular, caracterizada generalmente por ciertos parámetros como velocidad y tiempo de recorrido, libertad para maniobrar, interrupciones de la circulación, comodidad y seguridad”

Aunque el nivel de servicio es una medida cualitativa, se define por medio de un parámetro numérico tal como la velocidad media o la densidad, y a veces por más de un parámetro. En el nivel de servicio influye la intensidad de la interacción vehicular, las condiciones de la vía y su entorno, y la calidad de la regulación y señalización vial.

En su más amplia interpretación, nivel de servicio es un término que indica uno cualquiera de un número infinito de las diferentes condiciones de circulación que puede presentar un carril o una calzada determinada cuando circulan distintas intensidades de tráfico. En la práctica se selecciona una gama de niveles de servicio, definido cada uno, por ciertos valores límites de los factores que influyen en el funcionamiento de la carretera.

Cuando el volumen de tránsito es del orden de aquel correspondiente a la capacidad de la carretera, las condiciones de operación son malas, aun cuando el tránsito y el camino presenten características ideales. Estas condiciones de operación deficientes afectan a la totalidad de los usuarios y la continuidad del flujo es inestable, pudiendo en cualquier momento interrumpirse, pasando de un flujo máximo a un flujo cero, durante el periodo de detención. Cuando se pierde la situación de equilibrio límite, que implica operar a capacidad y se suceden las interrupciones del flujo, se habla de un flujo forzado que corresponde a lo que el usuario describe como “embotellamiento”.

Es necesario, por lo tanto, que el volumen de demanda sea menor que la capacidad de la carretera, para que ésta proporcione al usuario un nivel de servicio aceptable. La demanda máxima que permite un cierto nivel o calidad de servicio es lo que se define como Volumen de Servicio.

La metodología desarrollada por el TRB define cuatro Niveles de Servicio (A, B, C y D) que permiten condiciones de operación superior a las antes descritas. Cuando la carretera opera a capacidad se habla de Nivel E y cuando se tiene flujo forzado se le denomina Nivel F.

Cuantitativamente los Niveles de Servicio se establecen a partir de la razón Intensidad/Capacidad (I/C) y el porcentaje de Tiempo Demorado para las condiciones prevalecientes en el caso de las carreteras bidireccionales. Dicho de otro modo, el límite inferior de un Nivel de Servicio queda definido por la intensidad máxima.

Los niveles de servicio abarcan un rango en que intensidades menores que la intensidad de servicio permiten mejores condiciones de operación que las definidas para el nivel, pudiendo llegar a alcanzarse el nivel superior; en caso contrario se pasarán a un nivel inferior.

1.5.1. Niveles de Servicio en Carreteras Bidireccionales

Aunque la velocidad es la mayor preocupación de los conductores, la libertad para maniobrar dentro de la corriente de tráfico y la proximidad a otros vehículos también es importante. El criterio de los niveles de servicio, está basado en las curvas mostradas de velocidad – flujo típico y relaciones de densidad - flujo correspondiendo a un valor constante de densidad.

Las principales características de operación que se dan dentro del rango correspondiente a cada nivel de servicio para un Camino Bidireccional bajo condiciones ideales, son:

Nivel A: Describe el funcionamiento a flujo libre. La operación de los vehículos no se encuentra perturbada por la presencia de otros vehículos ni las operaciones se encuentran restringidas por las condiciones geométricas. La maniobrabilidad con el tráfico es buena. Los efectos de incidentes menores o averías en un punto son fácilmente absorbidos en este nivel sin cambiar la velocidad de viaje.

Nivel B: Este nivel de servicio también indica el flujo libre, aunque la presencia de otros vehículos se vuelve notable. Las velocidades medias de viaje son igual que en el nivel de servicio A, pero los conductores tienen menos libertad para maniobrar. Todavía se absorben fácilmente las rupturas menores locales en un punto, el deterioro en el nivel de servicio es más obvio.

Nivel C: El nivel de servicio C, marca la influencia de densidad de tráfico en el funcionamiento. La habilidad de maniobrar dentro de la corriente de tráfico está claramente afectada por la presencia de otros vehículos. En las vías Multicarriles con una velocidad a flujo libre, VFL sobre los 80 Km/h, las velocidades de viaje se reducen un poco. Las rupturas menores pueden causar un deterioro local serio en el servicio, y se pueden formar colas detrás de cualquier ruptura de tráfico significativa.

Nivel D: En el nivel de servicio D, la habilidad de maniobrar se restringe severamente a la congestión de tráfico. La velocidad de viaje está reducida debido al aumento del volumen creciente. Sólo rupturas menores pueden ser absorbidas sin formación de colas extensas y el servicio está seriamente deteriorado.

Nivel E: Este nivel de servicio representa el funcionamiento cercano de la capacidad de la vía, es un nivel inestable. Las densidades varían, mientras dependan de la velocidad a flujo libre que experimenta la corriente de tráfico. Los vehículos se encuentran operando con un mínimo espaciamiento para mantener un flujo uniforme. No pueden disiparse las rupturas prontamente y se causan a menudo colas que llegan a deteriorar el nivel de servicio a F. Para la mayoría de vías Multicarriles con velocidad a flujo libre entre 70 y 100 Km/h, la velocidad media de los vehículos livianos se registra en el rango de 68 a 88 Km/h pero es muy inconstante e imprevisible.

Nivel F: Representa condiciones de flujo forzado o de ruptura. Ocurre cuando los vehículos que llegan, son mayores que la proporción a que ellos se descargan o cuando la demanda de previsión excede la capacidad computada de un medio planeado.

Aunque los funcionamientos a estos puntos y en las secciones inmediatamente corriente arriba parece estar a la capacidad, las colas se forman detrás de estos puntos de ruptura.

El funcionamiento dentro de las colas es muy inestable, con vehículos que experimentan periodos breves de movimientos seguidos por bloqueos. Las velocidades de viaje dentro de las colas generalmente son menores a los 48 Km/h.

Aunque el punto de ruptura crea la formación de colas, el funcionamiento dentro de la cola generalmente no se relaciona con las deficiencias a lo largo del segmento de la vía Multicarril.

1.5.2. Niveles de Servicio en Carreteras Unidireccionales

Cabe destacar que la descripción cualitativa dada anteriormente es válida tanto para caminos de tránsito bidireccional como para los unidireccionales con o sin control de acceso. Sin embargo, los rangos de velocidad de operación, la razón I/C y el tiempo demorado son válidos sólo para caminos con tránsito bidireccional siendo mayores los asociados a cada nivel en caso de caminos unidireccionales con y sin control de acceso. Una buena síntesis de estas materias para caminos bidireccionales y unidireccionales con y sin control de acceso se presenta en la Tabla II-5, Pág. II-76 de "Diseño Geométrico de Carreteras y Calles, AASHTO 1.994", Traducción Autorizada EGIC-1997 (Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, Escuela de Graduados Ingeniería de Caminos) (Ing. Francisco J. Sierra) que se reproduce a continuación.

Tabla 3.1_4. RESUMEN CUANTITATIVO Y CUALITATIVO DE LOS NIVELES DE SERVICIO PARA CARRETERAS Y CAMINOS EN CONDICIONES IDEALES (ADAPTADO DE LA HCM)

Nivel de Servicio	Carreteras Unidireccionales con Accesos Controlados	Carreteras Unidireccionales sin Control de Accesos	Carreteras Bidireccionales sin Control de Accesos
A	Flujo Libre Velocidad Media de Viaje igual o mayor que 112 km/h. La Intensidad Máxima de Servicio corresponde a 700 vehículos livianos por hora y por carril ó 32% de la Capacidad	Velocidad Media de Viaje de 96 km/h o superior. En condiciones ideales la Intensidad Máxima de Servicio es de 720 vehículos livianos por hora y por carril, o 33% de la Capacidad	Velocidad media de viaje de 93 km/h ó superior. La mayoría de las maniobras de adelantamiento pueden relajarse sin demora o demora moderada. Bajo condiciones ideales, la Intensidad Máxima de Servicio, en ambas direcciones, puede alcanzar a 420 vehículos livianos por hora, aproximadamente al 15% de la capacidad.
B	Condiciones de flujo razonablemente libres. Velocidad Media de Viaje igual o superior a 112 km/h. La Intensidad Máxima de Servicio no supera a 1.120 vehículos livianos por hora y por carril, o 51% de la Capacidad	Flujo razonablemente libre. Volumen al que las acciones de los vehículos precedentes tendrán alguna influencia sobre los que los siguen. En condiciones ideales la Intensidad Máxima de Servicio no supera los 1.200 vehículos livianos por hora y por carril, o 55% de la capacidad, a 96 km/h	Velocidad media de viaje de 88 km/h o superior. En condiciones ideales, la intensidad Máxima de Servicio puede alcanzar el 27% de la capacidad (o 750 vehículos livianos por hora, en ambos sentidos)
C	Operación estable, pero alcanzando niveles más críticos. Velocidad Media de Viaje de 110 km/h. La Intensidad Máxima de Servicio no supera los 1.640 vehículos livianos por hora y por carril, correspondientes al 75% de la Capacidad	Circulación estable con una intensidad Máxima de Servicio no superior al 75% de la Capacidad, o 1.650 vehículos livianos por hora y por carril. En condiciones ideales, se mantiene, al menos una Velocidad Media de Viaje de 96 km/h	Circulación aun estable con Velocidad Media de Viaje de 84 km/h o superior. La intensidad Máxima de Servicio en condiciones ideales, es igual al 43% de la capacidad (o 1.200 vehículos livianos por hora, en ambos sentidos) con continua oportunidad de adelantamiento.
D	Rango de Velocidad mínimo del flujo estable. Las condiciones de circulación son cambiantes, aproximándose a la inestabilidad. La velocidad media de viaje se aproxima a 101 km/h. La Intensidad Máxima de servicio no supera los 2.015 vehículos livianos por carril, o 92% de la capacidad	Acercándose al flujo inestable. Su Intensidad Máxima de Servicio corresponde al 89% de la Capacidad (del orden de los 1 940 vehículos livianos por hora y por carril). Bajo condiciones ideales, la Velocidad Media de Viaje es de 92 km/h	Próximo al flujo inestable. En condiciones ideales, la Velocidad Media de Viaje se aproxima a los 80 km/h. Por su parte, la intensidad Máxima de servicio, corresponde al 64% de la capacidad (1.800 vehículos por hora, en ambos sentidos) con continua oportunidad de adelantamiento.
E	Flujo inestable. Velocidad Media de Viaje de 96 km/h. Intensidad Máxima de Servicio de 2.200 vehículos livianos por hora y por carril. Pequeñas interrupciones de la corriente vehicular generan colas muy difíciles de disipar. Cualquier incidente en la vía, causa congestiones complicadas	La Intensidad Máxima de Servicio corresponde al 100% de la Capacidad, o 2.200 vehículos livianos por hora y por carril, en condiciones ideales. Velocidad Media de Viaje alrededor de los 88 km/h	Flujo inestable. Velocidad Media de Viaje del orden de los 72 km/h. En condiciones ideales, la intensidad máxima de servicio en ambos sentidos, es de 2.800 vehículos livianos por hora. No es posible mantener al Nivel de servicio E, ya que las condiciones de circulación pasan directamente al Nivel D o al Nivel F.

Nivel de Servicio	Carreteras Unidireccionales con Accesos Controlados	Carreteras Unidireccionales sin Control de Accesos	Carreteras Bidireccionales sin Control de Accesos
F	Flujo forzado. Sobre la carretera se acumulan los vehículos posteriores ante la interrupción del flujo de los vehículos de adelante. La Velocidad Media de Viaje es del orden de los 50 km/h con continuas detenciones y partidas	Flujo Forzado Congestionado, presenta una variación amplia del volumen de circulación. Velocidad Media de Viaje inferior a los 50 km/h	Flujo forzado. Congestionado, con características impredecibles. Velocidades de Operación inferiores a los 72 km/h

3.1.1.4.3. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN FUNCIONAL PARA EL DISEÑO

A. CONCEPTOS DE LA RED

La necesidad de circular dentro de una región requiere de un conjunto de diversas líneas de deseo conectando orígenes y destinos. No es posible abastecer con vías individuales conectando cientos de miles o tal vez millones de líneas de deseo, porque entonces el área urbana sería una superficie de vías continuas, así es que, todas las ciudades crean o envuelven a un conjunto limitado de vías interconectadas formando una red.

Los objetivos de diseñar o rediseñar un sistema vial urbano son muy diferentes de aquellos usados para diseñar vías interurbanas. Para vías interurbanas, el alineamiento global es generalmente un compromiso entre el deseo de obtener la ruta más directa posible (por ejemplo: minimizar la distancia de viaje) y la necesidad de evitar las áreas con accidentes geográficos tales como colinas o ríos, los cuales aumentarían los costos de construcción.

En las redes urbanas, el factor de la falta de dirección y las características de los enlaces individuales es mucho menos importante que la configuración y funcionamiento similar al de la red como un todo. Mientras algunos movimientos mayores pueden servir como rutas más o menos directas, la mayoría de los viajes se hacen sobre rutas directas. La variable crítica ejecutada no es la distancia a viajar, sino más bien la velocidad y retraso del viaje.

B. LA MOVILIDAD Y EL ACCESO

Las vías urbanas dan servicio con dos propósitos distintos y conflictivos, la función de circulación y la función de acceso local. La función de circulación busca permitir el flujo eficiente del tránsito de paso a través de la vía, mientras que la función de acceso trabaja respecto a la entrada y salida de vehículos en las propiedades colindantes a ella.

El acceso local involucra el movimiento hacia adentro y hacia afuera de la vía, normalmente a velocidades bajas y aproximadamente perpendiculares al sentido de viajar a través de ella, lo que introduce elementos de turbulencia y fricción y, reduce la eficiencia del tránsito de paso.

El objetivo del diseño y manejo de la red es minimizar los costos combinados de infraestructura y costos al usuario. Para los costos al usuario, hay una relación inversa muy fuerte entre la velocidad promedio del viaje y el costo de operación y tiempo. Las velocidades bajas, típicas de las calles locales, tienen un costo más alto por km, mientras que las vías de altas velocidades típicas de acceso limitado, tienen el costo más bajo por km. Para satisfacer el criterio de costo de operación, por consiguiente, una red debe diseñarse para que se pueda viajar a altas velocidades, enlaces de acceso limitado y que el gasto sea tan pequeño como sea posible en calles locales.

A la larga, se debe de buscar resolver el conflicto entre las dos funciones dando facilidades separadas o, aceptando niveles más bajos de movilidad. La experiencia en muchos países ha demostrado que la solución más eficiente es la combinación de dos entradas a través del desarrollo de una red jerarquizada basada en una clasificación funcional.

En una red clasificada funcionalmente, un viaje sencillo normalmente implica desplazarse por una serie de tramos y enlaces; comenzando en calles locales y de acceso, donde la velocidad de viaje es baja, continuando en tramos de acceso restringido y/o velocidades más altas para, finalmente, regresar a calles locales al final del viaje. El hecho de que una porción sustancial del viaje se haga sobre tramos y enlaces primarios, significa que la velocidad de operación y, por consiguiente, el costo de operación resulta significativamente menor de lo que sería si todo el viaje se hiciera sobre vías locales.

En general, si se realiza el viaje en un tramo mayor sobre enlaces de acceso limitado, esto hace más rápido y eficiente el viaje. Por otro lado, las restricciones del acceso ocasionan un costo social, político y económico, así que es necesario buscar un balance apropiado.

C. TIPOS DE CLASIFICACIÓN

C1. CLASIFICACION ADMINISTRATIVA

En el Paraguay, la Ley Nº 5.552/2016 define y establece las categorías de las rutas, caminos y vías que componen la Red Vial. Asimismo define los efectos jurídicos y competencias jurisdiccionales del acto de la categorización.

C.1.1. Red Vial: Es el conjunto sistemático de Rutas Nacionales, Rutas Departamentales, Caminos Vecinales y Vías Municipales situadas en el territorio nacional.

C.1.2. Establece y define las siguientes categorías de rutas: a) Rutas Nacionales, b) Rutas Departamentales, c) Caminos Vecinales y d) Vías Municipales.

C2. CLASIFICACION JERARQUICA

La jerarquía está basada en el grado de movilidad que provee, por el nivel de acceso local, y el grado de prioridad sobre otros enlaces estipulados en las intersecciones. De acuerdo con lo anterior, las vías se clasifican en:

- a) PRIMARIAS
- b) SECUNDARIAS
- c) TERCIARIAS

C3. CLASIFICACION FUNCIONAL DE DISEÑO

La clasificación para el diseño jerarquiza las vías de acuerdo su función, en el cual la carretera queda definida por su nivel de funcionalidad.

Cada nivel funcional está definido entre los dos objetivos que compiten, el acceso y la movilidad, dotándole de las características geométricas correspondientes.

La clasificación funcional para el diseño origina seis categorías de diseño:

- 1- AUTOPISTAS
- 2- MULTICARRILES
- 3- 2 CARRILES PRIMARIAS o TRONCALES
- 4- COLECTORAS
- 5- LOCALES
- 6- DE DESARROLLO

Tabla 3.1_5. RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS CLASES FUNCIONALES

JERARQUÍA	FUNCIÓN	CATEGORÍA	SECCION TRANSVERSAL		VELOCIDADES DE PROYECTO (km/h)			CONTROL DE ACCESOS
			N° CARRILES	N° CALZADAS	LL	ON	MO	
PRIMARIA	DE PASO	AUTOPISTA	2 o más UD	2	120	100	80	Control Total
		MULTICARRIL	2 o más UD	2	100	90	80	Control Parcial
	DE USO MIXTO	DOS CARRILES TRONCALES	2 BD	1	100	90	80	Sin Control
SECUNDARIA	DE USO MIXTO	COLECTOR	2 BD	1	80	70	60	Sin Control
TERCIARIA	DE USO MIXTO O DE ACCESO	LOCAL	2 BD	1	70	60	50 - 40	Sin Control
	DE ACCESO	DESARROLLO	2 BD	1	50	40	30(*)	Sin Control

(*) Menor que 30 Km/h en sectores puntuales conflictivos

UD: Unidireccional

BD: Bidireccional

D. CARACTERÍSTICAS SEGÚN CATEGORÍAS

En la Tabla 3.1_6 se presenta una síntesis de las características asociadas a cada categoría, de acuerdo con los criterios expuestos. Dicha Tabla debe ser considerada como una ayuda memoria teniendo especial cuidado de ponderar adecuadamente los factores humanos, económicos, estéticos y ambientales que no están mencionados en ella. Los rangos de tránsito que se señalan son sólo indicativos ya que condiciones topográficas particulares, o el porcentaje de vehículos pesados en el TMDA o decisiones adoptadas por la Autoridad, pueden crear situaciones no consideradas.

Tabla 3.1_6. CARACTERÍSTICAS ASOCIADAS POR TIPO DE RED Y CATEGORÍAS

RED		PRIMARIA									SECUNDARIA			TERCIARIA					
CLASE FUNCIONAL		AUTOPISTA			MULTICARRIL			DOS CARRILES O TRONCALES			COLECTOR			LOCAL			DESARROLLO		
FRANJA DE DOMINIO RECOMENDADA		100 m			100 m			50 m			30 m			20 m			20 m (mínimo)		
		> 100 m (casos especiales)			> 100 m (casos especiales)			> 50 m (casos especiales)			> 30 m (casos especiales)			> 20 m (casos especiales)			> 20 m (casos especiales)		
VELOCIDAD DE PROYECTO		120	100	90	100	90	80	100	90	80	80	70	60	80	70	50(*)	50	40	30(*)
TIPO DE TOPOGRAFÍA		LL	ON	MO	LL	ON	MO	LL	ON	MO	LL	ON	MO	LL	ON	MO	LL	ON	MO
DIRECCIÓN DE TRÁNSITO ANALIZADA		UNIDIRECCIONAL			UNIDIRECCIONAL			BIDIRECCIONAL			BIDIRECCIONAL			BIDIRECCIONAL			BIDIRECCIONAL		
CONTROL DE ACCESO		CONTROL TOTAL			CONTROL PARCIAL			SIN CONTROL			SIN CONTROL			SIN CONTROL			SIN CONTROL		
NIVEL DE SERVICIO	AÑOS INICIALES	A, B			B			B			C			NO APLICABLE					
	AÑO HORIZONTAL	C			C, D			C, D			D								
VOLUMEN TÍPICO DE TRÁNSITO AL AÑO INICIAL (TMDA)		UD > 10.000			UD > 5.000			BD > 1.500			BD > 500			VARIABLE SEGÚN ACTIVIDAD PRODUCTIVA					
INTERACCIÓN VIAL		AUTOPISTAS MULTICARRIL DOS CARRILES			AUTOPISTAS MULTICARRIL DOS CARRILES COLECTORES			AUTOPISTAS MULTICARRIL DOS CARRILES COLECTORES LOCALES			TODOS			COLECTORES LOCALES DESARROLLO			COLECTORES LOCALES DESARROLLO		
TIPO DE CONEXIÓN		ENLACE			ENLACE DISTRIBUIDOR			ENLACE DISTRIBUIDOR INTERSECCIONES			TODOS			INTERSECCIÓN ACCESO DIRECTO			ACCESO DIRECTO		

(*) Menor que las velocidades establecidas para sectores puntuales conflictivos

SECCION 3.1.1.5. | CRITERIOS Y CONTROLES BÁSICOS PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS

3.1.1.5.1. ASPECTOS GENERALES

Son cuatro los elementos básicos que interactúan y se relacionan entre sí para determinar las características del tránsito, estos son los usuarios de las carreteras, los vehículos que circulan por ellas, las carreteras mismas y los controles que se aplican para normar su operación. Las carreteras y sus intersecciones, deben diseñarse con suficiente capacidad para satisfacer los requerimientos de las demandas de dicho tránsito, durante todo el período seleccionado para el diseño de las instalaciones. La capacidad de la vía puede ser limitada por aspectos adversos de su entorno, relacionados con interferencia de peatones, frecuencia de intersecciones, condiciones del terreno y factores climáticos que afectan la visibilidad, disminuyendo la velocidad y las condiciones físicas y anímicas de los conductores.

Tan importante como ofertar mediante un buen diseño la capacidad requerida de una carretera, es brindarla en condiciones de óptima seguridad y eficiencia en los costos de operación de los vehículos. El tema de la seguridad vial, en particular, no ha merecido en Paraguay la atención debida, razón por la cual en este manual se ha optado por plantear algunas recomendaciones al respecto en un capítulo al final. En adelante de ese tema y para relevar su significación, puede mencionarse que se ha estimado que más de 1.200.000 personas mueren en el mundo y entre 10 y 15 millones resultan lesionados en un año, como producto de accidentes de tránsito. Una de las principales causas de muertes prematuras de personas entre 5 y 44 años de edad, son los accidentes de tránsito, de tal forma que, para los países en vías de desarrollo, éstos se han transformado en un problema real de salud, que produce elevados gastos en medicinas, uso de equipo especializado, instalaciones y personal. Se reconoce que estos gastos bien pueden disminuirse por medio de diseños de obras viales orientados hacia la seguridad del tránsito.

A. EL TRAZADO

Se denomina Carretera o Camino, a una franja de la superficie terrestre mejorada por el hombre para dotarla de características adecuadas para la circulación de vehículos, principalmente automotores. Son obras tridimensionales, cuyos elementos quedan definidos mediante las proyecciones sobre los planos ortogonales de referencia: Planta, Perfil Longitudinal y Sección Transversal.

Aunque el camino sea sólo una aplicación del principio del plano inclinado a la superficie irregular terrestre, es un arte altamente desarrollado que hace uso de muchas técnicas para su definición. Un elemento básico para su definición es el eje de la vía, del mismo que realizándose sus proyecciones en planta y elevación se define su alineamiento en planta y el alineamiento vertical respectivamente.

Estos alineamientos en planta y elevación deben cumplir con una serie de criterios, normas y recomendaciones para su concepción, las cuales pretenden conciliar la conveniencia económica, hecho que surge de intentar adaptar lo más posible los alineamientos a las condiciones del terreno, con las exigencias técnicas requeridas que posibiliten desplazamientos seguros de un conjunto de vehículos a una cierta velocidad, definida genéricamente como Velocidad de Proyecto.

El arte se ha desarrollado gradualmente desde las más remotas épocas adaptándose a los cambios de los vehículos y haciendo uso de los avances de la tecnología para producir trazos mejores y más económicos.

La elección y definición del conjunto de elementos de planta y perfil longitudinal y de sus combinaciones, reguladas y normalizadas, constituye lo que ha sido denominado como Trazado de la Carretera.

B. VARIABLES FUNDAMENTALES

El trazado de carreteras, como ya dijimos, es un proceso que exige la atención de muchas variables que hacen a la concepción de la vía. La existencia de una interdependencia entre la geometría de la carretera y el movimiento de los vehículos que circulan en ella (dinámica del desplazamiento) y entre esta geometría y la visibilidad y capacidad de reacción que el conductor tiene al operar su vehículo, son algunas de estas variables. No basta que el movimiento de los vehículos sea dinámicamente posible en condiciones de estabilidad, sino que además debe asegurarse, para todo punto de la vía, que el usuario tenga suficiente tiempo para adecuar su conducción a la geometría de ésta y a las eventualidades que puedan presentarse.

Asimismo, debe entenderse que una vía debe satisfacer anhelos y necesidades de comunicación, traslado de bienes y personas, comercialización, relación entre la producción y el consumo, desarrollo, defensa, integración, fomento y turismo.

Al momento de concebir la vía, no se debe descuidar que la misma debe diseñarse teniendo en cuenta las características y costumbre de conductores y peatones, el volumen de tránsito, su distribución y conformación, las particulares de los vehículos como por ejemplo su capacidad, potencia, fricción entre calzada y neumáticos y otros.

Son esas y las características particulares de cada zona donde se emplazará el proyecto, algunas de las muchas variables que el Proyectista debe tener en cuenta al momento de realizar el trazado de una carretera o camino.

C. CRITERIOS BÁSICOS

Los criterios de diseño descritos en esta guía, no siempre serán posibles de aplicar de manera integral en la concepción de nuevos trazados, en variantes a las obras existentes o en la rectificación de trazados existentes en que se mantiene el emplazamiento general de la ruta, en razón de los costos que ello significaría, por tanto, el MOPC podrá autorizar algunas flexibilidades, debiendo las mismas estar fundamentadas por el proyectista.

C1. Velocidad 85% Considerada para el Diseño en Planta

Como resultado de la experiencia internacional, se ha determinado que la base para la determinación de la distribución de velocidades que tienden a adoptar los usuarios son las características en planta y sección transversal con que cuentan las vías. Por otra parte, los fenómenos asociados a la dinámica del desplazamiento en planta, en particular al recorrer elementos curvos, ejercen su influencia sobre el 100% de los usuarios, en relación directa al cuadrado de la velocidad de desplazamiento en el tramo considerado.

Cuando la interferencia entre los usuarios es muy baja, aspecto que se da en los períodos en que los flujos de demanda son moderados, la velocidad asociada al percentil 85 (V85%) se define como la velocidad a ser empleada para el diseño. Lo anterior requiere establecer criterios que permitan predecir con cierta aproximación, la V85% que se dará en los diferentes tramos de la carretera.

C.1.1. Predicción de la V85% en Tramos Rectos

La longitud de las rectas "Lr" (m), se medirá entre el punto de salida de la Clotoide de la curva de entrada a la recta y el inicio de la Clotoide de la curva de salida de la recta, ambas según el sentido de circulación que se está analizando.

Si se tratase de curvas circulares, o sea sin espiral, la longitud de la recta deberá ser considerada entre el Final de la Curva de entrada a la recta y el principio de curva del final de la recta.

Para los rangos de Velocidades de Proyecto (V_p) y la Longitud del Tramo en Recta (L_r) que se definen en la *Tabla 3.1_7*, la $V_{85\%}$ dependerá de:

Tabla 3.1_7. CRITERIOS DE PREDICCIÓN DE LA $V_{85\%}$ EN FUNCIÓN DE V_p Y L_r PARA V_p ENTRE 40 Y 120 KM/H

SITUACIONES POSIBLE		V85% DETERMINADA SEGÚN
Caso I	$L_r (m) > 400$	Longitud de la recta
Caso II	$L_r (m) \leq 400$	La característica de la configuración precedente y la relación de los radios de las curvas de entrada y salida

Caso I: Para el caso en que la longitud de recta es mayor a 400 m, en la *Tabla 3.1_8* se indican las $V_{85\%}$

Adoptadas.

Tabla 3.1_8. $V_{85\%}$ AL FINAL DE UNA RECTA SEGÚN LONGITUD Y VELOCIDAD DE PROYECTO

V Proyecto km/h	40	50	60	70	80	90	100	120
$400 m \leq L_r \leq 600 m$	50	60	70	80	90	100	110	125
$L_r > 600 m$	60	70	80	90	100	110	115	130

Pueden considerarse válidos los datos de la Tabla anterior, para carreteras bidireccionales y unidireccionales en terreno llano u ondulado, con pavimento de 7,0 m de ancho y banquetas + SAP mayores o iguales a 2,0 m, (banqueta exterior en el caso de vías unidireccionales). Estas Velocidades podrán ser alcanzadas en períodos en que el flujo no impone restricciones a la selección de la Velocidad por parte de los usuarios.

En Caminos Colectores y Locales, con pavimento de 6,0 m de ancho y Banquetas + SAP de menos que 2,0 m, los valores indicados en la *Tabla 3.1_8*, se podrán reducir en 5 km/h. Si el trazado se desarrolla en terreno demasiado ondulado o de cordillera (V_p 40 a 60 km/h) la reducción puede alcanzar a 10 km/h con un límite de $V_{85\%}=V_p$.

Lo expuesto precedentemente indica que las rectas de más de 600 m de longitud inducen velocidades $V_{85\%}$ que dejan de tener relación con la V_p seleccionada para la ruta, de allí que resulten más seguros y consecuentes los trazados curvilíneos razonablemente amplos, en los que se minimice la longitud de las rectas.

Caso II: Para la determinación de $V_{85\%}$ en los casos que la misma esté determinada por las características de configuración precedente y la relación de los radios de las curvas de entrada y salida, el tratamiento debe ser el comprendido en el numeral descrito a continuación.

C.1.2. Criterios de Predicción de la $V_{85\%}$ en Curvas Horizontales

Se debe considerar los casos expuestos en la *Tabla 3.1_7*, determinándose para cada uno de ellos lo siguiente:

Toda curva horizontal posterior a una recta con longitud L_r mayor que 400 m deberá poseer un radio R al que corresponda una Velocidad Específica $V_e \geq V_{85\%}$ determinada según la *Tabla 3.1_8* con las correcciones que puedan corresponder en el caso de Caminos Colectores y Locales. Una lista de parámetros como radios, peraltes y coeficientes de fric-

ción transversal, los mismos que van asociados a la V_e que les corresponde, se presenta en la *Tabla 3.1_9*.

Si la primera curva de una secuencia está precedida por una recta con $L_r > 600$ m y entre las dos curvas de la secuencia que se analiza, $400 \text{ m} < L_r \leq 600$ m, es deseable que la segunda curva acepte también una V_e mayor o igual que la $V_{85\%}$ empleada en el diseño de la primera. No obstante lo anterior, si se está entrando en una zona de trazado restrictivo, se aceptará que la segunda curva se diseñe para la $V_{85\%}$ definida en la *Tabla 3.1_8* para $400 \text{ m} < L_r \leq 600$ m.

Tabla 3.1_9. $V_{85\%}$ VELOCIDAD ESPECÍFICA EN CURVAS HORIZONTALES

PRIMARIAS AUTOPISTA – MULTICARRIL – BIDIRECCIONALES				SECUNDARIAS Y Terciarias COLECTOR – LOCAL – DESARROLLO			
R (m)	e (%)	V_e (km/h)	f	R (m)	e (%)	V_e (km/h)	f
250	8,0	80,1	0,122	25	7,0	30,1	0,215
300	8,0	86,6	0,117	30	7,0	32,7	0,211
330	8,0	90,1	0,114	40	7,0	37,2	0,203
350	8,0	82,3	0,112	50	7,0	41,1	0,197
400	8,0	97,5	0,107	60	7,0	44,6	0,191
425	8,0	99,9	0,105	70	7,0	47,7	0,186
450	8,0	102,2	0,103	80	7,0	50,5	0,181
500	8,0	106,6	0,099	90	7,0	53,1	0,177
540	8,0	109,9	0,096	100	7,0	55,5	0,173
550	8,0	110,7	0,095	120	7,0	59,9	0,166
600	8,0	114,5	0,092	150	7,0	65,6	0,156
650	8,0	118,1	0,089	180	7,0	70,6	0,148
700	8,0	121,4	0,086	200	7,0	73,5	0,143
720	7,9	122,5	0,085	220	7,0	76,3	0,138
750	7,8	124,1	0,084	250	7,0	80,1	0,132
800	7,5	126,2	0,082	300	7,0	84,7	0,118
850	7,2	128,1	0,080	350	7,0	90,3	0,113
900	7,0	130,2	0,078	400	6,6	94,5	0,110
950	6,7	> 130	0,077	450	6,3	97,9	0,107
1000	6,5	> 130	0,075	500	5,7	101,1	0,104
1200	5,7	> 130	0,070	550	5,4	104,1	0,101
1500	4,8	> 130	0,064	600	5,1	106,8	0,099
1800	4,2	> 130	0,059	700	4,5	> 110	0,095
2000	3,8	> 130	0,056	800	4,1	> 110	0,091
2200	3,6	> 130	0,054	900	3,8	> 110	0,087
2500	3,2	> 130	0,050	1000	3,5	> 110	0,084
2800	3,0	> 130	0,047	1200	3,1	> 110	0,079
3000	2,8	> 130	0,045	1500	2,7	> 110	0,072
3500	2,5	> 130	0,041	1800	2,4	> 110	0,066
4000	2,3	> 130	0,038	2000	2,3	> 110	0,063
4500	2,1	> 130	0,035	2500	2,0	> 110	0,056
5000	2,0	> 130	0,032	3000	2,0	> 110	0,050
7000	2,0	> 130	0,022	3200	2,0	> 110	0,047

Para radios intermedios la V_e se obtendrá por interpolación y el peralte correspondiente a la siguiente **FIGURA 3.1_3**.

Para una secuencia de curvas horizontales sin recta intermedia, o con rectas de longitudes menores que 400 m, la V_e de la Curva inicial habrá sido determinada según lo expresado en los párrafos anteriores y los radios sucesivos deberán mantenerse dentro del rango indicado en la **FIGURA 3.1_4** para Carreteras con $V_p \geq 80$ Km/h y en la **FIGURA 3.1_5** para Caminos con $V_p \leq 80$ Km/h, lo que determina sucesivamente la V_e de las curvas siguientes, según el radio seleccionado dentro del rango para cada par del conjunto y con V_e siempre mayor o igual que V_p .

Figura 3.1_3. V85% VELOCIDAD ESPECÍFICA EN CURVAS HORIZONTALES

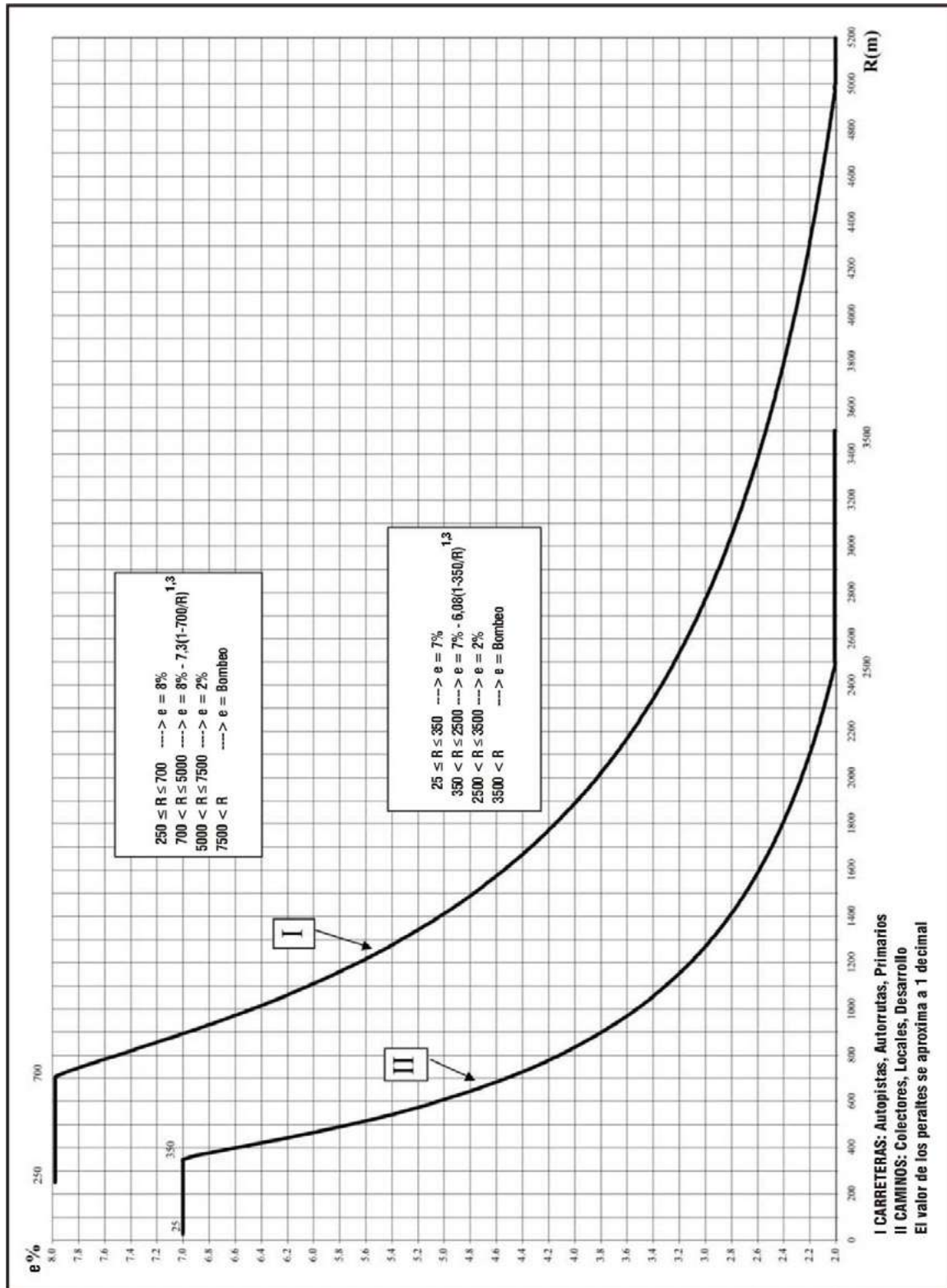


Figura 3.1_4. RELACIÓN ENTRE RADIOS CONSECUTIVOS (CARRETERAS CON $V_p \geq 80$ km/h)

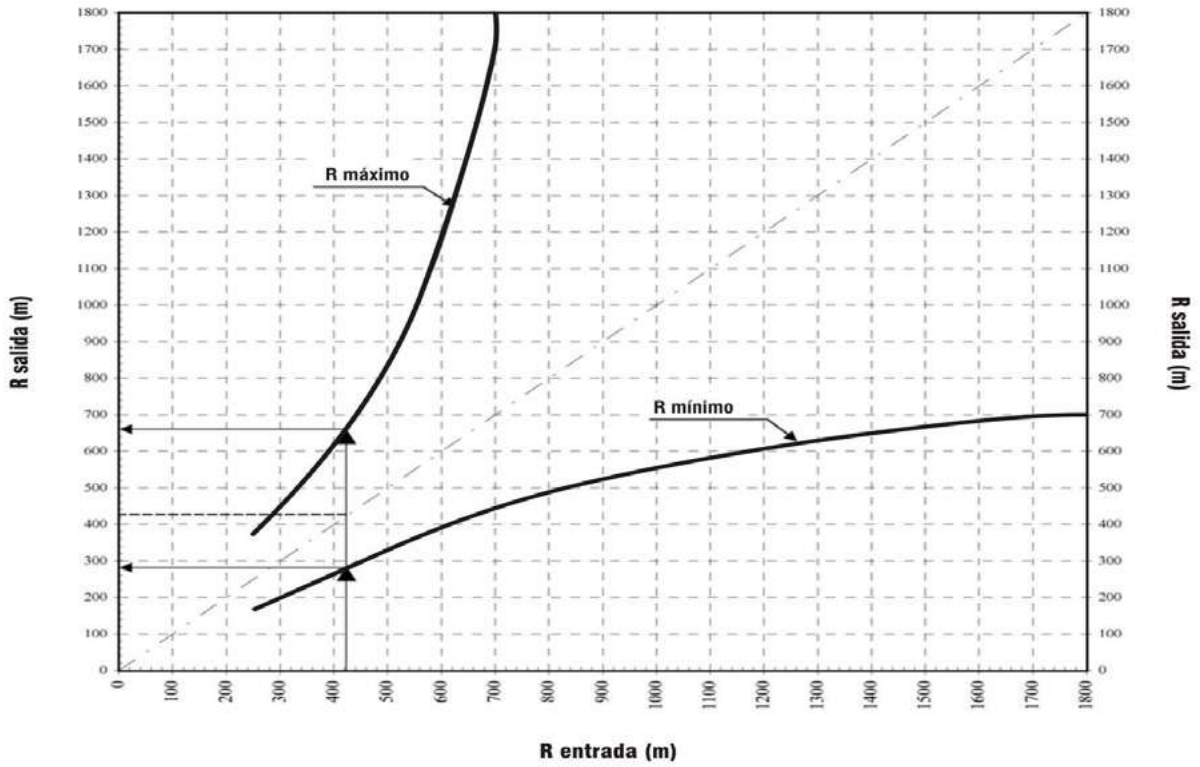
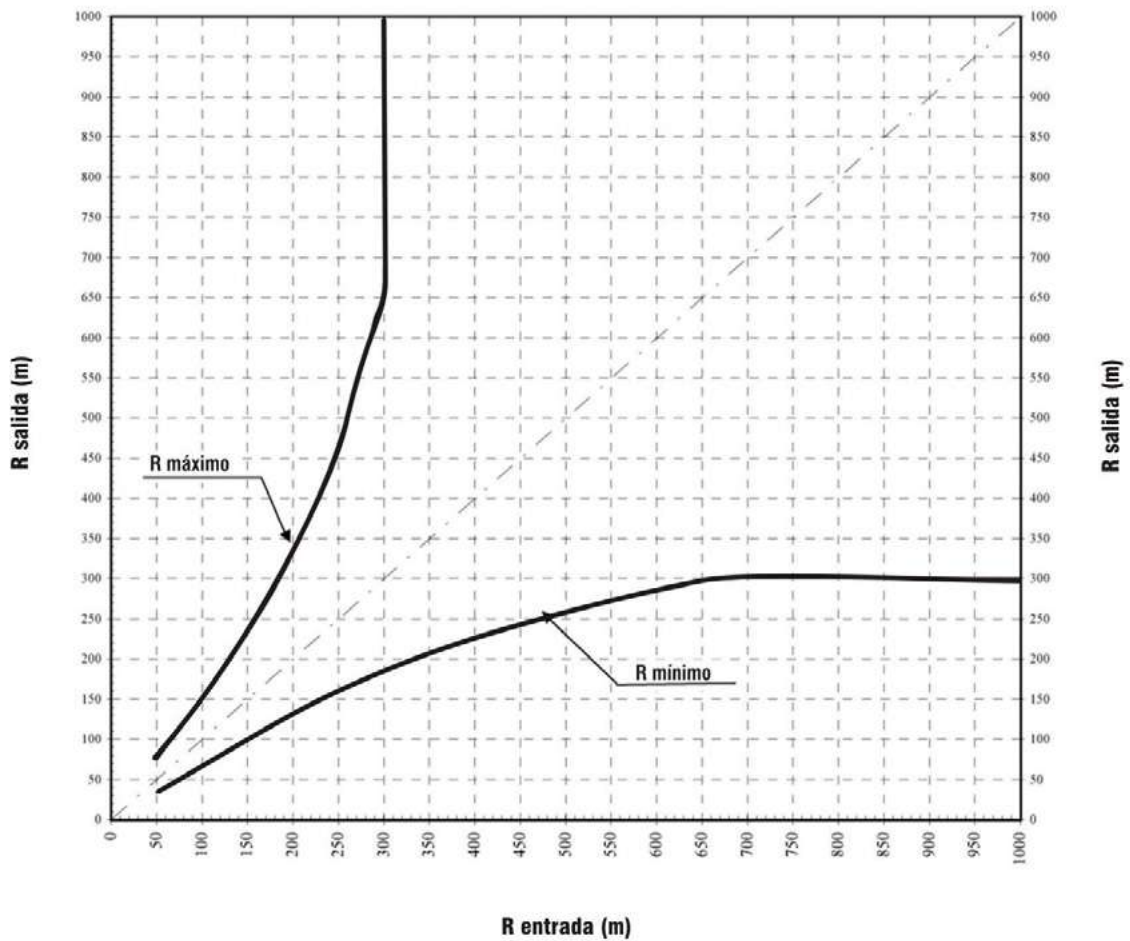


Figura 3.1_5. RELACIÓN ENTRE RADIOS CONSECUTIVOS (CAMINOS CON $V_p \leq 80$ Km/h)



Según lo expuesto en los párrafos anteriores, una curva de $R_{mín}$ correspondiente a la V_p de la ruta, sólo podrá emplearse si está precedida por una recta con $0 \leq L_r \leq 400$ m y a la curva existente al inicio de dicha recta (Radio de entrada, según las figuras 3.1_4 o 3.1_5), se asocia un rango de Radios de salida, en el cual esté comprendido el $R_{mín}$ correspondiente a V_p .

C.1.3. Conclusiones-Predicción V85% para los Diseños en Planta

Toda curva posterior a una recta con $L_r > 400$ m deberá diseñarse considerando la V85% estimada según lo expuesto en los párrafos primero y segundo del punto *Criterios de Predicción de la V85%, en Curvas Horizontales* con la sola excepción señalada para los caminos colectores y locales en que se cumplan las condiciones especificadas.

Si la primera alineación del trazado es una recta con $L_r \leq 400$ m, la V85% al inicio de la curva siguiente puede estimarse igual a V_p . Se actuará del mismo modo si en algún punto se produce una detención obligada, tal como en una estación de control, intersección o cruce con una vía férrea, u otras en que el camino en estudio tiene condición de "Pare".

La V85% de una sucesión de curvas, sin recta intermedia o con una longitud $L_r \leq 400$ m, párrafos tercero y cuarto del punto *Criterios de Predicción de la V85%*, corresponde a la V_p de cada una de las curvas, siempre dependiendo de la curva precedente y del rango de radios especificados para la situación bajo análisis.

En caminos bidireccionales el cálculo de la V85% debe hacerse por carril, según el sentido de circulación y en carreteras unidireccionales para cada calzada.

Cualquiera que sea el caso particular que se enfrenta, o la interpretación que se dé al contenido de lo expuesto precedentemente, la V85% nunca podrá ser menor que la V_p asignada al proyecto o a los subtramos que lo compongan.

C2. Velocidad V^* Considerada para Verificar la Visibilidad de Frenado y Para Diseñar el Alineamiento Vertical

C.2.1. Criterios y Definiciones

La Visibilidad de Parada a la que se asocia la Distancia de Parada " D_p " determinada a partir de la Velocidad de Proyecto, debe existir a todo lo largo el trazado, tanto para los elementos de la planta como para aquellos del alzado que se diseñan bajo este concepto. Corresponde entonces, también en este caso, un tratamiento particular de los tramos con trazado amplio que pueden inducir velocidades de desplazamiento superiores a las de proyecto; aun cuando como se verá, intervienen en el proceso de su definición, consideraciones adicionales a las expuestas en 501.01.3.(a).

La Distancia de Parada D_p (m) presupone en su cálculo la existencia de un obstáculo de 0,20 m de alto, localizado en el centro de la pista por la que va circulando el vehículo, el cual deberá ser percibido por el conductor, quien reaccionará para detener el vehículo inmediatamente antes del obstáculo.

La situación descrita es un fenómeno eventual, en la práctica de muy baja ocurrencia, pudiendo además en caso de ocurrir, ser menos crítico que el supuesto por el modelo, ya sea porque el obstáculo es de mayor altura y por lo tanto será percibido mucho antes, o bien, podrá estar localizado en posiciones más favorables que permitan una maniobra para evitarlo, o bien, ocurra inducido por fenómenos naturales (ejemplo: Tormentas), que ponen en guardia al conductor sobre la posible existencia de obstáculos desprendidos de los cortes del camino, árboles o postes caídos, etc., eventos que lo inducirán a reducir la velocidad de desplazamiento, al menos en las zonas con visibilidad restringida.

La Velocidad V^* (km/h), se define como aquella empleada para verificar la existencia de $D_p(m)$, en Curvas Horizontales con obstáculos laterales que limitan la visibilidad, y para el diseño de Curvas Verticales Convexas, también dependientes de D_p . Los valores adoptados para V^* son mayores o iguales que V_p , pero en general menores que la $V_{85\%}$ del tramo, por cuanto la V^* cubre eventos de baja ocurrencia, en tanto que la $V_{85\%}$ se asocia al diseño dinámico de las curvas horizontales, en las que se crean esfuerzos laterales que afectan a la totalidad de los usuarios que se desplazan a esa velocidad.

C.2.2. Velocidades V^* Adoptadas

Los casos en que se debe diseñar considerando la existencia de Distancia de Frenado para Velocidades por sobre las de Proyecto y las V^* adoptadas, son:

Alineaciones Rectas que incluyen una Curva Vertical Convexa que limita la visibilidad y Curvas Horizontales precedidas por una recta, con o sin Curva Vertical Convexa:

$$\text{Si: } 400 \text{ m} < L_r \leq 600 \text{ m} \quad V^* = V_p + 5 \text{ km/h}$$

$$L_r > 600 \text{ m} \quad V^* = V_p + 10 \text{ km/h}$$

Curvas Horizontales precedidas por una recta cuya longitud no supera los 400 m, pudiendo existir o no una curva Vertical Convexa. Si R_m es el radio horizontal mínimo para V_p , V^* adopta los siguientes valores:

$$R_m \leq R \leq 1,15 R_m \quad V^* = V_p \text{ km/h}$$

$$1,15 R_m < R \leq 1,30 R_m \quad V^* = V_p + 5 \text{ km/h}$$

$$R > 1,30 R_m \quad V^* = V_p + 10 \text{ km/h}$$

Los valores de V^* son válidos en todo el conjunto Clotoide de Entrada - Curva de Radio R -Clotoide de salida

Si existe un nuevo elemento recto intermedio con $L_r < 400 \text{ m}$, la V^* en la recta intermedia se determina como el promedio de las V^* correspondientes a las curvas horizontales de entrada y de salida, redondeando a los 5 km/h

C.2.3. Situaciones en que Interviene V^* en el Diseño:

Toda vez que se deba diseñar una curva Vertical Convexa

Toda vez que corresponda verificar D_p en una curva Horizontal a la derecha, según el sentido de circulación, en que la visibilidad puede estar limitada por el talud de un corte, una Baranda Metálica de un Puente en curva o una Barrera de Seguridad; en curvas a la izquierda en la pista izquierda de una Carretera Unidireccional con Barrera de Seguridad, elemento tipo vista interrumpida, o arbustos en la Mediana, o bien, Baranda de un Puente en Curva. En curvas a la izquierda, si la carretera posee Control Total de Acceso tanto para vehículos como para peatones y animales el obstáculo a considerar será un automóvil ($h_3 = 1,2 \text{ m}$), como se verá en Capítulos posteriores

No se emplearán las V^* para el diseño de curvas Verticales Cóncavas puesto que en ese caso la visibilidad está limitada sólo de noche, situación en que se considera que los usuarios no superan la Velocidad de Proyecto

No se emplearán las V^* para la Verificación de las Distancias de Adelantamiento, puesto que no se considerarán adelantamientos a vehículos que se desplazan a Velocidades sobre las de Proyecto.

Cualquiera que sea el caso particular que se enfrente, o la interpretación que se dé al contenido de lo expuesto precedentemente, la V^* nunca podrá ser menor que la V_p asignada al proyecto o a los subtramos que lo compongan.

C3. Velocidad 85% y V^* en Tramos Singulares

Salvo disposición en contrario de la Dirección de Vialidad, en zonas de intersecciones canalizadas y enlaces, se considerará que, $V_{85\%} = V^* = V_p$, entre el inicio y el fin de las Pistas de Cambio de Velocidad del dispositivo. En Túneles se adoptará $V_{85\%} = V^* =$ Velocidad Máxima señalizada dentro del túnel.

3.1.1.5.2. DISTANCIAS DE VISIBILIDAD Y MANIOBRAS ASOCIADAS

A. ASPECTOS GENERALES

Se ha evidenciado que una de las características más importantes que un proyecto de carreteras debe ofrecer al conductor de un vehículo, es la facilidad de ver hacia delante, condición que le permita realizar una circulación cómoda, segura y eficiente.

Para asegurar que una carretera ofrezca esta característica al conductor deberá realizarse una buena concepción de las distancias de visibilidad, definida como la longitud continua de carretera que es visible hacia delante por el conductor de un vehículo que circula por ella.

Las distancias de visibilidad deben ser de suficiente longitud, tal que le permita a los conductores desarrollar la velocidad de diseño y a su vez controlar la velocidad de operación de sus vehículos ante la realización de ciertas maniobras en la carretera, como lo puede ser por la presencia inesperada de un obstáculo sobre su carril de circulación, o el adelantamiento a un vehículo lento en carreteras de dos carriles (dos sentidos), así mismo las maniobras de cruce con una vía, o el encuentro de dos vehículos que circulan por el mismo carril en sentidos opuestos en carreteras de calzadas angostas. Dichas distancias deberán ser por lo menos, iguales a las distancias de frenado para obstáculos sobre la longitud total de la carretera.

En las carreteras de dos vías, las distancias mínimas de visibilidad de adelantamiento deben proveerse en un gran porcentaje de la longitud de la carretera y deben estar tan uniformemente distribuidas como sea posible. En donde la visibilidad es insuficiente, se recomienda la construcción de áreas de paso o de áreas con sobreancho, juiciosamente localizadas.

En áreas donde las distancias de visibilidad no se pueden asegurar (en forma permanente o temporal), deben colocarse marcas o señales de carretera apropiadas para prohibir el adelantamiento en forma clara y perceptible por los usuarios.

Por lo anterior, para el proyecto de carreteras, deberán tenerse en cuenta cuatro tipos de distancias de visibilidad, las cuales dependen de las distintas circunstancias impuestas por el trazado de la carretera o de la maniobra que el conductor desea realizar. Estas son:

- Distancia de visibilidad de frenado.
- Distancia de visibilidad de adelantamiento.
- Distancia de visibilidad al punto de atención.
- Distancia de visibilidad de cruce (cruce de carreteras).
- Distancia de visibilidad de encuentro (Intersecciones)

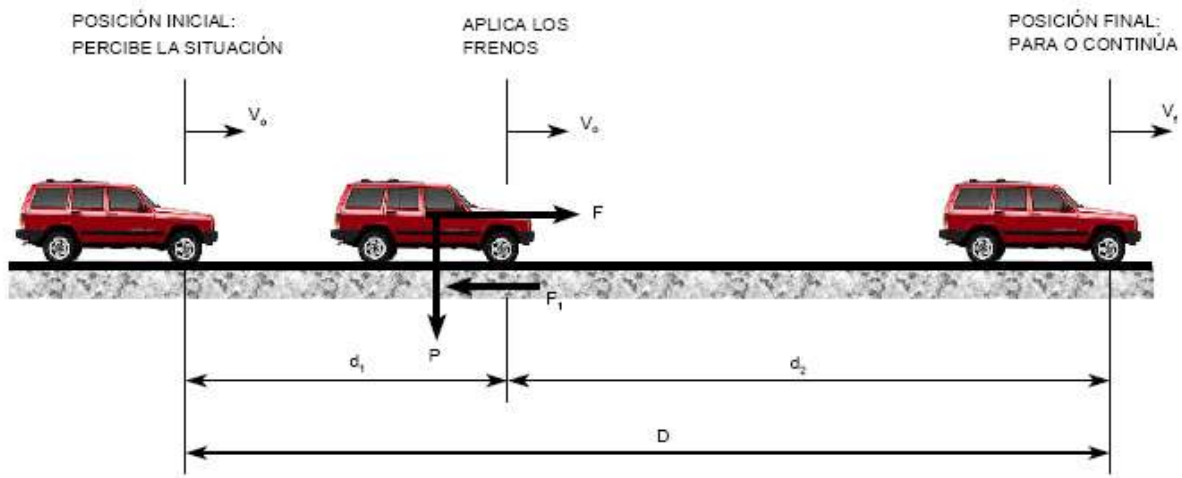
Las dos primeras situaciones influyen el diseño de la carretera en campo abierto y serán tratadas en esta Sección, considerando inicialmente la situación de referencia; es decir, en alineamiento recto y sin pendiente, para luego analizar el efecto de las pendientes y de las obstrucciones a la visibilidad que pueden darse en las curvas horizontales. Las condicionantes impuestas por el alineamiento vertical, curvas verticales, se analizarán al momento de estudiar el trazado

del Alineamiento Vertical. La visibilidad al punto de atención será tratada en el Capítulo referente al Diseño Espacial. Las dos últimas situaciones se tratarán posteriormente.

B. DISTANCIAS DE VISIBILIDAD DE FRENADO

La distancia de visibilidad de frenado es aquella requerida por un conductor para detener su vehículo en marcha, cuando surge una situación de peligro o percibe un objeto imprevisto adelante de su recorrido. Esta distancia se calcula para que un conductor y su vehículo por debajo del promedio, alcance a detenerse ante el peligro u obstáculo. La geometría de una carretera, sea cualquiera su tipo, debe diseñarse con la distancia de visibilidad mínima. Gráficamente la concepción de esta distancia se puede apreciar en el siguiente diagrama.

Figura 3.1_6. DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE FRENADO



Por tanto, la distancia de frenado es la suma de dos distancias a decir:

- Distancia de Percepción y Reacción

La Distancia de percepción y reacción es la distancia recorrida por el vehículo desde el instante que el conductor percibe el objeto y aplica el pedal del freno

- Distancia de Frenado

Distancia de frenado es la distancia necesaria para detener el vehículo desde el instante de la aplicación del freno hasta su detención final

El cálculo de distancia de visibilidad de frenado se determina mediante la siguiente fórmula:

$$D_{vf} = \frac{V * t}{3.6} + \frac{V^2}{254 (f \pm i)}$$

Donde:

- Dvf = Distancia de Frenado (m)
- V = V_p o V^*
- t = Tiempo de Percepción + Reacción (s)
- f = Coeficiente de fricción entre neumático y superficie de rodadura (longitudinal)

- i = Pendiente Longitudinal (m/m)
- +i = Subidas respecto sentido de circulación
- i = Bajadas respecto sentido de circulación

El primer término de la expresión representa la distancia recorrida durante el tiempo de percepción + reacción (dt) y el segundo la distancia recorrida durante el frenado hasta la detención junto al obstáculo (df).

La *Tabla 3.1_10* presenta los valores parciales calculados mediante la expresión citada y el valor redondeado adoptado para la Dvf. Todo ello considerando que V* corresponde a la velocidad asignada al tramo y que los valores de "t" y "f" se han actualizado de acuerdo a las tendencias vigentes a la fecha. Estos valores de Dvf, son los mínimos admisibles en horizontal.

Tabla 3.1_10. "VALORES PARA Dvf" (pendiente longitudinal i = 0%)

V Km/h	t s	f	dt m	Df m	Dvf (m)		V Km/h
					dt + Df	Adopt.	
30	2	0,420	16,7	8,4	25,1	25	30
35	2					31	35
40	2	0,415	22,2	15,2	37,4	38	40
45	2					44	45
50	2	0,41	27,8	24	51,8	52	50
55	2					60	55
60	2	0,40	33,3	35,4	68,8	70	60
65	2					80	65

70	2	0,38	38,9	50,8	89,7	90	70
75	2					102	75
80	2	0,36	44,4	70	114,4	115	80
85	2					130	85
90	2	0,34	50,0	93,8	143,8	145	90
95	2					166	95
100	2	0,33	55,6	119,3	174,9	175	100
105	2					192	105
110	2	0,32	61,1	148,9	210,0	210	110
115	2					230	115
120	2	0,31	66,7	182,9	249,5	250	120
125	2					275	125
130	2	0,295	72,2	225,5	297,8	300	130

Nota.- Para pendientes longitudinales diferentes de la horizontal ($i = 0\%$), se debe calcular el D_{vf} correspondiente.

Si en una sección de carretera o camino resulta prohibitivo lograr la Distancia Mínima de Visibilidad de Frenado correspondiente a V^* , se deberá señalar dicho sector con la velocidad máxima admisible, siendo éste un recurso extremo a utilizar sólo en casos especiales y que sean debidamente autorizados por el MOPC.

B1. Visibilidad de Frenado en Puntos Singulares

En sectores que se aparten del caso base, trazado recto con rasante en pendiente uniforme, el cálculo de los elementos deberá verificarse o efectuarse de modo de asegurar en todo punto, al menos una visibilidad equivalente a la distancia de Visibilidad de Frenado requerida. Estos casos se tratan en:

-Verificación de Distancia de Visibilidad de Frenado en Curvas Horizontales

-Verificación Gráfica de la Distancia de Visibilidad de Frenado en Alineamiento Vertical

-Diseño Curvas Verticales por Criterio Distancia de Visibilidad de Frenado, que será desarrollado en posteriormente en la *Sección 3.1.1.7*.

-Verificación de Distancia de Visibilidad de Frenado bajo Estructuras, que será desarrollado posteriormente en la *Sección 3.1.1.7*.

C. DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO

La distancia para adelantar se define, como la longitud del camino que permite a un vehículo rebasar al que se encuentra circulando en su mismo carril y dirección, con toda seguridad, sin poner en peligro la circulación de un tercer vehículo que ocupa el carril opuesto en dirección contraria y se hace visible al inicio de la maniobra.

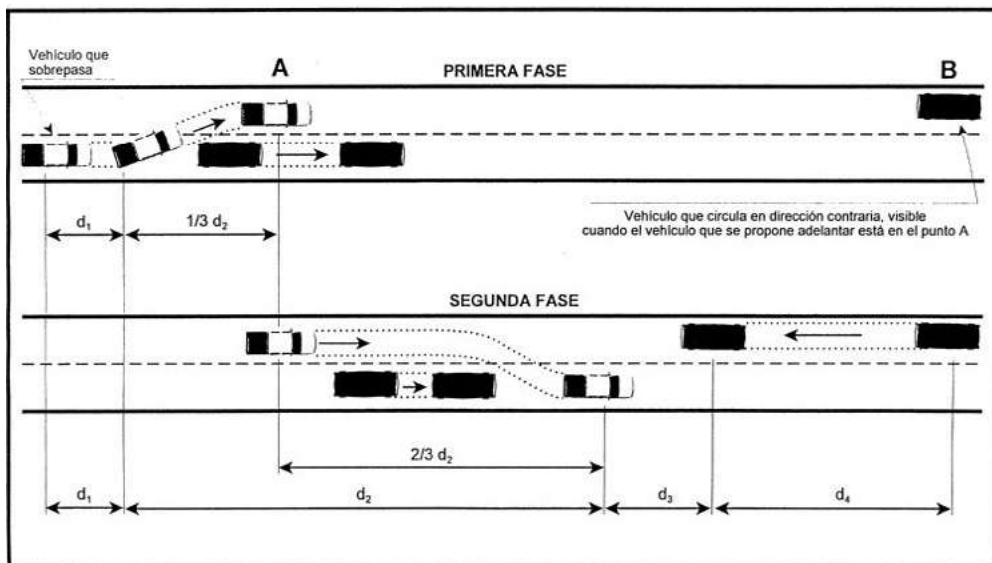
Es de importancia para el proyectista considerar que exista la oportunidad de rebasar en la mayor longitud posible del camino, pero también seleccionar cuidadosamente su ubicación acorde con las condiciones geométricas y topográficas existentes, para que resulte un diseño equilibrado y económico.

Para lograr este objetivo, se supone que el vehículo que inicia el adelantamiento ha de circular a una velocidad superior aproximadamente a los 15 Km/h con respecto al vehículo que ha de rebasar, manteniendo éste una velocidad constante.

Del mismo modo, cuando el vehículo retorna a su carril debe existir una adecuada longitud sin obstáculos para que no ponga en peligro la circulación del vehículo que se aproxima por el carril contrario.

La mínima distancia para adelantar está gobernada por la integración de cuatro distancias como se indica en el gráfico siguiente.

Figura 3.1_7. DISTANCIA MÍNIMA DE ADELANTAMIENTO



Atendiendo lo anteriormente expresado se puede deducir que, la Distancia de Visibilidad de Adelantamiento se requiere sólo en caminos con carriles para tránsito bidireccional.

El proyectista deberá verificar en las etapas iniciales del proyecto en qué zonas se deberá prohibir el adelantamiento y así adaptar su trazado evitando sectores demasiado largos en que no se pueda ejecutar esta maniobra. Las distancias de adelantamiento se dan en función de la Velocidad de Proyecto V_p , considerando que difícilmente se intentarán maniobras de adelantamiento respecto de vehículos que circulan a velocidades mayores.

La Tabla siguiente expone los valores mínimos a considerar en el diseño como visibilidades adecuadas para adelantar.

Tabla 3.1_11. "DISTANCIAS MÍNIMAS DE ADELANTAMIENTO EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE PROYECTO"

Velocidad de Proyecto Km/h	Distancia Mínima de Adelantamiento (m)
30	180
40	240
50	300
60	370
70	440
80	500
90	550
100	600

Donde sea económico posibilitar el adelantamiento el proyectista deberá procurar dar distancias de visibilidad mayores que las indicadas en la tabla anteriormente presentada. En casos especiales donde hay presencia de vehículos muy largos (camiones tipo bitrenes), el proyectista deberá verificar la distancia mínima de adelantamiento en función de la longitud de los vehículos de diseño utilizados para la simulación de la maniobra de adelantamiento.

C1. Efecto de las Pendientes Sobre la Distancia de Adelantamiento

Otro factor importante a ser evaluado por el proyectista es la pendiente del camino para el vehículo que inicia el paso en tramos de subida, dado que, si bien el vehículo a rebasar disminuirá progresivamente su velocidad, el vehículo que circula por el carril opuesto del mismo modo incrementará su velocidad pudiendo crear una situación peligrosa.

Si bien no existe un criterio establecido al respecto, es conveniente su oportuna evaluación incrementando las distancias que se establecen en la Tabla presentada en el siguiente punto. Este incremento debe realizarse como se explica a continuación:

En pendientes > 6,0%.

Usar Distancia de Adelantamiento (D_a) correspondiente a $V_p + 10$ km/h.

Si $V_p = 100$ km/h considerar en estos casos $D_a \geq 650$ m.

C2. Frecuencia de Zonas Adecuadas para Adelantar

Si bien la Distancia de Adelantamiento es mayormente requerida a la Distancia de Visibilidad de Frenado, el diseñar una carretera que posea a lo largo de su desarrollo una Distancia de Adelantamiento adecuada para adelantar, resulta sumamente antieconómico, lo que se incrementa aún más cuando el terreno cambia de conformación de llano a ondulado y a cordillera.

Por otra parte, diseñar una carretera con pocos sectores que cuenten la debida Distancia de Adelantamiento, reduce la capacidad de las vías bidireccionales, provoca impaciencia en los conductores y con ello se incrementa el peligro en las maniobras de paso arriesgadas.

Equilibrando estos dos conceptos, el proyectista deberá distribuir lo más homogéneamente posible la ubicación de zonas con Distancia de Adelantamiento a lo largo del trazado.

En un tramo dado de longitud superior a 5 Km, el Proyectista procurará que los sectores con Distancia de Adelantamiento adecuada, respecto del largo total del tramo, se encuentren dentro de los porcentajes establecidos en la siguiente tabla.

Tabla 3.1_12. "PORCENTAJE DE SECTORES CON DISTANCIA DE ADELANTAMIENTO ADECUADA RESPECTO AL LARGO TOTAL DEL TRAMO"

Tipo de Terreno	% Mínimo	% Deseable
Llano	45	
Ondulado	30	
Cordillera	20	

C3. Zonas de No Adelantar

En los casos en que no se pueda conseguir establecer la Distancia de Adelantamiento adecuada, ya sea por razones restrictivas causadas por elementos asociados a la planta o perfil longitudinal o tal vez una combinación de ambos, estas zonas deberán ser debidamente señalizadas, implementando para ello señales horizontales cuando exista pavimento y señales verticales para todo tipo de pavimento. Existe la posibilidad de utilizar señalización vertical al lado izquierdo, en aquellos casos en que se cuente con carreteras de elevados índices de tránsito, en los cuales los mismos vehículos obstaculicen la visibilidad.

Para definir la zona de no adelantar, el proyectista deberá determinar mediante procedimientos gráficos, o bien analíticos, los puntos del trazado, para cada sentido de tránsito, en que la visibilidad es igual y de allí en adelante menor que el mínimo requerido.

D. VERIFICACIÓN DE LA VISIBILIDAD

D1. Aspectos Generales

El proyectista debe efectuar en las primeras etapas del proyecto la evaluación de la coordinación entre los alineamientos horizontal y vertical, cuando aún se pueden hacer modificaciones sin causar grandes perturbaciones en el diseño.

Los tramos en recta y de pendiente uniforme, por lo general no presentan obstrucciones a la visibilidad. Solo en situaciones extraordinarias, como por ejemplo en situaciones de trabajo en la vía, pueden existir algunas obstrucciones, situación que puede ser resuelta con la colocación de señalización preventiva transitoria.

Tramos con curvatura en planta, pero en pendiente uniforme deberán verificarse respecto de la distancia a obstáculos existentes en sentido transversal a la carretera, hacia el interior de la curva, que pueden estar constituidos por taludes de corte, árboles, etc., o bien por elementos instalados en el cantero central (barreras, arbustos).

El despeje lateral mínimo requerido se puede determinar con facilidad analíticamente, considerando la V^* asignada al tramo. Tramos en recta con un alineamiento vertical que presenta curvas verticales no requieren verificación en la medida que estas estén diseñadas para D_f considerando la V^* asignada al tramo. Cuando se trata de un camino bidireccional los tramos diseñados para D_f deben analizarse para establecer los puntos en que se debe instalar señalización que prohíba el adelantamiento, resultando práctico el empleo de métodos gráficos o bien un programa computacional.

Tramos que presentan simultáneamente curvatura en planta y elevación complican la verificación y normalmente se debe recurrir a los métodos gráficos, trabajando sobre los planos del proyecto, combinando los procedimientos que se ilustran más adelante.

D2. Verificación Gráfica de la Distancia de Visibilidad de Frenado en curvas Horizontales

La visibilidad en el interior de una curva horizontal puede estar limitada por obstrucciones laterales. La expresión analítica que se presenta a continuación permite calcular el despeje mínimo necesario en la parte central de la curva, pero hacia los extremos de ésta el despeje disminuye, dando origen a un huso. Lo anterior es especialmente válido cuando la distancia de visibilidad requerida es mayor que el desarrollo de la curva o cuando existen curvas de transición entre la alineación recta y la curva circular. Los Gráficos que se muestran en la página siguiente, exponen cómo mediante un polígono de visuales se puede determinar, para diversas secciones transversales, el despeje necesario medido a partir del radio que describe el conductor por el carril interior (derecha) de la calzada, en el caso de curvas a la derecha. En carreteras unidireccionales se podrá usar el mismo procedimiento, pudiendo en ese caso también ser crítico el carril adyacente al cantero central (izquierdo), para curvas hacia la izquierda, si en el cantero central existen barreras o arbustos.

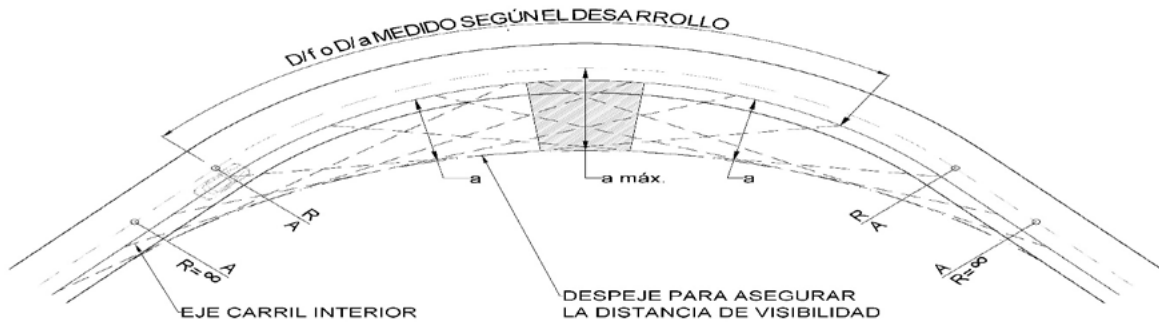
Para calcular el despeje lateral máximo requerido se deben considerar los dos casos que se ilustran en la *Figura 3.1_8*.

- Caso I: D_{vf} o $D_a <$ Desarrollo de la Curva Circular.

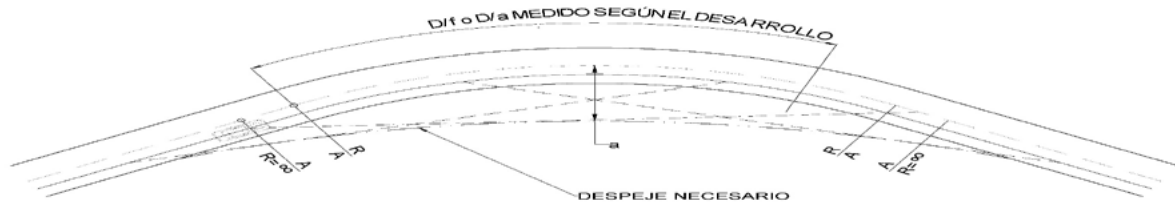
- Caso II: D_{vf} o $D_a >$ Desarrollo de la Curva Circular.

Figura 3.1_8. DESPEJE NECESARIO PARA ASEGURAR LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD

Caso I: D_v o $D_a < \text{Desarrollo Curva Circular}$



Caso II: D_v o $D_a > \text{Desarrollo Curva Circular}$



Este valor puede ser calculado analíticamente a partir de la expresión:

$$a_{m\acute{a}x} = R \left[1 - \cos\left(\frac{100 * D_v}{\pi * R}\right) \right]$$

Siendo D_v igual a D_f o D_a según el caso bajo análisis y la función trigonométrica en grados centesimales.

La anterior expresión puede reemplazarse por: $a_{m\acute{a}x} = \frac{D_v^2}{8 * R}$ que da resultados suficientemente aproximados para todos los efectos, cuando se calcula $a_{m\acute{a}x}$ por condición de frenado o cuando se calcula $a_{m\acute{a}x}$ para $R > D_a$ en el caso de visibilidad de adelantamiento. El error que se comete está en todo caso por el lado de la seguridad.

Para un ancho normal de carril, 3,5 o 3,0 m, la distancia crítica entre el conductor y el borde del carril por la que se circula, es la que se indica en la Tabla siguiente, los valores presentados son para diferentes situaciones. Tomando en cuenta el sentido de circulación en vías bidireccionales y unidireccionales, son Carriles Críticos y requieren verificación, el carril derecho cuando la curva tiene giro a la derecha; para curvas de giro a la izquierda será Carril Crítico el izquierdo en calzadas unidireccionales, adyacentes al cantero central.

Tabla 3.1_13. “DISTANCIA CRÍTICA ENTRE EL CONDUCTOR Y EL BORDE DEL CARRIL”

TRAZADOS EN CAMPO ABIERTO			
CALZADAS BIDIRECCIONALES (n = 2)		CALZADAS UNIDIRECCIONALES (n ≥ 2)	
CARRILES 3,5 m	CARRILES 3,0 m	CARRILES 3,5 m	
2,00	1,75	2,0 C. Derecho	1,50 C. Izquierdo
TRAZADOS EN TÚNELES O ADYACENTES A MUROS DE CONTECIÓN O CORTES CON TALUD > 4V:1H(1) y (2)			
CALZADAS BIDIRECCIONALES (n = 2)		CALZADAS UNIDIRECCIONALES (n ≥ 2)	
CARRILES 3,5 m	CARRILES 3,0 m	CARRILES 3,5 m	
2,20	1,95	2,35 C. Derecho	1,65 C. Izquierdo

D3. Verificación Gráfica de la Distancia de Visibilidad de Frenado en Alineamiento Vertical

La visibilidad en el alineamiento se relaciona fundamentalmente con la determinación de las zonas de adelantamiento prohibido, cuando resulta antieconómico proveer esta visibilidad. En efecto, el cálculo analítico de curvas verticales por visibilidad de frenado, que debe existir siempre, o por visibilidad de adelantamiento cuando el proyectista decide darlo, queda asegurado mediante el uso de los valores y las expresiones de cálculo correspondientes a la “Verificación de la Visibilidad”, presentado en la presente guía.

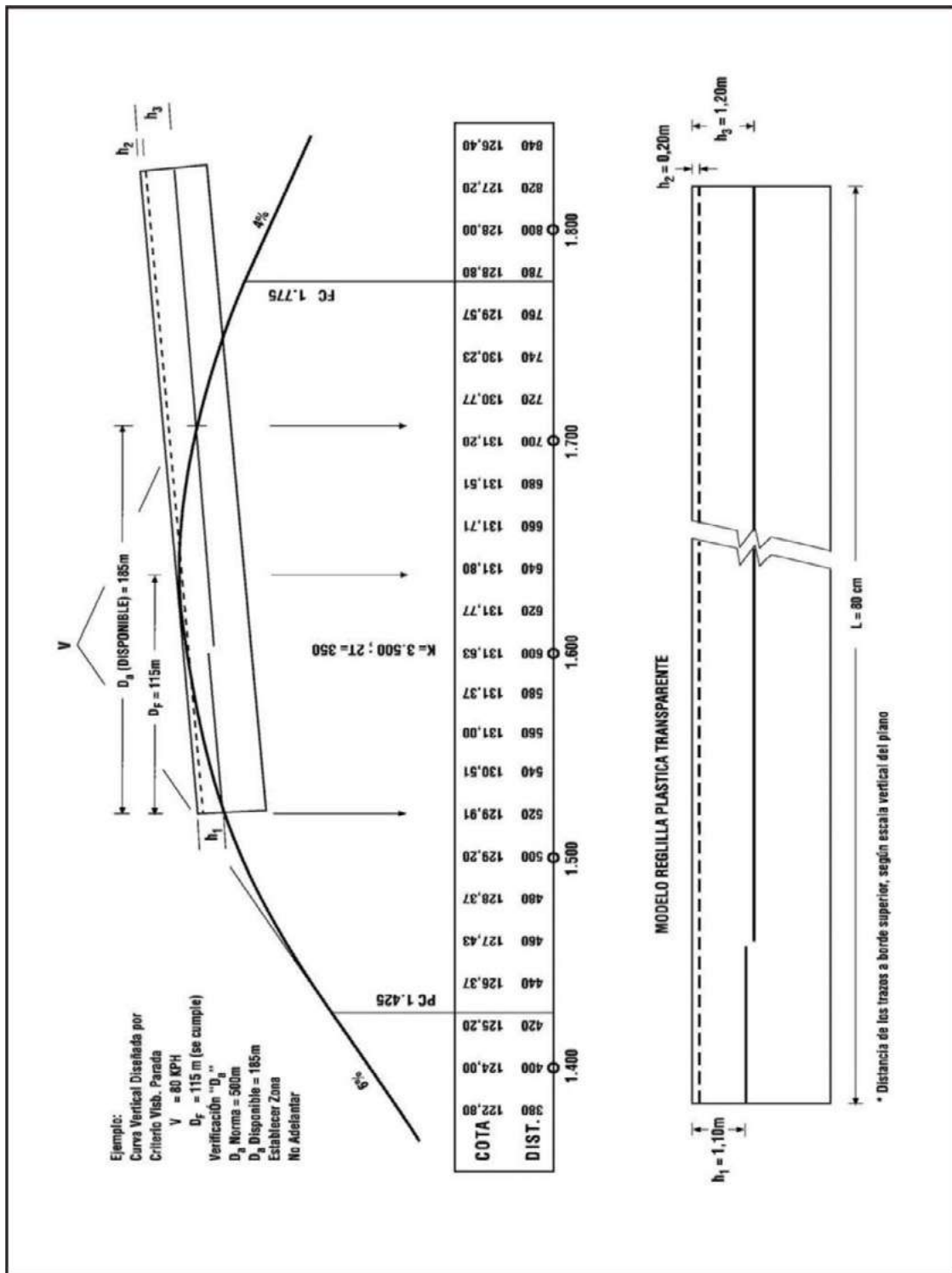
En todo caso, el método gráfico presentado en la página siguiente, permite verificar las distancias de visibilidad de frenado y adelantamiento en curvas verticales convexas y es indispensable para determinar la longitud de las zonas de adelantamiento prohibido y consecuentemente apreciar el efecto global de éstas sobre la futura operación de la carretera.

Tal como se observa en la *Figura 3.1_9*, al cortar la rasante con el trazo que dista 1,10 m, (a escala del plano), en una estación dada, y hacer tangente el borde superior de la reglilla con la rasante, se tiene la línea de visual del conductor; el punto en que la línea de segmentos corta por segunda vez la rasante, será la distancia de visibilidad disponible por condición de frenado desde donde se ubica el observador.

El punto donde el trazo lleno, que representa los 1,2 m (h5) de altura de un vehículo, corta la rasante, será la distancia de visibilidad de adelantamiento que se dispone a partir del mismo punto inicial considerado. Desplazando la reglilla a lo largo de la rasante en uno y otro sentido de circulación, se podrán verificar las visibilidades disponibles y así determinar las zonas de adelantamiento restringido.

Debido a la distorsión de escala (H)/(V) del plano, no se pueden hacer medidas a lo largo de la reglilla por lo que las visibilidades disponibles deberán obtenerse por diferencia de kilometrajes asociados a los puntos de corte de la rasante, con los trazos correspondientes a cada situación.

Figura 3.1_9. VERIFICACIÓN GRÁFICA DE LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE FRENADO EN ALINEAMIENTO VERTICAL



SECCION 3.1.1.6. | TRAZADO EN PLANTA

3.1.1.6.1. INTRODUCCIÓN

Para la realización de un diseño óptimo es esencial conocer las especificaciones que rigen el Diseño Geométrico de Carreteras, así como encontrar una armonía entre las normas para el Alineamiento Horizontal y Vertical, aspecto que se ve afectado por factores como la Franja de Dominio, división de la propiedad, el efecto de la vía proyectada en torno a las existentes, cruce con carreteras, ferrocarriles, el drenaje y otros; debido a que por estos factores se puede hacer necesario realizar un forzado en el Diseño.

Para el alineamiento vertical es importante aclarar que la subrasante es la línea que hay que tomar como referencia. La posición de ésta va a depender de diversos factores como:

La condición topográfica del terreno influye en diversas formas al definir la subrasante. En terrenos planos la altura de la subrasante será regulada generalmente por el drenaje. En terrenos ondulados se adoptan subrasantes onduladas, mientras que en terrenos accidentados, estará regida por la topografía.

Se debe buscar una subrasante suave con cambios graduales. Los valores de diseño son la pendiente máxima y la longitud crítica.

Deben evitarse vados formados por curvas verticales muy cortas pues no representa un perfil seguro. Asimismo, no se debe colocar dos curvas verticales sucesivas y en la misma dirección.

Es preferible tener un perfil escalonado a una pendiente sostenida, ya que de esta manera se controla mejor la velocidad.

Cuando la magnitud del desnivel motiva largas pendientes uniformes, es conveniente adoptar un carril adicional en la sección transversal.

Se deben considerar carriles auxiliares de ascenso donde la longitud crítica de la pendiente está excedida y donde el volumen horario de proyecto excede del 20% de la capacidad de diseño para dicha pendiente en el caso de caminos de dos carriles, y del 30% en el de varios carriles.

Cuando se trata de salvar desniveles apreciables, deberá procurarse disponer las pendientes más fuertes al comenzar el ascenso.

Donde las intersecciones a nivel ocurren en tramos de camino con pendientes de moderadas a fuertes, es deseable reducir la pendiente a través de la intersección.

A. ASPECTOS GENERALES

A1. *Controles del trazado en planta*

En tramos restrictivos del trazado se deberá implementar una operación segura y confortable considerando la Velocidad de Proyecto (V_p) correspondiente a la categoría de la ruta; en tanto que en los tramos de trazado amplio se deberá considerar la $V_{85\%}$ ó la V^* según corresponda, asociada al conjunto de los elementos del tramo, en previsión de las velocidades de desplazamiento que adoptará un porcentaje importante de los usuarios en los períodos de baja demanda.

Si por condiciones topográficas se debe cambiar la velocidad de proyecto, el diseño debe tomar en cuenta el tramo de transición correspondiente, situación que deberá ser señalizada de manera adecuada.

Los aspectos más importantes a ser tomados en cuenta al momento de realizar el trazado en planta de manera que se pueda lograr una circulación efectiva, cómoda y segura son los siguientes:

Se debe tomar en cuenta la Categoría de la Ruta.

La conformación de la Topografía del Área es un aspecto importante que debe ser tomado en cuenta al momento del Diseño.

En base a la categoría y conformación topográfica de la zona, deberá determinarse la Velocidad de Proyecto.

Tomando en cuenta las consideraciones realizadas en la Sección 501, se deberá determinar las V85 % para diseñar las Curvas Horizontales.

Asimismo, a objeto de verificar la Distancia de Visibilidad de Frenado, deberá estudiarse la V^* .

Se deberá tener cuidado de asegurar una buena coordinación con el Alineamiento Vertical, a objeto de anular la apariencia de distorsión.

La seguridad al tránsito que debe ofrecer el proyecto es la condición que debe tener preferencia. La topografía condiciona muy especialmente los radios de curvatura y velocidad de proyecto.

La distancia de visibilidad debe ser tomada en cuenta en todos los casos, porque con frecuencia la visibilidad requiere radios mayores que la velocidad en sí.

El alineamiento debe ser tan direccional como sea posible sin dejar de ser consistente con la topografía.

Para una velocidad de proyecto dada, debe evitarse dentro de lo razonable, el uso de la curvatura máxima permisible.

Debe procurarse un alineamiento uniforme que no tenga quiebres bruscos en su desarrollo, por lo que deben evitarse curvas forzadas después de tangentes largas o pasar repentinamente de tramos de curvas suaves a otros de curvas forzadas.

En terraplenes altos y largos sólo son aceptables alineamientos rectos o de muy suave curvatura, para que el conductor pueda ajustar su velocidad a las condiciones prevalecientes.

En camino abierto debe evitarse el uso de curvas compuestas, sobretodo donde sea necesario proyectar curvas forzadas. Las curvas compuestas se pueden emplear siempre y cuando la relación entre el radio mayor y el menor sea igual o menor a 1,5.

Debe evitarse el uso de curvas inversas que presenten cambios de dirección rápidos, pues dichos cambios hacen difícil al conductor mantenerse en su carril, resultando peligroso la maniobra. Las curvas inversas deben proyectarse con una tangente intermedia, la cual permite que el cambio de dirección sea suave y seguro.

Un alineamiento con curvas sucesivas en la misma dirección debe evitarse cuando existan tangentes cortas entre ellas, pero puede proporcionarse cuando las tangentes sean mayores de 500 m.

Es conveniente limitar el empleo de tangentes muy largas, pues la atención de los conductores se concentra durante largo tiempo en puntos fijos, que motivan somnolencia, por lo cual es preferible proyectar en alineamiento ondulado con curvas amplias.

Finalmente se deberá considerar los Costos de Construcción, Operación y Mantenimiento, a objeto de establecer un costo equilibrado.

Todos estos elementos deben conjugarse de manera tal que el trazado resultante sea el más seguro y económico, en armonía con los contornos naturales y al mismo tiempo adecuado a la categoría, según la Clasificación Funcional para Diseño.

El alineamiento horizontal deberá proporcionar en todo el trazado a lo menos la distancia mínima de visibilidad de frenado, de acuerdo a lo establecido en la *Sección 501*.

A2. Localización del eje en planta

Para definir la localización del eje en planta, el proyectista deberá tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

Si el proyecto ha sido concebido con calzada única, en la mayoría de los casos el eje en planta será el eje de simetría de la calzada de sección normal, prescindiendo de los posibles ensanches o carriles auxiliares que puedan existir en ciertos sectores. El eje de simetría será también el eje de giro para desarrollar los peraltes.

En carreteras unidireccionales provistas de cantero central, el eje se localizará en el centro del cantero central y los bordes interiores del pavimento de las calzadas poseerán la misma cota que dicho eje en las secciones transversales correspondientes. Los ejes de giro del peralte corresponderán en este caso a los bordes interiores del pavimento de cada calzada.

En carreteras unidireccionales con calzadas independientes el eje corresponderá al eje de simetría de cada calzada, el que también será eje de giro de los peraltes. Sin embargo, si las calzadas se independizan sólo en un tramo, conviene mantener el eje en el borde interior del pavimento para facilitar el empalme y la coherencia general del proyecto cuando estas vuelvan a juntarse.

En carreteras bidireccionales, para las que en el mediano plazo se prevea la construcción de la segunda calzada, la Dirección de Vialidad decidirá oportunamente si se diseñan considerando un eje de simetría en la calzada inicial o un eje localizado en el futuro cantero central, proyectándose en este caso con bombeo en un solo sentido.

Para los carriles de aceleración, deceleración y ramales de intersecciones y enlaces, se definirán ejes adecuados a cada situación según se establece más adelante.

A3. Criterios para establecer el trazado en planta

A.3.1. Elementos del trazado en planta

La planta de una carretera preferentemente deberá componerse de una sucesión de elementos curvos que cumplan las relaciones que se fijan más adelante y de aquellos tramos en recta que sean indispensables.

Los elementos curvos comprenden:

- Curvas Circulares
- La parte central circular y dos arcos de enlace
- Otras combinaciones de arco circular y arco de enlace

A.3.2. Tendencia actual

La tendencia actual en el diseño de carreteras de cierto nivel se orienta hacia la utilización de curvas amplias que se adaptan a la topografía del terreno, haciendo casi desaparecer las rectas. Esta forma de trazado se preferirá por cuanto los largos tramos rectos indu-

cen velocidades $V_{85\%}$ muy por sobre la velocidad de proyecto, aumentan el peligro de deslumbramiento por las luces del vehículo que avanza en sentido opuesto, y porque la monotonía en la conducción disminuye la concentración del conductor, lo que en oportunidades es motivo de accidentes. Una sucesión de curvas de radios adecuados limita la $V_{85\%}$ y mantienen al conductor atento al desarrollo del trazado. Por otra parte, las curvas armonizan en mejor forma con las sinuosidades del terreno, proporcionando claras ventajas desde el punto de vista estético y económico.

En terrenos llanos y ondulados suaves los conductores esperan poder desarrollar velocidades relativamente altas y consecuentemente se deberán evitar los radios mínimos correspondientes a la categoría de la ruta, los que sólo podrán emplearse en sectores obligados, siempre que estén precedidos de elementos curvos que van disminuyendo paulatinamente.

Los trazados sinuosos compuestos de curvas cortas, deberán evitarse en trazados de velocidad de proyecto sobre 70 km/h pues inducen a una conducción errática.

En terrenos ondulados fuertes y montañosos, los conductores están dispuestos a una mayor restricción pudiendo emplearse elementos en el orden de los mínimos de norma, siempre que ellos no aparezcan en forma sorpresiva.

A.3.3. El problema de la visibilidad

Si bien el trazado curvo tiene las bondades que se han indicado, la obtención de visibilidad de adelantamiento para caminos bidireccionales exige tramos rectos o de curvatura muy suave, que permiten adelantar en el mayor porcentaje posible de su longitud (*Ver numeral 3.1.1.5.2. (C.2)*). Las curvas del orden del mínimo admisible disminuyen la confianza del conductor para adelantar, aunque ofrezcan visibilidad adecuada. Las rectas largas que se impongan para facilitar el adelantamiento deben terminar en curvas horizontales cuyo radio asegure una velocidad específica mayor o igual que la $V_{85\%}$ definida en el numeral 3.1.1.5.2, (C.1).

A.3.4. Elementos de curvatura variable

La utilización de elementos de curvatura variable entre recta y curva circular, o bien como elemento de trazado propiamente tal, se hace necesaria por razones de seguridad, comodidad y estética. Como elemento de curvatura variable con el desarrollo se utilizará la Clotoide, cuyas propiedades y campo de aplicación se tratan en *numerales 3.1.1.6.1 (D.2 y D.3)*.

B. ALINEAMIENTO RECTO

B1. ASPECTOS GENERALES

Salvo en lugares llanos y despoblados, los grandes alineamientos rectos no se dan en forma natural. Pretender incorporarlos al trazado implica por lo general movimientos de tierra innecesarios, además de producir los inconvenientes operativos descritos en el numeral 3.1.1.6.1 (A.3).

En muchos casos puede reemplazarse con ventaja un alineamiento recto por curvas de radios comprendidos entre 5.000 y 7.500 m.

B2. LONGITUDES MÁXIMAS EN RECTA

Se procurará evitarán longitudes en recta superiores a:

L_r (m): $20 V_p$ (km/h)

L_r : Largo en m de la Alineación Recta

Vp : Velocidad de Proyecto de la Carretera

En caminos bidireccionales de dos carriles, a diferencia de lo que ocurre en carreteras unidireccionales, la necesidad de proveer secciones con visibilidad para adelantar justifica una mayor utilización de rectas importantes. Sin embargo, rectas de longitud comprendida entre $8V_p$ y $10V_p$, enlazadas por curvas cuya V_e sea mayor o igual que la V_{85} determinada según las *Tabla 3.1_8* y *3.1_9*, cubren adecuadamente esta necesidad.

B3. LONGITUDES MÍNIMAS EN RECTA

Se debe distinguir las situaciones asociadas a curvas sucesivas en distinto sentido o curvas en "S" de aquellas correspondientes a curvas en el mismo sentido.

B.3.1. Curvas en S

Nuevos Trazados: En nuevos trazados deberá existir coincidencia entre el término de la clotoide de la primera curva y el inicio de la clotoide de la segunda curva.

Recuperaciones y Zonas de Cambio de Estándar: En las recuperaciones o cambios de estándar, si lo expuesto en el Acápite i no es posible, se podrán aceptar tramos rectos intermedios de una longitud no mayor que:

$$L_{rs \text{ máx}} = 0,08 * (A1 + A2)$$

Siendo $A1$ y $A2$ los parámetros de las clotoides respectivas.

Tramos rectos con longitudes amplias: Tramos rectos intermedios de mayor longitud, deberán alcanzar o superar los mínimos que se señalan en la *Tabla 3.1_14*, los que responden a una mejor definición óptica del conjunto que ya no opera como una curva en S propiamente tal, y están dados por:

$$L_{r \text{ mín.}} = 1,4 * V_p.$$

Tabla 3.1_14. LR MÍN ENTRE CURVAS DE DISTINTO SENTIDO

V _p (Km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Lr (m)	56	70	84	98	112	126	140	154	168

B.3.2. Tramo recto entre curvas en el mismo sentido

Por condiciones de guiado óptico es necesario evitar las rectas excesivamente cortas entre curvas en el mismo sentido, en especial en Terreno Llano y Ondulado Suave con velocidades de proyecto medias y altas. La *Tabla 3.1_15* entrega los valores deseables y mínimos según tipo de terreno y V_p .

Tabla 3.1_15. LR MÍN ENTRE CURVAS DEL MISMO SENTIDO

V _p (Km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Terreno Llano y Ondulado	-	110/55	140/70	170/85	195/98	220/110	250/125	280/150	305/190	330/250
Terreno Montañoso	25	55/30	70/40	85/50	98/65	110/90				

Los valores indicados corresponden a Deseables y Mínimos.

Para longitudes de la recta intermedia menores o iguales que los mínimos deseables, se mantendrá en la recta un peralte mínimo igual al bombeo que le corresponde a la carretera o camino (2%; 2,5% ó 3%).

El empleo de valores bajo los deseables sólo se aceptará si no es posible reemplazar las dos curvas por una sola de radio mayor, o bien, enlazar ambas curvas mediante una clotoide intermedia formando una Ovoide, o dos clotoides y una curva circular intermedia (Ovoide doble).

Los detalles, respecto al uso de radios mínimos absolutos, modificaciones del peralte y la aplicación de criterios en cuanto a la Visibilidad de Frenado y/o Adelantamiento, se encuentran descritos en esta *Sección 601* del Manual de Diseño Geométrico de Carreteras.

C. CURVAS CIRCULARES

C1. ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR

La simbología que se define a continuación para los elementos que componen una curva circular, son los presentados en la *Tabla 3.1_16* y la *Figura 3.1_10* siguiente:

Tabla 3.1_16. SIMBOLOGÍA PARA ELEMENTOS DE UNA CURVA

- Vn: Vértice; punto de intersección de dos alineaciones consecutivas del trazado.
- α : Ángulo entre dos alineaciones, medido a partir de la alineación de entrada, en el sentido de los punteros del reloj, hasta la alineación de salida.
- ω : Ángulo de Deflexión entre ambas alineaciones, que se repite como ángulo del centro subtendido por el arco circular.
- R: Radio de Curvatura del arco de círculo (m)
- T: Tangentes, distancias iguales entre el vértice y los puntos de tangencia del arco de círculo con las alineaciones de entrada y salida (m). Determinan el principio de curva PC y fin de curva FC.
- S: Bisectriz; distancia desde el vértice al punto medio, MC, del arco de círculo (m)
- D: Desarrollo; longitud del arco de círculo entre los puntos de tangencia PC y FC (m)
- e: Peralte; valor máximo de la inclinación transversal de la calzada, asociado al diseño de la curva (%)
- E: Ensanche; sobreancho que pueden requerir las curvas para compensar el mayor ancho ocupado por un vehículo al describir una curva.

Nota: Las medidas angulares se expresan en grados centesimales (g).

VER FIGURA 10 (ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR ANEXO)

C2. RADIOS MÍNIMOS ABSOLUTOS

La ecuación que determina los radios mínimos para cada velocidad de proyecto, calculada bajo criterios de seguridad ante el deslizamiento, es la que se expone a continuación:

$$R_{mín} = \frac{Vp^2}{127(e_{máx} + f)}$$

Donde:

- Rmín: Radio Mínimo Absoluto (m)
- Vp: Velocidad Proyecto (Km/h)

$e_{m\acute{a}x}$: Peralte Máximo correspondiente a la Carretera o el Camino (m/m)

f: Coeficiente de fricción transversal máximo correspondiente a V_p

Para la determinación de los valores de peralte y fricción, se debe tomar en cuenta los criterios expresados en la siguiente tabla:

Tabla 3.1_17. VALORES MÁXIMOS PARA PERALTE Y FRICCIÓN TRANSVERSAL

	$e_{m\acute{a}x}$	f
Secundarias y Terciarias Vp 30 a 80 Km/h	7%	0,265-V/602,4
Primarias Vp 80 a 120 Km/h	8%	0,193-V/1134

Los valores para Radios Mínimos, establecidos en aplicación a la ecuación y los valores del peralte máximo y el coeficiente de fricción anteriormente expuestos, se presentan en la Tabla siguiente:

Tabla 3.1_18. RADIOS MÍNIMOS ABSOLUTOS EN CURVAS HORIZONTALES

Vp Km/h	$e_{m\acute{a}x}$ %	f	$R_{m\acute{i}n}$ m
Secundarias y Terciarias: Colector - Local - Desarrollo			
30	7	0,215	25
40	7	0,198	50
50	7	0,182	80
60	7	0,165	120
70	7	0,149	180
80	7	0,132	250
Primarias: Autopista - Multicarril - Bidireccional			
80	8	0,122	250
90	8	0,114	330
100	8	0,105	425
110	8	0,096	540
120	8	0,087	700

C.2.1. Utilización de los Radios Mínimos Absolutos

Los radios mínimos sólo podrán ser empleados al interior de una secuencia de curvas horizontales cuando estn comprendidos dentro del rango aceptable para curvas horizontales consecutivas que se especifica en la *Figura 3.1_4* para Carreteras y en *Figura 3.1_5* para Caminos.

Al final de tramos rectos de más de 400 m de largo, el menor radio autorizado será aquel cuya Velocidad Específica sea igual o mayor que la V85% obtenida según lo expuesto en el numeral 3.1.1.5.1 (C), del presente Manual.

En Carreteras o Caminos Unidireccionales en los que el eje de trazado se desarrolle por el centro del cantero central, el radio efectivo de las curvas en los carriles de la calzada interior, será menor que el del eje del trazado. En consecuencia, además de lo expuesto precedentemente, el Radio Mínimo del trazado deberá aumentarse en al menos el espacio existente entre el eje del trazado y el borde izquierdo (según el sentido del tránsito) del carril interior de esa calzada.

Por lo tanto, en Calzadas Unidireccionales:

$$R_{\text{min en el eje del trazado}} = R_{\text{min absoluto}} + \frac{m}{2} + (n - 1) \cdot a$$

Donde:

m = ancho del cantero central (m)

n = número de carriles por calzada

a = ancho normal de cada carril

Ejemplo:

Rmin absoluto = 425 m; m = 6,0 m; n = 3; a = 3,5 m

Rmin en el Eje del Trazado = $425 + 3,0 + 2 \cdot 3,50 = 435$ m

C.2.2. Modificación del peralte máximo

Para los Caminos que consultan un peralte máximo de 7% se podrá, en casos calificados, autorizados por el MOPC, subir el peralte a 8% siempre que la Línea de Máxima Pendiente no supere un 11%. El recálculo del Rmin se hará empleando la fricción transversal correspondiente. Lo anterior será aplicable a curvas críticas de un trazado y de ningún modo a todo un camino.

C.2.3. Verificación por visibilidad

El criterio de diseño de curvas por seguridad al deslizamiento, no garantiza la existencia de Visibilidad de Frenado o Adelantamiento. Estas deberán ser verificadas de acuerdo con lo que se expone en el numeral 3.1.1.5.2. (D).

C3. CURVAS HORIZONTALES CON RADIOS SOBRE LOS MÍNIMOS

El criterio tradicionalmente empleado con anterioridad establecía que para una velocidad de proyecto dada, correspondían peraltes decrecientes a medida que crecían los radios utilizados.

Dicho criterio entra en contradicción con la realidad observada en cuanto a que mientras más amplio es el trazado, mayores son las velocidad que tienden a emplear los usuarios, V85%, según lo definido anteriormente. En consecuencia, las tendencias actuales del diseño mantienen peraltes relativamente altos para un rango amplio de radios, independizándose de la Velocidad de Proyecto, con lo cual las curvas de radio mayor que el mínimo, aceptan una Velocidad Específica (Ve) mayor que la de proyecto, lo que permite mantener la seguridad por criterio de deslizamiento, para aquel grupo de usuarios que tiende a circular a velocidades más elevadas que las de proyecto, todo ello sin aumentar la sensación de enfrentar un trazado aún más amplio.

C.3.1. Peralte en función del radio de curvatura

La Figura 3 presentado en el en el numeral 3.1.1.5.1 (C.1), entrega el valor de los peraltes a utilizar en Carreteras y Caminos, los que están dados exclusivamente en función del radio seleccionado. Los valores de e (%) de la Figura, deberán ser leídos con un decimal de aproximación.

C.3.2. Radio-Peralte-Velocidad Específica-Coeficiente de Fricción Transversal

La ecuación de radio mínimo dada en el numeral 3.1.1.6.1 (C.2) puede ser escrita como se presenta a continuación:

$$V^2 - 127 \cdot R \cdot (e + f) = 0$$

Si se reemplaza el valor de la fricción “f” por la expresión analítica dada en la *Tabla 3.1_18*, para cada uno de los rangos de velocidad allí indicados, y la variable V pasa a denominarse V_e , se tiene:

Para Caminos con $V_p \leq 80$ Km/h

$$V_e^2 + (0,211 \cdot R) \cdot V_e - 127 \cdot R \cdot (e + 0,193) = 0$$

Para Carreteras con $V_p \geq 80$ Km/h

$$V_e^2 + (0,112 \cdot R) \cdot V_e - 127 \cdot R \cdot (e + 0,193) = 0$$

Resolviendo las expresiones cuadráticas para cada par de valores de R(m) y p(m/m), obtenidos de la *Figura 3*, mediante iteración computacional para valores crecientes de V_e , hasta que el resultado tienda a un residuo suficientemente pequeño, se obtiene el valor de V_e que satisface la expresión.

En la *Tabla 3.1_9* se presentan los cuadros para Carreteras y Caminos que entregan los valores de R – e – V_e y f.

Para el cálculo de los valores de la *Tabla 3.1_9* se emplea la expresión para $V_e \leq 80$ Km/h para radios hasta 250 m y $V_e \geq 80$ Km/h para radios sobre 250 m; ello con el objeto de utilizar los valores de “f” que corresponden a velocidades mayores que 80 Km/h; no obstante los peraltes empleados corresponden a los definidos para caminos.

Si bien las Tablas entregan un número discreto de valores R – e – V_e , para radios intermedios el valor de V_e se puede estimar con suficiente aproximación interpolando linealmente.

Para $R \geq 900$ m en Carreteras, se considerará que $V_e = 130$ Km/h, para $R \geq 700$ m en Caminos, se considerará que $V_e = 110$ Km/h.

Para calcular la V_e de curvas existentes, diseñadas mediante criterios distintos de los aquí especificados, se deberá resolver la expresión cuadrática que corresponda (camino o carretera), introduciendo el radio de la curva y el peralte que ésta tiene en terreno. La expresión considera directamente el valor de “f” vigente según la normativa actual.

C.3.3. Radios límite en contraperalte - RL

En general el contraperalte, o inclinación transversal de la calzada en sentido contrario al que normalmente corresponda en la curva, sólo será aceptable para radios ≥ 3.500 m en Caminos y ≥ 7.500 en Carreteras. Su valor máximo podrá igualar al de bombeo, o inclinación transversal de la calzada en alineamientos rectos, pero sin superar – 2,5%.

En sectores singulares del trazado, tales como transiciones de dos calzadas a una calzada, o bien, donde se deba modificar el ancho del Cantero central para crear Carriles Auxiliares de Tránsito Rápido, situaciones que deberán señalizarse con la debida anticipación y con indicación de la velocidad máxima aceptable, se podrán diseñar curvas en contraperalte con radios iguales o mayores que los especificados en la *Tabla 3.1_19*.

Tabla 3.1_19. RADIOS LÍMITES EN CONTRAPERALTE EN TRAMOS SINGULARES

Vs Km/h	Radio Mínimo en Contraperalte	
	e = - 2,0 %	e = - 2,5 %
60	550	600
70	750	800
80	1100	1200
90	1500	1600
100	1900	2100
110	2600	3000
120	3500	4100

$V_s = V_p - 10 \text{ Km/h}$

Para velocidades menores que 60 Km/h y en calzadas sin pavimento no se diseñarán curvas en contraperalte.

C.3.4. Desarrollo mínimo de curvas horizontales

Dado que el desarrollo de la curva circular es directamente proporcional al producto de la deflexión asociada a la curva circular (ωc) por el radio de la misma, para radios en el orden del radio mínimo y/o deflexiones pequeñas, resultan desarrollos demasiados cortos que conviene evitar en razón de la adecuada percepción de la curva.

En general se aceptarán desarrollos mínimos asociados a una variación de azimut entre el PC y el FC de la Curva Circular $\omega c \geq 9^\circ$ ($\geq 8^\circ$) siendo deseables aquellos mayores o iguales a 20° ($\geq 18^\circ$).

La *Tabla 3.1_20* entrega los desarrollos mínimos para cada V_p , en función de $R_{\text{mín}}$ y ωc .

Tabla 3.1_20. DESARROLLO MÍNIMO PARA CURVAS CIRCULARES DE RADIO MÍNIMO

V_p (Km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$\omega = 9^\circ$ ($= 8^\circ$)	7	12	17	26	35	47	60	76	100
$\omega = 20^\circ$ ($= 18^\circ$)	16	26	38	57	78	104	134	170	220

Deflexiones Totales con $\omega < 6^\circ$ ($< 5^\circ$). En estos casos se deben usar curvas circulares de radios muy amplios, que aseguren desarrollos mínimos del orden de los indicados en la *Tabla 3.1_21*. No se podrán usar curvas de transición pues el término ($\omega - 2\tau$) se hace negativo y no existe solución para el conjunto clotoide – arco circular.

Tabla 3.1_21. DESARROLLOS MÍNIMOS PARA DEFLEXIONES $\omega \leq 6^\circ$ ($\leq 5^\circ$)

V_p (Km/h)	2° ($= 2^\circ$)	3° ($= 3^\circ$)	4° ($= 3,5^\circ$)	5° ($= 4,5^\circ$)	6° ($= 5^\circ$)
40 - 60	140	125	115	100	90
70 - 90	205	190	170	150	130
100 - 120	275	250	225	200	175

En trazados nuevos no se aceptarán deflexiones de menos de 2° ($< 2^\circ$).

Deflexiones Totales con 7° ($= 6^\circ$) $< \omega < 15^\circ$ ($= 13,5^\circ$). Esta situación es conflictiva, pues si se diseña con clotoides respetando $\tau > 3,1^\circ$ ($> 2,8^\circ$), es decir $A = R/3,2$, el ωc disponible es muy pequeño para valores de ω cercanos a 7° ($= 6,3^\circ$), con lo que para lograr desarrollos mínimos aceptables tales como los de la primera línea de la *Tabla 3.1_20*, se requiere usar radios muy grandes, que obligan a usar clotoides también grandes. Resulta en esos casos

preferible emplear curvas circulares que no requieren clotoide ($R \geq 1.500$ m para $V \leq 80$ km/h o $R \geq 3.000$ para $V \geq 80$ km/h). A medida que ω crece acercándose a $15^\circ (=13,5^\circ)$ la solución en base a clotoides y curvas circulares razonablemente grandes es adecuada, salvo que no existan limitaciones de espacio para usar curvas circulares sin clotoide. Para valores de ω en el orden de $10^\circ (=9^\circ)$ se deberá analizar ambas soluciones y elegir la que más se adecua a la situación.

En los casos de los párrafos anteriores, bajo condiciones restrictivas, los desarrollos mínimos señalados en la primera línea de la *Tabla 3.1_20*, se podrán dar por cumplidos si la curva circular aporta un 60% de dicha longitud y el saldo se logra sumándole 1/6 del desarrollo de cada clotoide.

C.3.5. Línea de máxima pendiente

En las curvas horizontales la combinación del peralte con la pendiente longitudinal da origen a una línea de máxima pendiente, equivalente a:

$$q\% = \frac{(i\% + e\%)}{\sqrt{2}}$$

En Caminos el valor de “q” no debe sobrepasar un 11% y en Carreteras un 10%.

Cuando “q” supere los valores admisibles se deberá bajar la pendiente longitudinal ya que el peralte es prácticamente invariable para modificaciones leves del radio.

C4. RELACIÓN ENTRE LOS RADIOS DE CURVAS CIRCULARES CONSECUTIVAS

Los radios de una sucesión de curvas horizontales sin recta intermedia o con una recta de longitud menor que 400 m, se consideran dependientes y deben por lo tanto cumplir con la relación que se establece en la *Figura 4*, para Carreteras con $V_p \geq 80$ Km/h y la *Figura 5* para Caminos con $V_p \leq 80$ Km/h.

El empleo de este criterio en Alemania desde hace bastantes años y en España en forma más reciente, ha mostrado que de él se derivan incrementos significativos en cuanto a seguridad.

En el ejemplo que se ilustra en la *Figura 4* se aprecia que para un radio de entrada de 425 m le corresponde un radio mínimo de salida de 280 m y uno máximo de 660 m. Ahora bien si la V_p de la Carretera fuese 80 Km/h el rango determinado sería utilizable en todo su amplitud ya que para $V_p = 80$ Km/h; $R_{\text{mínimo}} = 250$ m. Por el contrario, si $V_p = 100$ Km/h el radio de entrada es igual al $R_{\text{mín}}$ para dicha V_p (= 425 m), por lo que el radio de salida sólo podrá estar comprendido entre el que se determina en el corte con la diagonal del Gráfico y el radio máximo, es decir entre 425 y 660 m.

Nótese, además, que para radios de entrada mayores que 700 m, no existe limitación en cuanto al radio máximo de salida, aun cuando la combinación óptima está en torno a la diagonal, es decir radios de entrada y salida relativamente parecidos (*Figura 4*).

Las consideraciones precedentes son conceptualmente las mismas para el caso de Caminos con $V_p \leq 80$ Km/h.

C5. DESARROLLO DE PERALTE EN CURVAS CIRCULARES SIN CURVAS DE TRANSICIÓN

C.5.1. Aspectos generales

Las normas que se establecen a continuación son válidas para el desarrollo de peralte en aquellos casos particulares en que no existe arco de enlace de curvatura variable, clotoide, entre la alineación recta y la curva circular. Los casos particulares en que no se consulta el empleo de clotoides, son:

Caminos de Desarrollo con $V_p = 30 \text{ Km/h}$.

Curvas cuya deflexión (ω) está comprendida entre $2^\circ (=2^\circ)$ y $6^\circ (=5^\circ)$ en las que no se emplearán clotoides de enlace según se estableció en la *Tabla 3.1_21*.

Curvas cuyos radios superen 1.500 m para caminos con $V_p \leq 80 \text{ Km/h}$ ó 3.000 m para carreteras con $V_p \geq 80 \text{ Km/h}$, en las que se podrá prescindir de la clotoide de enlace.

C.5.2. Eje de giro de peralte

En caminos bidireccionales, el giro normalmente se dará en torno al eje en planta que coincide con el eje de simetría de la calzada. En casos justificados, tales como intersecciones a nivel o zonas de enlace, el eje de giro podrá desplazarse hacia alguno de los bordes de la calzada, tal como se ilustra en el *Figura 3.1_11*.

En carreteras unidireccionales con cantero central, el eje de giro del peralte se localiza normalmente en el borde interior del pavimento de cada calzada y las cotas de los bordes interiores coinciden y se representan por una recta horizontal o de referencia, ilustrándose en el diagrama las variaciones que experimenta los bordes exteriores de cada calzada. En este caso los bordes interiores de los pavimentos mantienen las cotas definidas por el Perfil Longitudinal del Eje de Proyecto, emplazado en el centro del cantero central.

Si las calzadas unidireccionales poseen 3 o más carriles, en curvas con peralte mayor o igual que 4%, resulta recomendable desplazar los ejes de giro del peralte al centro de las calzadas.

Si se trata del Proyecto de una Segunda Calzada paralela a otra existente, el eje de la nueva calzada deberá emplazarse en el borde interior de la que se está proyectando y su Perfil Longitudinal deberá diseñarse considerando que la calzada existente puede requerir pronto de una repavimentación, e incluso que en esa operación se les cambie el bombeo a dos aguas por uno o una sola agua. En definitiva, lo que se pretende es que, tras la repavimentación de la calzada más antigua, los Perfiles Longitudinales por el borde interior de los pavimentos posean una rasante similar.

Dado que las carreteras unidireccionales poseerán clotoides en la gran mayoría de los casos, el tratamiento detallado del desarrollo del peralte se aborda en el *numeral 3.1.1.6.1 (D.2)* para dicho tipo de carreteras.

C.5.3. Longitud del desarrollo de peralte

Eje de giro normal

Ya sea que se trate de calzadas bidireccionales o unidireccionales, considerando la respectiva posición normal del eje de giro del peralte, la longitud requerida para la transición desde el bombeo (-b) al peralte total (+e) o (-e), queda dada por:

VER *Figura 3.1_11: DESARROLLO DEL PERALTE EN CURVAS CIRCULARES SIN CURVAS DE ENLACE*

$$l = \frac{n \cdot a \cdot \Delta p}{\Delta}$$

Donde:

l = Longitud del desarrollo del peralte (m).

n = Número de carriles entre el eje de giro del peralte y el borde de la calzada.

a = Ancho normal de un carril (m). Se prescinde de los posibles ensanches.

Δp = Variación total de la pendiente transversal para el borde que debe transitar entre (-b) y (+e) en caminos bidireccionales o entre (-b) y (+e) o (-e) para el borde exterior en carreteras unidireccionales.

Δ = Pendiente Relativa del Borde de la Calzada, respecto de la pendiente longitudinal del eje de la vía (%), cuyos valores normales y máximos se dan en la *Tabla 3.1_22*.

Tabla 3.1_22. VALORES ADMISIBLES DE PENDIENTE RELATIVA DE BORDE $\Delta\%$

Vp (km/h)	30 - 50	60 - 70	80 - 90	100 - 120
Δ Normal	0,7	0,6	0,5	0,35
Δ Máx n = 1	1,5	1,3	0,9	0,8
Δ Máx n > 1	1,5	1,3	0,9	0,8

Δ mínimo en zona -b% a+b = 0,35% para todo Vp

Los valores de Δ normal deben interpretarse como un Δ deseable, pudiendo emplearse valores menores y mayores con las limitaciones expuestas.

Los valores Δ máx sólo se usarán cuando el espacio disponible para la transición de peralte es limitado, o bien, cuando la pendiente longitudinal del camino en el tramo de transición es del orden de la pendiente relativa de borde, lo que tenderá a crear una zona de pendiente nula en todos los sentidos, cuando se transita en el entorno de cero, situación en que conviene limitar la longitud del tramo entre -b%, 0% y +b% para no agudizar el problema de drenaje de la calzada.

Tasa de Giro: "tg", es la longitud necesaria, expresada en metros, para lograr un giro de 1% en torno al eje.

$$tg = \frac{n \cdot a}{\Delta}$$

Por ejemplo: V = 90 Km/h; a = 3,5 m; n = 1

tg normal 3,5/0,5 = 7 m para giro de 1%

tg máxima 3,5/0,9 = 3,89 m para giro de 1%

Giro en los bordes de una calzada bidireccional

Cuando la calzada en recta posee inclinación transversal a dos aguas y se desea dar el peralte en torno al borde interior de la curva, borde derecho en curvas a la derecha, es necesario inicialmente lograr el bombeo único girando en torno al eje, para posteriormente cambiar el eje de giro al borde interior, esto se puede apreciar en el inciso b) de la *Figura 3.1_11*.

Si el peralte se debe dar en torno al borde exterior de la curva, borde izquierdo en curvas a la derecha, se girará en torno a dicho borde, manteniendo constante el bombeo del carril interior hasta que se consiga el bombeo único. Ello implica hacer crecer el ángulo formado por los carriles en el eje de simetría hasta que se tenga un solo plano. De allí en adelante, la calzada gira solidariamente hasta lograr el peralte deseado, tal como se puede apreciar en el inciso c) de la *Figura 3.1_11*.

En ambos casos la longitud de transición está dada por:

$$l = \frac{2 \cdot n \cdot a \cdot e}{\Delta}$$

C.5.4. Condicionantes para el desarrollo del peralte

a) Proporción del Peralte a desarrollar en recta

Cuando no existe curva de enlace de radio variable entre la recta y la curva circular, el conductor sigue en la mayoría de los casos una trayectoria similar a una de estas curvas, la que se describe parcialmente en uno y otro elemento. Lo anterior permite desarrollar una parte del peralte en la recta y otra en la curva. Esto porque en la parte de la recta vecina a la curva el conductor recorre una trayectoria circular que no hace demasiado incomoda una inclinación transversal mayor que el 2%, y porque en la parte de la curva vecina a la recta, el vehículo describe un círculo de radio mayor que el de diseño. En ciertas oportunidades, sin embargo, el tránsito en sentido contrario puede restringir la libertad para desarrollar esta maniobra y por tanto, el peralte a desarrollar en recta debe alcanzar a un mínimo que no incrementa peligrosamente el coeficiente de fricción transversal a utilizar en el sector inicial de la curva.

Tabla 3.1_23. VALORES ADMISIBLES DE PENDIENTE Anexo I

Mínimo	Normal	Máximo
$e < 4,5$	$e = \text{todos}$	$e \leq 7$
$0,5 e$	$0,7 e$	$0,8 e$

Las situaciones mínima y máxima se permiten en aquellos casos, normalmente en trazado en montaña, en que por la proximidad de dos curvas existe dificultad para cumplir con algunas de las condicionantes del desarrollo del peralte.

b) Longitud en curva con peralte total

En caminos y carreteras con $V_p \geq 60$ Km/h, el diseño de las curvas de escaso desarrollo se deberá verificar de modo que el peralte total requerido se mantenga en una longitud al menos igual a $V_p/3,6$ (m), y en lo posible para $V_{85\%} \geq 80$ Km/h en al menos 30 m.

C.5.5. Desarrollo de peralte entre curvas sucesivas

Entre dos curvas de distinto sentido separadas por una recta corta, se podrán emplear los valores máximos para Δ que se indican en la *Tabla 3.1_22*. El caso límite lo constituirá aquella situación en que no existe tramo en recta con bombeo normal, existiendo en dicho tramo un punto de inclinación transversal nula, a partir del cual se desarrollan los peraltes en uno y otro sentido.

Entre dos curvas del mismo sentido deberá existir, por condiciones de guiado óptico, un tramo en recta mínimo de acuerdo a lo establecido en la *Tabla 3.1_15*. Si la distancia disponible entre el FC y el PC de las curvas sucesivas es menor o igual que el mínimo deseable, se mantendrá en la recta un peralte mínimo de igual sentido que el de las curvas y de una magnitud al menos igual a la del bombeo de la carretera.

C6. SOBREANCHO EN CURVAS CIRCULARES

Los sobreaños se diseñan siempre en las curvas horizontales de radios pequeños, en combinación con carriles angostos, para facilitar las maniobras de los vehículos en forma eficiente, segura, cómoda y económica. Los sobreaños son necesarios para acomodar la mayor curva que describe el eje trasero de un vehículo pesado y para compensar la dificultad que enfrenta el conductor al tratar de ubicarse en el centro de su carril de circulación. En las carreteras modernas con carriles de 3,6 metros y buen alineamiento, la necesidad de sobreaños en curvas se ha disminuido a pesar de las velocidades, aunque tal necesidad se mantiene para otras condiciones de la vía.

Para establecer el sobreaño en curvas deben tomarse en cuenta las siguientes consideraciones:

En curvas circulares sin transición, el sobreebancho total debe aplicarse en la parte interior de la calzada. El borde externo y la línea central deben mantenerse como arcos concéntricos.

Cuando existen curvas de transición, el sobreebancho se divide igualmente entre el borde interno y externo de la curva, aunque también se puede aplicar totalmente en la parte interna de la calzada. En ambos casos, la marca de la línea central debe colocarse entre los bordes de la sección de la carretera ensanchada.

El ancho extra debe efectuarse sobre la longitud total de transición y siempre debe desarrollarse en proporción uniforme, nunca abruptamente, para asegurarse que todo el ancho de los carriles modificados sea efectivamente utilizado. Los cambios en el ancho normalmente pueden efectuarse en longitudes comprendidas entre 30 y 60 m.

Los bordes del pavimento siempre deben tener un desarrollo suave y curvado atractivamente, para inducir su uso por el conductor.

Los sobreebanchos deben ser detallados minuciosamente en los planos constructivos y por medio de controles durante el proceso de construcción de la carretera o, alternativamente, dejar los detalles finales al ingeniero residente de campo.

Una de las expresiones empíricas más utilizadas para calcular el sobreebancho en las curvas horizontales es la siguiente:

$$S = n \left[R - \sqrt{R^2 - L^2} \right] + \frac{(0,10 \cdot V)}{\sqrt{R}}$$

Donde:

S = Sobreebancho en (m)

n = Número de carriles

L = Longitud entre el eje frontal y el posterior del vehículo de diseño en (m)

R = Radio de curvatura en (m)

V = Velocidad de diseño de la carretera en (Km/h)

En la selección del sobreebancho en curvas se debe tomar en consideración lo siguiente:

Sobreebanchos menores de 0,60 metros, no son necesarios en las curvas.

Los sobreebanchos calculados que se muestran en la *Tabla 3.1_24* son para carreteras de dos carriles (Bidireccionales).

En carreteras de tres carriles los sobreebanchos mostrados en la *Tabla 3.1_24* deben afectarse por un factor de 1,5 y en carreteras de cuatro carriles multiplicar las cifras del cuadro por 2.

Los sobreebanchos calculados por esta fórmula, arrojan valores mayores que los de las Tablas de la AASHTO, mostrados en la *Tabla 3.1_24*, por lo que deben tomarse como provistos de un margen de seguridad.

Los datos de la *Tabla 3.1_24* deben incrementarse desde 0,2 metros para radios de 250 a 400 metros hasta 0,6 metros para radios menores de 80 metros, cuando el tránsito incluya volúmenes significativos de vehículos pesados.

Tabla 3.1_24. VALORES DE SOBRECARGO EN CURVAS HORIZONTALES

Ancho Calzada	7,2 metros						6,6 metros						6,0 metros					
	Velocidad de diseño (Km/h)						Velocidad de diseño (Km/h)						Velocidad de diseño (Km/h)					
	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80	90	100
3000	0	0	0	0	0	0	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
2500	0	0	0	0	0	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7
2000	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7
1500	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8
1000	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9
900	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9
800	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	1
700	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.9	0.9	0.9	1	1	1
600	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1	1	1	1.1	1.1
500	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1	1	1.1	1.1	1.2	1.2
400	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1	1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4
300	0.7	0.8	0.8	0.9	1	1	1	1.1	1.1	1.2	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6	1.6
250	0.9	1	1	1.1	1.1		1.2	1.3	1.3	1.4	1.4		1.5	1.6	1.6	1.7	1.7	
200	1.1	1.2	1.3	1.3			1.4	1.5	1.6	1.6			1.7	1.8	1.9	1.9		
150	1.5	1.6	1.7	1.8			1.8	1.9	2	2.1			2.1	2.2	2.3	2.4		
140	1.6	1.7					1.9	2					2.2	2.3				
130	1.8	1.8					2.1	2.1					2.4	2.4				
120	1.9	2					2.2	2.3					2.5	2.6				
110	2.1	2.2					2.4	2.5					2.7	2.8				
100	2.3	2.4					2.6	2.7					2.9	3				
90	2.5						2.8						3.1					
80	2.8						3.1						3.4					
70	3.2						3.5						3.8					

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2011, p.3-93.

D. ARCOS DE ENLACE O TRANSICIÓN

D1. ASPECTOS GENERALES

Para dar seguridad al recorrido de los vehículos desde una sección en recta o tangente de una carretera a una determinada curva horizontal circular, los conductores desarrollan a su manera y en ocasiones invadiendo el carril vecino, una curva que podría denominarse de transición. En los nuevos diseños se ha vuelto práctica común intercalar una curva de transición, que facilite a los conductores el recorrido seguro y cómodo de la curva, manteniendo el vehículo inscrito dentro de su carril y sin experimentar la violencia de la fuerza centrífuga que es propia de la circulación por dicha curva. El requerimiento especial de una curva de transición consiste en que su radio de curvatura pueda decrecer gradualmente desde el infinito en la tangente que se conecta con la espiral (TE) hasta el final de la espiral en su enlace con la curva circular (EC). En la situación de salida de la curva circular hacia la espiral (CE), se produce el desarrollo inverso hasta el contacto de la espiral con la tangente (ET). Esta condición produce un incremento y una disminución gradual de la aceleración radial, que es bastante deseable en diseño. No cabe lugar a dudas de que la utilización de curvas en espiral mejora la apariencia y la circulación en una carretera.

Se han utilizado la parábola cúbica, la lemniscata y la clotoide en el diseño de curvas de transición, siendo esta última, también conocida como espiral de Euler, la más aceptada en el diseño

de carreteras. Por definición, el radio en cualquier punto de la espiral varía en relación inversa con la distancia medida a lo largo de la espiral. En el *Figura 3.1_ 12* se presentan las características geométricas de sus diferentes componentes.

El uso de estos elementos permite que un vehículo circulando a la Velocidad Específica correspondiente a la curva circular, se mantenga en el centro de su carril.

Esto no ocurre, por lo general, al enlazar directamente una recta con una curva circular, ya que en tales casos el conductor adopta instintivamente una trayectoria de curvatura variable que lo aparta del centro de su carril e incluso lo puede hacer invadir la adyacente, con el peligro que ello implica.

La curvatura variable permite desarrollar el peralte a lo largo de un elemento curvo, evitando calzadas peraltadas en recta, al mismo tiempo, la aceleración transversal no compensada por el peralte crece gradualmente desde cero en la recta a su valor máximo al comienzo de la curva circular, lo que hace más confortable la conducción. Las ventajas estéticas están relacionadas con el grado de adaptación al medio y la variación uniforme de la curvatura que se logra mediante estos elementos.

Se emplearán arcos de enlace o transición en todo proyecto cuya V_p sea mayor o igual que 40 Km/h. En caminos con $V_p \leq 80$ Km/h sólo se podrá prescindir de los arcos de enlace para radios ≥ 1.500 m. En carreteras con $V_p \geq 80$ Km/h sólo se podrá prescindir de los arcos de enlace para radios ≥ 3.000 m.

VER *Figura 3.1_ 12: COMPONENTES DE LA CURVA CIRCULAR CON ESPIRALES Anexo I*

D2. LA CLOTOIDE COMO ARCO DE ENLACE

La Clotoide es una transición en espiral que facilita el movimiento del volante, evitando cambios abruptos en la aceleración radial, que causa mucha incomodidad al conductor y los pasajeros, ya que la fuerza centrífuga se va incrementando hasta la curva circular y disminuye a la salida en sentido inverso, hasta alcanzar de nuevo la tangente. Esta longitud de transición es la longitud de la carretera en la cual se cambia de la sección con pendientes transversales normales que corresponde a una sección en tangente, a una sección con pendiente sobreelevada en un solo sentido y su punto inferior hacia el interior de la curva. Igualmente, la curva de transición ofrece una distancia apropiada de transición para la construcción de los sobrecanchos exigidos por la curva circular.

Existen varios métodos para calcular la longitud de la curva de transición en espiral. El primero fue desarrollado por Shortt en 1.909, para aplicarse al diseño de curvas horizontales para ferrocarriles, aplicándose después al diseño de curvas de carreteras. La longitud mínima de transición de la espiral (Le), se expresa de la siguiente forma:

$$Le = 0,0702 \frac{V^3}{R \cdot C}$$

Donde:

V = Velocidad en (Km/h).

R = Radio central de la curva en (m).

C = Tasa de incremento de la aceleración centrípeta en (m/seg^3).

Este último parámetro es un valor empírico igual a la unidad en el diseño de ferrocarriles, pero cuyos valores varían entre 1 y 3 para aplicaciones en carreteras. En vista que existen varios métodos de cálculo de longitudes de transición cuyos resultados son diferentes, se ha considerado conveniente adoptar las recomendaciones de la AASHTO para valores de este elemento de diseño en las carreteras, dejando siempre a juicio del diseñador su propia elección de acuerdo

a situaciones particulares. Una observación muy valiosa y de índole práctica, es que el control para el cálculo de la transición no depende de la exactitud de la aplicación de la fórmula, sino de la longitud requerida para el desarrollo de la sobreelevación máxima entre la tangente y la curva circular.

Las longitudes de espirales en intersecciones se calculan de la misma manera que en carretera abierta, excepto que las espirales pueden tener longitudes menores ya que en las carreteras se aplican valores de C comprendidos entre 0,3 y 1,0, en tanto que en las intersecciones dicho valor puede estar entre 0,75 para velocidades de 80 Km/h y 1,2 para velocidades de 30 Km/h.

Las longitudes mínimas de espirales, para los radios mínimos que gobiernan la velocidad de diseño, van desde 20 m para velocidades de 30 Km/h y radios mínimos de 25 m, hasta 60 m para velocidades de 70 Km/h y radios mínimos de 160 m.

Cuando se utiliza una espiral, se acostumbra que la transición de la sobreelevación se realice en la longitud de dicha espiral. Dependiendo de los factores y la fórmula utilizados, la longitud de una espiral puede ser mayor o menor que la longitud de transición dada en la *Tabla 3.1_25*, aunque las diferencias no son tan sustanciales, razón por la cual se recomienda por consideraciones prácticas utilizar una sola cifra, como la mostrada en la mencionada Tabla, para el mejor control del diseño.

Tabla 3.1_25. LONGITUDES DE DESARROLLO DE LA SOBREELEVACIÓN EN CARRETERAS DE DOS CARRILES, EN METROS

Peralte	Longitud de Transición (m) y Velocidades de Diseño Km/h									
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Carriles de 3.60 metros										
2%	20	25	30	35	40	50	55	60	65	70
4%	20	25	30	35	40	50	55	60	65	70
6%	30	35	35	40	40	50	55	60	65	70
8%	40	45	45	50	55	60	60	65	70	75
10%	50	55	55	60	65	75	75	80	85	90
12%	60	65	65	75	80	90	90	95	105	110
Carriles de 3,00 metros										
2%	20	25	30	35	40	50	55	60	65	70
4%	20	25	30	35	40	50	55	60	65	70
6%	25	30	30	35	40	50	55	60	65	70
8%	35	35	40	40	45	50	55	60	65	70
10%	40	45	45	50	55	60	65	70	75	75
12%	50	55	55	60	65	75	75	80	85	90

Fuente: *Diseño Geométrico de Carreteras y Calles, AASHTO 1994. Traducción Autorizada EGC 1997, Buenos Aires, Argentina. Pág III-65.*

Estas cifras corresponden a carreteras de dos carriles. Cuando se trate de tres y cuatro carriles sin mediana, hay que multiplicar respectivamente las cifras por 1,2 y 1,5; si la carretera es de 6 carriles sin mediana, hay que duplicar los valores de la anterior Tabla.

En curvas con radio circular de 1.500 metros o más, no se necesitan transiciones, se pasa directamente de la tangente a la alineación circular. En esta situación se recomienda que el peralte se desarrolle 2/3 en la tangente y 1/3 al principio de la curva circular.

D.2.1. Ecuaciones paramétricas

La clotoide es una curva de la familia de las espirales, cuya ecuación paramétrica está dada por:

$$A^2 = R \cdot L$$

Donde:

A = Parámetro (m)

R = Radio de curvatura en un punto (m)

L = Desarrollo (m). Desde el origen al punto de radio R

En el punto de origen $L = 0$ y por lo tanto $R = \infty$ a la vez que cuando $L \rightarrow \infty$; $R \rightarrow 0$.

El parámetro A define la magnitud de la clotoide, lo que a su vez fija la relación entre R, L y τ . Siendo τ el ángulo comprendido entre la tangente a la curva en el punto (R, L) y la alineación recta normal a $R = \infty$ que pasa por el origen de la curva.

Las expresiones que ligan R, L y τ son:

$$\tau_{\text{radianes}} = \frac{L^2}{2A^2} = 0,5 \frac{L}{R} \qquad \tau_{\text{grados centesimales}} = 31,831 \frac{L}{R}$$

La variación de A genera por tanto una familia de clotoides que permiten cubrir una gama infinita de combinaciones de radio de curvatura y de desarrollo asociado.

En la *Figura 3.1_ 13 a) y b)*, ilustran los conceptos antes enunciados. El cuadro bajo la *Figura 3.1_ 13 b)* representa un ejemplo particular de los valores que asumen las variables L, τ , X e Y, para R = 250 m, en el caso de los parámetros considerados.

VER Figura 3.1_ 13: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CLOTOIDE

D.2.2. Ecuaciones cartesianas

Del *Figura 3.1_ 13 inciso a)* se puede realizar la siguiente deducción:

$$dx = dL \cdot \cos \tau$$

$$dy = dL \cdot \text{sen} \tau$$

A su vez:

$$R = dL/d\tau$$

$$\tau = L/2R$$

$$dL = A \cdot d\tau/\sqrt{2\tau}$$

Sustituyendo en dx y dy se obtiene las Integrales de Fresnel:

$$Y = \frac{A}{\sqrt{2}} \int \frac{\text{sen} \tau}{\sqrt{\tau}} d\tau \quad X = \frac{A}{\sqrt{2}} \cdot \int \frac{\cos \tau}{\sqrt{\tau}} d\tau$$

Quedando definitiva X e Y expresados como desarrollados en serie, expresado en radianes.

$$X = A \cdot \sqrt{2\tau} \cdot \left(1 - \frac{\tau^2}{10} + \frac{\tau^4}{216} - \frac{\tau^6}{9.360} + \dots \right)$$

$$Y = A \cdot \sqrt{2\tau} \cdot \left(\frac{\tau}{3} - \frac{\tau^3}{42} + \frac{\tau^5}{1.320} - \frac{\tau^7}{75.600} + \dots \right)$$

Ecuaciones que se pueden escribir también como:

$$X = A \cdot \sqrt{2\tau} \cdot \left[\sum (-1)^{n+1} \cdot \tau^{2n-2} / (4n-3) \cdot (2n-2)! \right]$$

$$Y = A \cdot \sqrt{2\tau} \cdot \left[\sum (-1)^{n+1} \cdot \tau^{2n-2} / (4n-1) \cdot (2n-1)! \right]$$

Que son las que se usan actualmente en los programas computacionales de diseño, o calculadoras programables, que han reemplazado las Tablas que se usaban antes de la era computacional. Por otra parte conviene tomar en cuenta la formula simplificada de las expresiones anteriormente citadas, que resulta ser:

$$A \cdot \sqrt{2\tau} = L$$

D3. ELECCIÓN DEL PARÁMETRO A DE LAS CLOTOIDES

Existen al menos cuatro criterios que determinan la elección del parámetro de una clotoide usada como curva de transición, ellos son:

Criterio a) Guiado óptico: Para tener una clara percepción del elemento de enlace y de la curva circular, el parámetro debe estar comprendido entre:

$$R/3 \leq A \leq R$$

La condición $A \geq R/3$ asegura que el ángulo τ será mayor o igual que $3,54^\circ = 3,20^\circ$ y $A \leq R$ asegura que τ sea menor o igual que $31,83^\circ = 28,65^\circ$. Para radios de más de 1.000 m se aceptarán ángulos τ de hasta $3,1^\circ = 2,80^\circ$, que está dada por $A = R/3,2$.

Criterio b) Como condición adicional de guiado óptico es conveniente que si el radio enlazado posee un $R \geq 1,2 R_{\text{mín}}$, el Retranqueo de la Curva Circular enlazada (ΔR) sea $\geq 0,5$ m, condición que está dada por:

$$A \geq (12 \cdot R^3)^{0,25}$$

Criterio c) La longitud de la clotoide sea suficiente para desarrollar el peralte, según los criterios que se explicitan en la letra E, sección 3.1.1.7.1, situación que en general está cubierta por los parámetros mínimos que se señalan más adelante y los valores máximos de la pendiente relativa de borde que figuran en la Tabla 3.1_22

Esta condición se cumple si:

$$A \geq \left(\frac{n \cdot a \cdot e \cdot R}{\Delta} \right)^{1/2}$$

Donde:

n = número de carriles entre el eje de giro y el borde del pavimento peraltado

a = ancho de cada carril, sin considerar ensanches

e = Peralte de la curva

R = Radio de la Curva

Δ = Pendiente relativa del borde peraltado respecto del eje de giro

Criterio d) La longitud de la clotoide sea suficiente para que el incremento de la aceleración transversal no compensada por el peralte pueda distribuirse a una tasa uniforme J (m/s^3). Este criterio guarda relación con la comodidad del usuario al describir la curva de enlace, y para velocidades menores o iguales que la Velocidad Específica de la curva circular enlazada, induce una conducción por el centro del carril de circulación.

La expresión correspondiente, es:

$$A = \left[\frac{V_e \cdot R}{46,656 \cdot J} \left(\frac{V_e^2}{R} - 1,27 \cdot e \right) \right]^{-1/2}$$

V_e = Velocidad Específica (km/h) – con máximos de 110 km/h en Caminos y 130 km/h en Carreteras

R = Radio de la Curva Circular Enlazada (m)

J = Tasa de Distribución de la Aceleración Transversal (m/s^3)

e = Peralte de la Curva Circular (%)

Los valores de J en función de V_e se dan en las *Tabla 3.1_26*, *3.1_27* y *3.1_28*.

Se considerarán dos grupos de valores de J para el diseño, según sea la situación que se esté abordando.

Criterio d.1) Si el radio que se está enlazando posee un valor comprendido entre $R_{mín} \leq R < 1,2 R_{mín}$, resulta conveniente emplear los valores de J máx que se señalan en la *Tabla 3.1_26*. Con ello se persigue que el usuario perciba una fuerza centrífuga no compensada por el peralte que crece rápidamente, en relación con la que percibe en curvas más amplias. Ello le advertirá que está entrando a una configuración mínima.

Tabla 3.1_26. TASA MÁXIMA DE DISTRIBUCIÓN DE LA ACELERACIÓN TRANSVERSAL

$V_e \approx V_p$ (km/h)	40-60	70	80	90	100	120
J máx (m/s^3)	1,5	1,4	1,0 / 0,9	0,9	0,8	0,4

Nota: Para 80 Km/h el valor mayor corresponde a Caminos y el menor a Carreteras

Los valores de J máx que se indican en la Tabla anterior fueron verificados según el criterio c) de modo que los parámetros mínimos resultantes sean tales que la longitud de la clotoide permita desarrollar el peralte cumpliendo con la pendiente relativa de borde Δ máx que se indica en la *Tabla 3.1_22*, para los casos de Caminos y Carreteras con $n = 1$ ó $n > 1$, es decir, vías bidireccionales y unidireccionales de 2 carriles por calzada.

La *Tabla 3.1_25*, que se presenta a continuación, contiene los parámetros mínimos así calculados.

Tabla 3.1_27. PARÁMETROS MÍNIMOS DE LA CLOTOIDE POR CRITERIO DE J MAX Y Δ MAX

Vp (Km/h)	Rm (m)	A mínimo	
		Bidireccionales	Unidireccionales
Secundarias y Terciarias (e máx = 7%)			
40	50	29	-
50	80	37	-
60	120	48	68
70	180	60	83
80	250	83	117
Primarias (e máx = 8%)			
80	250	89	125
90	330	110*	144
100	425	142*	173
110	540	190	195
120	700	-	234*

*Manda el criterio a) $A > R/3$

Criterio d.2) Si el radio que se está enlazando posee un valor de $R > 1,2 R_{\text{mín}}$, se emplearán los valores de J Normal que se indican en la *Tabla 3.1_28* o incluso algo menores, según resulta de aplicar los criterios indicados en los incisos a), b) y c).

Tabla 3.1_28. TASA NORMAL DE DISTRIBUCIÓN DE ACELERACIÓN TRANSVERSAL

Ve (km/h)	Ve < 80	Ve ≥ 80
J Normal (m/s ³)	0,5	0,4

Parámetros A Mínimos y Normales

El *Figura 3.1_14-A* ilustra gráficamente los valores de A especificados en este Manual según la situación que se enfrente.

El gráfico superior corresponde a Caminos con $V_p \leq 80$ Km/h. La línea segmentada corresponde a radios comprendidos entre $R_{\text{mín}} \leq R \leq 1,2 R_{\text{mín}}$, siendo el $R_{\text{mín}}$ el radio mínimo correspondiente a cada Velocidad de Proyecto y fue calculada bajo el criterio expuesto en el Criterio d.1). Entre los Radios 250 m y 300 m se traza una recta para cerrar la curva de los A mín.

La línea continua del mismo gráfico fue calculada seleccionando el mayor valor resultante de aplicar los Criterios a), b) y d.2), considerando para d.2) los valores de J Normal y para cada valor del radio, la Ve que les corresponde, según la *Tabla 3.1_9* correspondiente al *Figura 3.1_3*. Entre los Radios 50 m y 300 m se trazó una curva envolvente para suavizar los quiebres moderados que presentaba la curva original. El Criterio c) se cumple holgadamente para Δ máx, puesto que A normal es $> A$ mín. Para valores entre A máx y A normal se debe verificar el Δ que se está empleando.

La parte inferior de la *Figura 3.1_14-A* corresponde a Carreteras con $V_e \geq 80$ Km/h y fue calculado empleando los mismos criterios que para los caminos, en consecuencia, para radios entre 250 m y 550 m existen dos curvas segmentadas, asociadas a $R_{\text{mín}} \leq R \leq 1,2 R_{\text{mín}}$ para vías bidireccionales y unidireccionales, extendiéndose la segunda hasta un radio de 800 m, donde empalma con la línea continua para $R > 1,2 R_{\text{mín}}$.

Para radios comprendidos entre 500 m y 1000 m, prevalece el Criterio b), es decir, $\Delta R > 0,5$ m, tanto para Carreteras como para Caminos, y luego los valores de A son los mismos en ambos gráficos.

Para Radios sobre 1000 m prevalece el Criterio a), es decir, $A > R/3$. No obstante esto último, entre $R = 1000$ m y 1200 m se hace una transición empleando un factor que pasa de $R/3$ a $R/3,2$ y para $R \geq 1200$ m el valor de A mín se determina mediante la expresión $A \text{ mín} \geq 3,2$. Esta última expresión se asocia a un valor de $t = 3,1g (= 2,8^\circ)$, algo menor que lo recomendado inicialmente, pero ello permite, en algunos casos críticos, limitar clotoides excesivamente extensas para radios grandes; en todo caso se siguen cumpliendo los criterios $\Delta R \geq 0,5$ m y sobradamente el de distribución de aceleración transversal. Si no hay limitación de espacio, es preferible emplear para $R > 1000$ m el A correspondiente a $R/3$.

En algunos casos, por condiciones de trazado, puede convenir emplear valores de A comprendidos entre las líneas segmentadas y la línea continua que figuran en la *Figura 3.1_ 14-A*, y aún por sobre la línea continua, siempre que se controle la $L_{\text{máx}}$ de la clotoide.

Desarrollo máximo de la clotoide

Aun cuando el Criterio a) estableció un valor máximo de $A = R$, no es conveniente emplear desarrollos de clotoides excesivamente largos, siendo recomendable limitarlos a $L_{\text{máx}} = 1,5 L$ normal, siendo L normal aquel obtenido empleando los parámetros correspondientes a las dos líneas continuas de la *Figura 3.1_ 14-A*.

La limitación de $L_{\text{máx}}$ es especialmente válida para clotoides que enlazan radios superiores a 200 m, en los que usar valores de A cercanos a R, resultan desarrollos clotoiales muy largos a los que se asocian valores de Δ y J muy pequeños; además durante un desarrollo considerable en la zona inicial de la clotoide los valores de R son mucho más grandes que los radios que se están enlazando, lo que los hace difíciles de percibir, sobretodo de noche.

Como caso particular, para hacer coincidir el FK con el PK de clotoides sucesivas en curvas en "S" o para resolver situaciones del tipo Ovoide y Ovoide Doble, se aceptará superar el límite antes definido, siempre que $L_{\text{máx}}$ no sea mayor que $2L$ normal.

Radios que no requieren el empleo de clotoides

En Caminos con $V_p < 80$ Km/h	Si $R > 1500$ m.
En Carreteras con $V_p \geq 80$ Km/h	Si $R > 3000$ m.

Sobre los límites antes establecidos, la aceleración transversal no compensada por el peralte "gt" es menor que el J normal para $V_e \geq 80$ Km/h ($0,4 \text{ m/ses}^3$), considerando en el cálculo $V_e = 110$ Km/h para Caminos y $V_e = 130$ Km/h en Carreteras.

D4. ELEMENTOS DEL CONJUNTO ARCO DE ENLACE CURVA CIRCULAR

La introducción de un arco de enlace implica el desplazamiento del centro de la curva original en una magnitud que es función de ΔR y del ángulo de deflexión de las alineaciones. El radio de la curva circular permanece constante y el desarrollo de ésta es parcialmente reemplazado por secciones de las clotoides de enlace.

La *Figura 3.1_ 14*, ilustra los conceptos antes mencionados y permite establecer las relaciones necesarias para el replanteo.

VER Figura 3.1_ 14: ELEMENTOS DEL CONJUNTO: ARCO DE ENLACE – CURVA CIRCULAR

En la *Figura* anterior, se establece la siguiente nomenclatura:

$R(m)$: Radio de la Curva circular que se desea enlazar.

$d(m)$: Desplazamiento del centro de la curva circular original (C'), a lo largo de la bisectriz del ángulo interior formado por las alineaciones, hasta (C), nueva posición del centro de la curva circular retranqueada de radio R ; válido para clotoides simétricas. En clotoides asimétricas (C) se desplaza fuera de la bisectriz y tiene coordenadas $Xc1$, $Yc1$ determinadas con el parámetro $A1$ y usando la expresión para $OV1$ del caso asimétrico.

$\Delta R (m)$: Retranqueo o desplazamiento de la curva circular enlazada, medido sobre la normal a la alineación considerada, que pasa por el centro de la circunferencia retranqueada de radio R .

Xp ; $Yp(m)$: Coordenadas de "P", punto de tangencia de la clotoide con la curva circular enlazada, en que ambas poseen un radio común R ; referidas a la alineación considerada y a la normal a ésta en el punto "o", que define el origen de la clotoide y al que corresponde radio infinito.

Xc ; $Yc(m)$: Coordenadas del centro de la curva circular retranqueada, referidas al sistema anteriormente descrito.

$\tau p (g)$: Ángulo comprendido entre la alineación considerada y la tangente en el punto P común a ambas curvas. Mide la desviación máxima de la clotoide respecto de la alineación.

$\omega(g)$: Deflexión angular entre las alineaciones consideradas.

$OV(m)$: Distancia desde el vértice al origen de la clotoide, medida a lo largo de la alineación considerada.

$Dc(m)$: Desarrollo de la curva circular retranqueada entre los puntos PP'.

D.4.1. Casos particulares de curva de enlace

En la *Figura 3.1_14* se presenta el caso general en que existe curva de enlace y curva circular. Si se analiza la expresión correspondiente al desarrollo de la curva circular retranqueada se tiene:

$$Dc = \frac{R \cdot (\omega - 2 \cdot \tau p)}{63,662}$$

Para: $w - 2 \cdot t p > 0$ Caso General; $Dc > 0$

$w - 2 \cdot t p = 0$ Caso Particular I; $Dc = 0$

$w - 2 \cdot t p < 0$ Caso Particular II

El caso particular I, Clotoide de Vértice se describe en la *letra E, sección 3.1.1.7.1*.

En el caso particular II, no existe solución para el conjunto curva de enlace-curva circular. En esos casos que normalmente corresponderán a deflexiones pequeñas ($\omega < 7^g = 6,3^\circ$) la solución de curva circular sin curva de enlace es normalmente adecuada.

D.4.2. Expresiones aproximadas

Dado que las expresiones cartesianas de la clotoide son desarrollos en serie en función de f , para ángulos pequeños es posible despreciar a partir del segundo término de la serie y obtener expresiones muy simples.

Estas expresiones simplificadas sirven para efectuar tanteos preliminares en la resolución de algunas situaciones. Los cálculos definitivos deberán efectuarse en todo caso mediante las expresiones exactas.

De las ecuaciones para X e Y indicadas en el numeral 3.1.1.6.1 (D.2) y considerando que:

$$\tau = L^2 / 2 \cdot A^2$$

Las coordenadas aproximadas del centro de la curva serán:

$$X_c = L / 2 = \tau R$$

$$Y_c = R + \Delta R + L^2 / 24 \cdot R$$

El error asociado a cada una de estas expresiones aproximadas será menor que 0,2% de la longitud real del elemento si $\tau < 0,1$ radianes ó $6,36^\circ = 5,72^\circ$.

E. DESARROLLO DE PERALTE EN ARCOS DE ENLACE

E1. ASPECTOS GENERALES

Cuando existe arco de enlace, el desarrollo del peralte puede darse de forma tal que el valor alcanzado sea exactamente el requerido por el radio de curvatura en el punto considerado, obteniéndose el valor máximo de “e” justo en el principio de la curva circular retranqueada.

Cuando la calzada posee doble bombeo, o si el bombeo único es en sentido contrario al sentido de giro de la curva que se debe enlazar será necesario efectuar en la alineación recta, el giro del carril o de la calzada, hasta alcanzar la pendiente transversal nula en el inicio de la curva de enlace. Desde ese punto se desarrolla el peralte al ritmo antes descrito. Si se hiciera la transición desde -b% a 0% dentro de la curva de enlace, quedaría un sector con un déficit de peralte.

Por otra parte, para velocidades altas la longitud de la curva de enlace suele ser superior al desarrollo requerido para la transición del peralte entre 0% y “e”. En estos casos la pendiente del borde peraltado respecto del eje de giro “Δ” puede resultar pequeña y por tanto la zona con pendiente transversal cercana a 0%, tiende a ser demasiado extensa desde el punto de vista del drenaje.

E2. PROCEDIMIENTO A SEGUIR

Para minimizar los problemas de drenaje, manteniendo el concepto general antes expuesto, cuando existe arco de enlace el desarrollo de peralte se dará según el siguiente procedimiento:

Eje de giro normal en torno al eje de las calzadas bidireccionales y en los bordes interiores del pavimento en las unidireccionales. En casos especiales se podrá adoptar otros ejes de giro.

El desarrollo de peralte tendrá una longitud total igual a:

$$l = l_0 + L$$

Siendo:

l_0 = Desarrollo en la recta para pasar de -b% a 0%

L = Desarrollo en la Clotoide para pasar de 0% a e%

Para calzadas de doble bombeo o de pendiente transversal única de sentido opuesto al giro de peralte, la longitud, “ l_0 ” vale.

$$l_0 = \frac{(n \cdot a \cdot b)}{\Delta}$$

Donde:

n = Número de carriles entre el eje de giro y el borde de la calzada a peraltar

a = Ancho normal de un carril (m). Se prescinde de posibles ensanches.

b = Bombeo o pendiente transversal normal en recta

Δ = Pendiente relativa del borde peraltado respecto del eje de giro

En todo caso para minimizar los problemas de drenaje, a partir del comienzo de la curva de enlace se desarrollará el giro desde 0% hasta $b\%$ manteniendo la pendiente de borde " Δ " utilizada en el tramo en recta, resultando en una longitud idéntica a la ya definida. El valor de " Δ " no deberá ser nunca menor que 0,35%, pudiendo alcanzar hasta el Δ máx indicado en la *Tabla 3.1_22* para la V_p correspondiente.

El saldo del peralte por desarrollar se dará entonces en la longitud $L - l_0$ resultando una pendiente relativa de borde:

$$\Delta_{ce} = \frac{n \cdot a (e - b)}{L - l_0}$$

Si el desarrollo de peralte se da con Δ único entre 0% y $e\%$ en todo lo largo de la clotoide, el Δ resultante será:

$$\Delta = \frac{n \cdot a \cdot e}{L}$$

Para velocidades altas que implican parámetros grandes, por lo general Δ_{ce} será $< \Delta$ normal y para clotoides de parámetro mínimo con un Δ constante en toda la transición, éste deberá ser similar, aunque menor o igual que Δ máx.

Para el caso de calzadas con pendiente transversal única, en que ésta coincide con el sentido de giro de la curva: Se mantiene constante la inclinación transversal " b " en una distancia " l_0 " al inicio de la clotoide, calculada según lo expuesto anteriormente; ello con el objeto de evitar un sobreperaltamiento en ese tramo de la clotoide. Luego el peraltamiento de $b\%$, a $e\%$ se da en el resto de la curva de enlace y la pendiente relativa de borde se calcula a partir de la expresión para Δ_{ce} .

Estos procedimientos se ilustran en la *Figura 3.1_15*, para giros en torno al eje y a los bordes derecho e izquierdo, según el avance de la distancia acumulada, en calzadas bidireccionales con doble bombeo y en las *Figuras 3.1_16 y 17* para calzadas unidireccionales con eje de giro en los bordes interiores de cada calzada (Izquierdo para la calzada derecha y derecho para la calzada izquierda, siempre considerando el sentido de avance de la distancia acumulada).

En Carreteras Unidireccionales con tres o más carriles por calzadas, si la curva requiere un peralte mayor que 4%, puede ser conveniente desplazar los ejes de giro de los peraltes al centro de cada calzada, distando entre dicho eje de giro 5,25 m al borde interior de los pavimentos para el caso de 3 carriles de 3,5 m y 7,0 m para cuatro carriles. Lo anterior tiene por objeto disminuir el desnivel que se produce entre los bordes exteriores de la calzada y la rasante, respecto de aquellos con ejes de giro en el borde interior del pavimento. Al actuar de este modo no se requiere modificar la rasante y la cota de los ejes de giro queda dada por:

Cota Ejes de Giro en Centro de Calzada = Cota Rasante en Eje del Cantero central - (c/2) b.

Siendo:

$c/2 = 5,25$ m para 3 Carriles y 7,0 m para 4 Carriles

b = bombeo de la calzada en recta en m/m

El diagrama de peralte deberá presentarse empleando una nomenclatura distinta para cada borde de las calzadas, o bien, mediante dos diagramas independientes.

F. SOBREALCHO EN CURVAS CON ARCO DE ENLACE

F1. ASPECTOS GENERALES

Los ensanches requeridos se determinarán según lo expuesto en el numeral 3.1.1.6.1 (C.6) “Sobrealcho en curvas circulares”.

F2. DESARROLLO DEL SOBREALCHO

La longitud normal para desarrollar el sobrealcho será de 40 m. Si el arco de enlace es mayor o igual a 40 m, el inicio de la transición se ubicará 40 m antes del principio de la curva circular. Si el arco de enlace es menor de 40 m el desarrollo del sobrealcho se ejecutará en la longitud de arco de enlace disponible.

El sobrealcho se generará mediante una variación lineal con el desarrollo:

$$en = (E / L) \cdot ln$$

Siendo:

en= Ensanche hacia el interior de la curva correspondiente a un punto distante ln metros desde el origen.

E= Ensanche de la plataforma calculado con lo indicado en *Tabla 3.1_24*

L= Longitud Total del desarrollo del sobrealcho, dentro de la curva de enlace

La ordenada “en” se medirá normal al eje de la calzada en el punto de abscisa “ln” y el borde interior de la calzada distará del eje ($a + e_n$), siendo “a” el ancho normal de un carril en recta.

VER ANEXO I

Figura 3.1_15: DESARROLLO DEL PERALTE EN ARCOS DE ENLACE, CALZADAS BIDIRECCIONALES

Figura 3.1_16: DESARROLLO DEL PERALTE EN ARCOS DE ENLACE, CALZADAS UNIDIRECCIONALES

Figura 3.1_17: DESARROLLO DEL PERALTE: CALZADAS UNIDIRECCIONALES, CASO CURVAS CONTRAPUESTAS O EN S

SECCION 3.1.1.7. | TRAZADO DEL ALINEAMIENTO VERTICAL

3.1.1.7.1. DEFINICIÓN

El alineamiento vertical es la proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la corona o superficie terminada de la plataforma vial. Al eje de la corona en alineamiento vertical se le llama línea rasante. La representación gráfica de esta rasante recibe el nombre de Perfil Longitudinal del Proyecto.

Al eje de la subcorona en alineamiento vertical se le llama línea subrasante. La subrasante está ubicada, por lo general, al nivel del movimiento de suelos terminado, incluyendo cualquier trabajo de mejoramiento de los materiales naturales que constituyen la superficie de soporte encima de la cual se construye el paquete estructural del pavimento y la superficie de rodadura del mismo.

3.1.1.7.2. ELEMENTOS QUE LO INTEGRAN

El alineamiento vertical se compone de tangentes y curvas, elementos que describimos a continuación:

A. TANGENTES

Las tangentes se caracterizan por su longitud y su pendiente y están limitadas por dos curvas sucesivas. La longitud de una tangente es la distancia medida horizontalmente entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente, se representa como "T". La pendiente de la tangente es la relación entre el desnivel y la distancia entre dos puntos de la misma.

Al punto de intersección de dos tangentes consecutivas se le denomina PIV (Punto de Intersección Vertical) y a la diferencia algebraica de pendientes en ese punto se la representa por la letra A.

A1. Pendiente gobernadora

Es la pendiente media que teóricamente puede darse a la línea rasante para dominar un desnivel determinado en función de las características del tránsito, la configuración y calidad del terreno.

La mejor pendiente gobernadora para cada caso será aquella que, al conjugar esos conceptos, permita obtener el menor costo de construcción, conservación y operación. Sirve la norma reguladora a la serie de pendientes que se deban proyectar para ajustarse en lo posible al terreno.

A2. Pendiente máxima

Es la mayor pendiente que se permite en el proyecto. Queda determinada por el volumen y la composición del tránsito previsto y la configuración del terreno.

La pendiente máxima se empleará cuando convenga desde el punto de vista económico para salvar ciertos obstáculos locales tales como bordes de precipicios, fallas y zonas inestables, siempre que no se rebase la longitud crítica.

Se recomienda que para vías principales (Carreteras) las pendientes máximas no excedan a las dadas en la *Tabla 3.1_29*. Para caminos con escaso volumen de tránsito, las pendientes dadas en la Tabla pueden incrementarse hasta en 2%.

Tabla 3.1_29. RELACIÓN ENTRE PENDIENTE MÁXIMA Y VELOCIDAD DE PROYECTO

TIPO DE TERRENO	PENDIENTE MÁXIMA (%) EN RELACION A LA Vp						
	50	60	70	80	90	100	110
LLANO	6	5	4	4	3	3	3
ONDULADO	7	6	5	5	4	4	4
MONTAÑOSO	9	8	7	7	6	5	5

A3. Pendiente mínima

La pendiente mínima se fija para permitir el drenaje. En los terraplenes puede ser nula; en los cortes se recomienda 0,5% mínimo para garantizar el buen funcionamiento de las cunetas; en ocasiones la longitud de los cortes y la precipitación pluvial en la zona podrá llevar a aumentar esa pendiente mínima.

A4. Longitud crítica de pendiente

Es la longitud máxima en la que un camión cargado puede ascender sin reducir su velocidad más allá de un límite previamente establecido.

Los elementos que intervienen para la determinación de la longitud crítica de una tangente son fundamentalmente el vehículo de proyecto, la configuración del terreno y el volumen y composición del tráfico.

El vehículo con su relación peso/potencia, define características de operación que determinan la velocidad con que es capaz de recorrer una pendiente dada. La configuración del terreno impone condiciones al proyecto que, desde el punto de vista económico, obligan a la utilización de pendientes que reducen la velocidad de los vehículos pesados y hacen que estos interfieran con los vehículos ligeros. El volumen y la composición del tránsito son elementos primordiales para el estudio económico del tramo, ya que los costos de operación dependen básicamente de ellos.

Los Gráficos del estudio de Firey y Peterson permiten, para una relación dada de peso/potencia del vehículo, obtener su velocidad de marcha para diferentes pendientes y longitudes de las mismas.

En las gráficas peso/potencia, presentadas en las *Figura 3.1_18-A 18-B, 18-C y 18-D*, se muestran las relaciones para 90 kg/HP, 120 kg/HP, 180 kg/HP y 210 kg/HP, respectivamente; con base en ellas, se han desarrollado dos criterios para determinar la longitud crítica de una tangente vertical, los cuales se detallan a continuación.

Primer Criterio: Cuando se trata de camino con volúmenes de tránsito alto en cualquier tipo de terreno o bien, con cualquier volumen de tránsito en terreno sensiblemente llano u ondulado, se ha considerado que la longitud crítica de cualquier pendiente es aquella que ocasiona una reducción de 25 Km/h en la velocidad de proyecto.

Conforme a ese criterio y para ilustrar el procedimiento de cálculo con base en las *Figuras 3.1_18-A, 18-B, 18-C y 18-D* se determina que para un camino que tenga una velocidad de proyecto de 110 Km/h, que corresponde a una velocidad de marcha a la entrada de una tangente vertical de $V = 92$ Km/h y en el que se prevean vehículos con relación peso/potencia de 180 Kg/HP, se desea saber las longitudes críticas para pendientes de 5%, 4%, 3%, 2% y 1% haciendo uso de lo expresado en la figura se tiene que las longitudes críticas serán aquellas comprendidas entre las ordenadas que marcan la velocidad de entrada de 92 Km/h y la de 67 Km/h que es el resultado de aceptar una reducción de 25 Km/h en la velocidad de marcha durante su recorrido.

Estos valores son:

Para 5% - 313 m
Para 4% - 420 m
Para 3% - 595 m
Para 2% - 1.033 m
Para 1% - ----

Para un caso en que la velocidad de marcha a la entrada fuera de 68 km/h, se tendría con la reducción especificada, una velocidad con la cual al término de la tangente y usando el mismo gráfico, que las longitudes críticas serían:

Para 5% - 313 m
Para 4% - 400 m
Para 3% - 697 m
Para 2% - 1.833 m
Para 1% - ----

Para 2% el valor es resultado de una extrapolación y para 1% se considera una distancia infinita, pues se puede sostener indefinidamente la pendiente, ya que la velocidad de régimen es superior al valor de la velocidad reducida.

Por velocidad de régimen se entiende la máxima que puede desarrollar un vehículo sobre una pendiente determinante, indefinidamente.

En los dos ejemplos anteriores, se puede observar que la velocidad de entrada tiene influencia directa en la determinación de las longitudes críticas de las tangentes verticales, lo que hace evidente la necesidad de que la obtención del dato velocidad de entrada sea lo más cercano a la realidad para lo cual se debe considerar los tres siguientes casos:

Si al punto para el cual se desea conocer la velocidad de entrada le antecede una tangente horizontal, la velocidad de entrada será igual a la velocidad de marcha obteniéndose esta de su relación con la velocidad del proyecto.

Si al punto para el cual se desea conocer la velocidad de entrada le antecede una tangente vertical de descanso, aun cuando la velocidad de entrada sea mayor a la velocidad de marcha en una magnitud que se estima del orden de 10 a 15 Km/h la velocidad de salida será la de marcha menos 25 Km/h.

Si al punto para el cual se desea conocer la velocidad de entrada le antecede una tangente vertical en ascenso, la velocidad de entrada será menor a la velocidad de marcha. La velocidad de salida deberá ser la de marcha menos 25 Km/h.

Es importante aclarar que para que estas consideraciones sean aplicables, se requiere que las condiciones del alineamiento vertical en el tramo que antecede al punto en que se desea obtener la velocidad de entrada, permitan que el vehículo transite con velocidades que no varíen en más de 15 km/h con respecto a la de marcha.

Segundo Criterio. En México se ha desarrollado otro criterio basado en el tiempo de recorrido, el cual se aplica a caminos con bajos volúmenes de tránsito y que se desarrollan en terrenos de tipo Ondulado y de Cordillera, donde por razones de configuración, es necesario considerar una pendiente gobernadora con valor previamente especificado, como resultado de un estudio económico.

Cuando intervienen la pendiente gobernadora, la longitud crítica de tangentes para las diferentes pendientes no debe considerarse con valores rígidos y fijos como en el primer caso; su

valor puede tener pequeñas variaciones para diferentes tramos, en función del efecto que el conjunto de las tangentes tenga en la velocidad de marcha y por ende en el tiempo de recorrido para el tramo.

Lo anterior se ilustrará con el ejemplo de un camino para el que se ha proyectado un alineamiento vertical con diferentes tangentes y otro alineamiento con una sola tangente cuya pendiente es la gobernadora, véase la *Figura 3.1_ 18-E*.

Se supone que la velocidad, en el punto A de entrada al principio del tramo es 79 km/h; con este dato se determinará la velocidad de 55,5 km/h en el punto B, como resultado de buscar la abscisa que corresponde a la distancia de 300 m en su intersección con la curva de pendiente +5% y leyendo el valor de la velocidad en el eje de las ordenadas.

El valor de la velocidad en el punto C se determina buscando la intersección de la velocidad de entrada al tramo BC o sea 55,5 km/h con la curva de pendiente +3%. Al valor de la abscisa de este punto que es 880 m se le agrega la distancia BC de 800 m y en la abscisa 1.680m se busca la intersección con la curva de pendiente +3%, leyéndose a continuación la ordenada correspondiente, resultando una velocidad de 33 km/h para el punto C.

VER Figura 3.1_ 18-E: PERFIL LONGITUDINAL DE UN TRAMO CON TANGENTES DE PENDIENTE DIFERENTE

Para determinar la velocidad en el punto D se emplean directamente los valores del gráfico entrando en el punto donde la ordenada de 33 km/h corta a la curva de pendiente +5%, o sea 713 m obteniéndose así una velocidad de salida de 20 km/h.

Para determinar el tiempo de recorrido en cualquier tramo donde la velocidad de salida sea igual al del régimen, es necesario fijar un punto auxiliar donde la curva cambia de pendiente, pues no será válido tomar un promedio de las velocidades extremas.

Para el tramo DE, tenemos en el punto D una velocidad de entrada de 20 Km./h, valor que fijamos en el eje de las ordenadas para buscar su intersección con la curva punteada de pendiente +1% dándonos en la abscisa de 120 m buscamos la intersección con la curva punteada de +1% y obtenemos en el eje de las ordenadas de velocidad de 31,5 Km/h para el punto E.

Tabla 3.1_ 30. TIEMPO DE RECORRIDO EN TRAMOS CON DIFERENTES PENDIENTES (CORRESPONDE A la Figura 3.1_ 18-E)

TRAMO	PENDIENTE (%)	LONGITUD (m)	VELOCIDAD			TIEMPO DE RECORRIDO (Hr)
			ENTRADA	SALIDA	MEDIA	
A-B	5	300	79,00	55,50	67,25	0,00446
B-C	3	800	55,50	33,00	44,25	0,01808
C-D	5	400	33,00	20,00	26,50	0,01509
D-E	1	100	20,00	31,50	25,75	0,00388
E-F'	4	400	31,50	24,00	27,75	0,01441
F'-F	4	300	24,00	24,00	24,00	0,01250
F-G	5	200	24,00	20,50	22,25	0,00899
G-H	2	100	20,50	28,00	24,25	0,00412
H-I	5	400	28,00	20,00	24,00	0,01667
SUMA						0,09820

En forma similar a la descrita, se determinan las velocidades en los puntos E, F, F, G, H, I para formar una Tabla como la anterior y en la cual se identifica el tramo, su pendiente, su longitud, la velocidad de entrada, la velocidad de salida y la velocidad media de esas dos, para finalmente

anotar el tiempo de recorrido de ese tramo a partir de la expresión tiempo = distancia/velocidad.

El cálculo de tiempo de recorrido en la pendiente gobernadora se lleva a cabo siguiendo la misma metodología que para las determinaciones de velocidades a partir de los Gráficos velocidad-distancia-pendiente, haciéndose una Tabla similar. El tramo se subdividió en dos partes, correspondientes a longitudes en las que la curva distancia-velocidad puede tomarse como recta sin cometer un error apreciable.

Tabla 3.1_31. TIEMPO DE RECORRIDO EN TRAMOS CON DIFERENTES PENDIENTES

TRAMO	PENDIENTE (%)	LONGITUD (m)	VELOCIDAD			TIEMPO DE RECORRIDO (h)
			ENTRADA	SALIDA	MEDIA	
A - 1	4	1200	79,00	24,00	51,50	0,02330
1 - I	4	1800	24,00	24,00	24,00	0,07500
SUMA						0,09830

En este caso se verifica que, el tiempo de recorrido en varias tangentes es menor que el tiempo de recorrido en una sola con la pendiente gobernadora, por lo cual se acepta el alineamiento vertical propuesto.

Se recomienda que los análisis de alineamiento vertical bajo este criterio, se verifiquen en tramos del orden de 4 Km como máximo.

B. CURVAS VERTICALES

Las curvas verticales son la que enlazan dos tangentes consecutivas del alineamiento vertical, para que en su longitud se efectúe el paso gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la de la tangente de salida. Deben dar por resultado un camino de operación segura y confortable, apariencia agradable y con características de drenaje adecuadas. El punto común de una tangente y una curva vertical en el inicio de esta, se representa como PVC y como PTV el punto común de la tangente y la curva al final de esta.

B1. Forma de curva

La condición que se considera óptima para la conducción de un vehículo, corresponde a un movimiento cuya componente horizontal de la velocidad sea constante. Esto es:

$$V_x = \frac{dx}{dt} = C_1$$

Por lo que la componente horizontal de la aceleración.

$$a_x = \frac{dV_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = 0$$

Tomando en cuenta las consideraciones establecidas en estas Guías de diseño Geométrico, se concluye lo siguiente:

$$y = Kx^2 + Px$$

La expresión anterior corresponde a la ecuación de una parábola que es la recomendada para emplearse en las curvas verticales. Las curvas verticales pueden ser cóncavas o convexas. En la *Figura 3.1_19* se ilustran los tipos representativos de curvas verticales cóncavas o convexas; en los tipos I y III las pendientes de las tangentes de entrada y salida tienen signos contrarios, en los tipos II y IV tienen el mismo signo.

B2. Cálculo de los elementos de la curva parabólica

Los elementos de una curva vertical son los mostrados en la *Figura 3.1_ 20* y se calculan como sigue:

VER ANEXO I

Figura 3.1_ 19: TIPOS DE CURVAS VERTICALES

Figura 3.1_ 20: ELEMENTOS DE LA CURVA VERTICAL

Longitud: Es la distancia medida horizontalmente entre el PCV y el PTV. Existen cuatro criterios para determinar la longitud de las curvas, que son:

Criterio de comodidad: Se aplica al proyecto de curvas verticales en columpio, en donde la fuerza centrífuga que aparece en el vehículo al cambiar de dirección, se suma al peso propio del vehículo. Se recomienda que en la curva la aceleración centrífuga no exceda a $0,305 \text{ m/seg}^2$, o sea que:

$$a_c = \frac{V^2}{R} \leq 0.305 \text{ m/seg}^2 \therefore R \geq 3.28 \cdot V^2$$

Asimilando la parábola a un círculo y expresando V en Km/h y a en porcentaje se obtiene:

$$K = \frac{L}{A} \geq \frac{V^2}{395}$$

Siendo K el recíproco de la variación de pendiente por unidad de longitud.

Criterio de apariencia: Se aplica al proyecto de curvas verticales con visibilidad completa, o sea las curvas cóncavas, para evitar al usuario la impresión de un cambio súbito de pendiente. Empíricamente la AASHTO ha encontrado que para que esto ocurra debe cumplirse:

$$K = \frac{L}{A} \geq 30$$

Criterio de drenaje: Se aplica al proyecto de curvas verticales cóncavas o convexas, cuando están alojadas en corte. La pendiente en cualquier punto de la curva, debe ser tal que el agua pueda escurrir fácilmente. La AASHTO ha encontrado que para que esto ocurra debe cumplirse:

$$K = \frac{L}{A} \leq 43$$

Criterio de seguridad: Se aplica a curvas cóncavas o convexas. La longitud de curva debe ser tal, que en toda la curva la distancia de visibilidad sea mayor o igual que la de parada. En algunos casos, el nivel de servicio deseado puede obligar a diseñar curvas verticales con la distancia de visibilidad de rebase. En estas Guías de Diseño se deducen las expresiones que permiten calcular la longitud de las curvas verticales, tanto para distancia de visibilidad de parada como de adelantamiento. Estas expresiones son:

$$\begin{aligned} \text{Para curvas Convexas: } D > L & \quad L = 2D - \frac{C_1}{A} \\ D < L & \quad L = \frac{AD^2}{C_1} \end{aligned}$$

Para curvas Cóncavas: $D > L$ $L = 2D - \frac{C_2 + 3,5D}{A}$

$D < L$ $L = \frac{AD^2}{C_2 + 3,5D}$

Donde:

L = Longitud de la curva

D = Distancia de visibilidad

A = Diferencia algebraica de pendientes, en por ciento

C1, C2 = Constantes que dependen de la altura del ojo del conductor o altura de los faros y de la altura del obstáculo o altura del vehículo

El valor de las constantes para el vehículo considerado se indica en el cuadro siguiente:

Tabla 3.1_32.

CONSTANTE	PARA DISTANCIA DE VISIBILIDAD	
	PARADA	ADELANTAMIENTO
C1	425	1000
C2	120	---

Las curvas diseñadas para distancia de visibilidad de adelantamiento resultan de gran longitud y solo deberán proyectarse cuando no se afecte el costo del camino más allá de lo permisible o donde lo amerite el nivel de servicio.

La AASHTO establece un valor mínimo para la longitud de curva, dado por la expresión empírica:

$$L = 0,6 \cdot V$$

Donde L es la longitud mínima de la curva en m y V la velocidad de proyecto en Km/h.

Para proyecto, el criterio a seguir debe ser el de seguridad que satisfaga cuando menos la distancia de visibilidad de parada. El criterio de apariencia sólo debe emplearse en caminos de tipo muy especial. Por otra parte, el drenaje siempre debe resolverse, sea con la longitud de curva o modificando las características hidráulicas de las cunetas. De la *Figura 3.1_21* se obtienen las longitudes de curva según el criterio de seguridad para satisfacer el requisito de distancia de visibilidad de parada y la longitud mínima de curva, empleando las formulas correspondientes a la condición $D < L$ que representa el caso más crítico. La longitud obtenida en las Figuras debe redondearse al número de estaciones de veinte metros inmediato superior.

VER ANEXO I - Figura 3.1_21: LONGITUD DE CURVAS VERTICALES PARA CUMPLIR CON LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA

Pendientes en un punto cualquiera de la curva.

Para determinar está pendiente P, se parte de la propiedad de la parábola de que la variación de pendiente a lo largo de ella respecto a su longitud, es uniforme. Puede establecerse la siguiente proposición:

$$t' = \frac{P_1 \cdot L}{200} + \frac{P_2 \cdot L}{200} = \frac{L}{200} (P_1 + P_2) = \frac{A \cdot L}{200}$$

$$P = P_1 - \frac{A \cdot l}{L}$$

Donde:

P, P1, P2, y A están expresados en por ciento y l y L en metros.

Pendiente de la cuerda a un punto cualquiera.

Para determinar está pendiente simbolizada como P se hace uso de la propiedad de la parábola de que la pendiente de una cuerda es el promedio de las pendientes de las tangentes a la parábola en los puntos extremos de la cuerda.

Esto es:

$$P' = \frac{P_1 + P}{2}$$

Y teniendo en cuenta que:

$$P = \frac{P_1 + P}{2}$$

$$P' = \frac{P_1}{2} + \frac{1}{2} \left(P_1 - \frac{A \cdot l}{L} \right)$$

Por lo tanto:

$$P' = P_1 - \frac{A \cdot l}{2 \cdot L}$$

Desviación respecto a la tangente.

Es la diferencia de ordenadas entre la prolongación de la tangente y la curva, llamada t; para determinarla se aprovecha la propiedad de la parábola que establece.

$$t = a \cdot l^2$$

Pero en el PTV

$$t = a \cdot L^2$$

Por tanto:

$$t' = \frac{P_1 \cdot L}{200} + \frac{P_2 \cdot L}{200} = \frac{L}{200} (P_1 + P_2) = \frac{A \cdot L}{200}$$

$$\frac{A \cdot L}{200} = a \cdot L^2 \text{ entonces } a = \frac{A}{200 \cdot L}$$

Finalmente:

$$t = \frac{A}{200 \cdot L} \cdot l^2$$

Externa.

Es la distancia entre el PIV y la curva, medida verticalmente; se le representa como E. De la ecuación anterior, se deduce que:

$$E = \frac{A}{200 \cdot L} \left(\frac{L}{2} \right)^2$$

$$E = \frac{A \cdot L}{800}$$

Flecha.

Es la distancia entre la curva y la cuerda PVC – PTV, medida verticalmente; se representa como f: de la *Figura 3.1_ 19*:

$$f = \frac{P_2 \cdot L}{200} - E - e = \frac{P_2 \cdot L}{200} - \frac{A \cdot L}{800} - e$$

Siendo la distancia e la pendiente de la cuerda PTV – PCV multiplicada por L/2, o sea que aplicando la ecuación se tendrá:

$$e = - \left(\frac{P_1}{100} - \frac{A}{200 \cdot L} \right) \frac{L}{2} = - \frac{P_1 \cdot L}{200} + \frac{A \cdot L}{400}$$

De donde resulta:

$$f = \frac{P_2 \cdot L}{200} - \frac{A \cdot L}{800} + \frac{P_1 \cdot L}{200} - \frac{A \cdot L}{400} = \frac{P_1 + P_2}{200} L - \frac{3 \cdot A \cdot L}{800} = \left(\frac{1}{200} - \frac{3}{800} \right) \cdot A \cdot L$$

$$f = \frac{A \cdot L}{800}$$

Puede observarse que f = E

Elevación de un punto cualquiera de la curva Zn.

De la *Figura 3.1_ 19*:

$$Z_n = Z_o + \frac{P_1 \cdot l}{100} - t$$

Substituyendo el valor de t:

$$Z_n = Z_o + \left(\frac{P_1}{100} - \frac{A \cdot l}{200 \cdot L} \right) \cdot l$$

Y expresando a l y L en estaciones de 20 m y llamando n y N a las longitudes l y L en estación, se tendrá:

$$Z_n = Z_o + \left(\frac{P_1}{5} - \frac{A \cdot l}{10 \cdot N} \right) \cdot n$$

Esta expresión se emplea para calcular las elevaciones de la curva vertical. El cálculo con la fórmula tiene la ventaja de su simplicidad, pero la desventaja de que no es auto comprobante, puesto que un error en una elevación intermedia no se refleja en la elevación del punto final. Un artificio para hacer el cálculo comprobable es el siguiente:

Puede establecerse:

$$Z_{n-1} = Z_0 + \left[\frac{P_1}{5} - \frac{A}{10 \cdot N} (n-1) \right] (n-1)$$

Restando esta ecuación de la ecuación para el punto n:

$$Z_n - Z_{n-1} = \left(\frac{P_1}{5} - \frac{A \cdot n}{10 \cdot N} \right) \cdot n - \left[\frac{P_1}{5} - \frac{A(n-1)}{10 \cdot n} \right] (n-1)$$

Y efectuando operaciones y simplificando:

$$Z_n = Z_{n-1} + \frac{P_1}{5} - \frac{A}{10 \cdot N} (2n-1)$$

Expresión que permite hacer un cálculo autocombprobante, si bien algo más elaborada que con la expresión anterior.

SECCION 3.1.1.8.

CRITERIOS DE DISEÑO PARA LA SECCIÓN TRANSVERSAL

3.1.1.8.1. ASPECTOS GENERALES

Esta Sección norma las dimensiones de los elementos de la plataforma: calzada, banquetas, medianas y sobreebanco de la plataforma (SAP), los que son función básicamente de la velocidad de Proyecto y de la demanda prevista al año horizonte del proyecto, todo lo cual tiene relación directa con la Capacidad y Seguridad de la ruta.

El Concepto de “SAP”, incorpora mayores anchos a la plataforma vial en función de la velocidad de proyecto, con el objeto de dar cabida a los elementos de seguridad vial, cuyas dimensiones respecto del borde de la banqueta aumentan en función de la velocidad de Proyecto.

Los elementos asociados a la plataforma de subrasante, taludes y cunetas, son objeto de normas específicas, en las que se han incorporado las nuevas tendencias respecto de la seguridad vial.

Elementos auxiliares tales como estructuras de sostenimiento, soleras, fosos, contrafosos, caminos de servicio y otras reposiciones, son también objeto de normas y recomendaciones, inscribiéndoselos, junto a los demás ya citados, en el contexto más amplio de las franjas de expropiación y derecho de vía.

A. DEFINICIÓN DE SECCIÓN TRANSVERSAL

La Sección Transversal de una carretera o camino describe las características geométricas de ésta, según un plano normal a la superficie vertical que contiene el eje de la carretera.

Dicha sección transversal varía de un punto a otro de la vía, ya que ella resulta de la combinación de los distintos elementos que la constituyen, cuyos tamaños, formas e interrelaciones dependen de las funciones que ellas cumplan y de las características del trazado y del terreno en los puntos considerados.

En la *Figura 3.1_ 22 (SECCION TRANSVERSAL DOBLE CARRIL) (Ver Anexo II)* se presenta un perfil transversal mixto (corte y terraplén) correspondiente al caso de una vía con calzadas separadas en recta. En la *Figura 3.1_ 23* se hace igual cosa para una ruta bidireccional de dos pistas, en curva. En ellas aparecen los elementos fundamentales que normalmente se dan en una carretera o camino; plataforma, cunetas, taludes, etc. La nomenclatura utilizada debe ser respetada por el proyectista. En la *Tabla 3.1_ 33* se presenta el resumen de los Anchos de Plataforma a Nivel de Rasante.

En las etapas iniciales del diseño de las carreteras, siempre es conveniente dar la debida consideración al uso de componentes de dimensiones normales o mejoradas en la sección transversal, por estar comprobado que con un bajo costo relativo, reducen sustancialmente los riesgos de accidentes o, inversamente, contribuyen al mejoramiento de los niveles de seguridad vial. Cualesquiera que sean estos elementos de la sección transversal, deben mantenerse a lo largo de todo el proceso de diseño de una carretera o de un segmento dado de dicha carretera.

Además de la seguridad, se deben considerar las características operativas del tránsito, la estética, los patrones de velocidad, la capacidad y sus niveles de servicio, tomando en cuenta además las dimensiones de los vehículos de diseño, sus características operativas y la conducta muy particular de los conductores. En el diseño de la sección transversal debe preverse la construcción por etapas o la incorporación de ampliaciones que puedan, con posterioridad, ser ejecutadas económica y prácticamente.

Tabla 3.1_33. SECCIÓN TRANSVERSAL

TIPO DE RED	CATEGORIA	NUMERO DE CALZADAS	VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)	NUMERO DE CARRILES POR CALZADA	ANCHO CARRILES "a" (m) (1)	ANCHO BANQUINAS		ANCHO SAP (3)		ANCHO MEDIANA – M (incluye bi + Si) (m)			ANCHO TOTAL DE PLATAFORMA A NIVEL DE RASANTE ATP = na + 2(be + Se) + M final		
						"bi" INTERIOR (m)	"be" EXTERIOR (m)	"Si" INTERIOR (m)	"Se" EXTERIOR (m)	4 CARRILES	6 CARRILES	INICIAL 4 CARRILES AMPLIABLE A 6	4 CARRILES	6 PISTAS Y 4 AMPLIABLE	2 PISTAS
PRIMARIAS	AUTOPISTA	2 - SO	120	2 o más UD	3,5	1,2	2,5	0,5 - 0,8	1.5	6	6	13	28	35	-
			100		3,5	1,0	2,5	0,5 - 0,8	1	5	5	13	26	33	-
			80		3,5	1,0	2,5	0,5 - 0,8	0.8	4	4	11	24.6	31.6	-
	MULTICARRILES	2 - SO	100	2 o más UD	3,5	1,0	2,5	0,5 - 0,8 (3)	1 (*)	5	5	13	26	33	-
			90		3,5	1,0	2,5	0,5 - 0,8 (3)	1 (*)	4	4	12	25	32	-
			80		3,5	1,0	2,5	0,5 - 0,8 (3)	0,5 - 0,8 (*)	3	3	10	23.6	30.6	-
	2 CARRILES BD	1	100-90	2 BD	3,5	-	2,5 - 3,0	-	1,0 (*)	-	-	-	-	-	13 (***)
80			3,5		-	2,0 - 2,5	-	0.80 (*)	-	-	-	-	-	12 (***)	
SECUNDARIAS	COLECTOR O PRINCIPAL	1	80	2 BD	3 - 3,5	-	2,0 - 2,5	-	0,5 - 0,80 (*)	-	-	-	-	-	10 - 12 (***)
			70		3 - 3,5	-	1,0 - 1,5	-	0,5 - 0,80 (*)	-	-	-	-	-	10 - 10,0 (***)
			60		3,0 - 3,5	-	1,0	-	0,5 - 0,80 (*)	-	-	-	-	-	8,0 - 09,0 (***)
TERCIARIAS	LOCAL	1	70	2 BD	3,0 - 3,5	-	1,0 - 1,5 (2)	-	(**)	-	-	-	-	-	8 - 10,0 (***)
			60		3,0 - 3,5	-	1,0 (2)	-	(**)	-	-	-	-	-	8,0 - 09,00 (***)
			50		3,0 - 3,5	-	0,5 - 1,0 (2)	-	(**)	-	-	-	-	-	8,0 - 10,0 (***)
			40		3	-	0,0 - 0,5 (2)	-	-	-	-	-	-	-	7,0 - 8,0
	DESARROLLO	1	50	2 BD	3,0 - 3,5	-	0,5 - 1,0 (2)	-	-	-	-	-	-	-	8,0 - 09,0
			40		3	-	0,0 - 0,5 (2)	-	-	-	-	-	-	-	7,0 - 8,0
			30		2,0 - 3,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0 - 6,0

SO: Calzada de Sentidos opuestos
UD: Carriles unidireccionales
BD: Carriles bidireccionales o sentidos opuestos

(*): Diseñar el SAP solo en casos de contar con barreras de contención

(**): El diseño del SAP queda a criterio del proyectista o a los requerimientos del proyecto

(***): En los valores de ATP, no se incluye el ancho del SAP

(1) Si se requieren carriles menores a 3,5 m. deben justificarse y solicitar autorización del MOPC

(2) El ancho de las Banquinas de Locales y de Desarrollo se definirán en función del tránsito y dificultades del emplazamiento.

(3) Para Ancho Final de Mediana de 3 y 2 m, los SAP interiores se juntan presentando un ancho conjunto de 1 m y 0,6 a 0,8 m respectivamente, espacio que servirá de base para una Barrera Rígida de Hormigón con anchos en la base de: Tipo F (0,56 m ó 0,82 m) o New Jersey (0,61 m).

3.1.1.8.2. LA PLATAFORMA

Se llama “plataforma” a la superficie visible de una vía formada por su(s), calzada(s), sus banquetas, los sobrecanchos de plataforma (SAP) y su mediana, en caso de existir esta última como parte de la sección transversal tipo.

El ancho de la plataforma será entonces la suma de los anchos de sus elementos constitutivos, cuyas características se definen en esta sección.

Casos especiales de plataforma son aquellas de las carreteras unidireccionales con calzadas independientes y las correspondientes a caminos sin pavimentar. En el primer caso, la vía tendrá dos plataformas independientes. En el segundo, calzadas, banquetas y sobrecanchos configuran un todo único no diferenciable a simple vista.

La altimetría de la plataforma está dada por el perfil longitudinal de la rasante y por la inclinación transversal de sus elementos.

La plataforma puede contener algunos elementos auxiliares, tales como barreras de seguridad, soleras, iluminación o señalización.

En las Figuras 3.1_22 (*SECCIÓN TRANSVERSAL DOBLE CARRIL*) (*Ver Anexo II*) y 23 (*SECCIÓN TRANSVERSAL CALZADA ÚNICA EN CURVA*) (*Ver Anexo II*) se ilustra la plataforma. En la *Tabla 3.1_33* se presenta un resumen en el que se indican anchos totales de la Plataforma en Terraplén, según los elementos que la constituyen. Todo ello en función de la Categoría según la Clasificación Funcional y la Velocidad de Proyecto correspondiente. En Caminos Locales y de Desarrollo los anchos de pistas y banquetas se seleccionarán considerando los volúmenes de demanda esperada y la dificultad topográfica del emplazamiento. El uso de los anchos mínimos deberá contar con la autorización expresa del MOPC.

A. LA CALZADA

La calzada es una banda material y geoméricamente definida, de tal modo que su superficie pueda soportar un cierto tránsito vehicular y permitir desplazamientos cómodos y seguros de los vehículos.

La calzada está formada por dos o más carriles. Un carril será entonces cada una de las divisiones de la calzada que pueda acomodar una fila de vehículos transitando en un sentido.

Divididas o no, las carreteras están provistas de uno, dos o más carriles de circulación por sentido y excepcionalmente, de un solo carril habilitado para la circulación en ambos sentidos, con paradas o refugios estratégicamente ubicados a lo largo de la vía, para permitir las operaciones de adelantamiento o el encuentro seguro de dos vehículos en sentidos opuestos.

Se debe tomar nota que el carril es la unidad de medida transversal para la circulación de una sola fila de vehículos, siendo el ancho de la calzada o superficie de rodamiento, la sumatoria de los carriles, a la que también se hace referencia en la clasificación de las carreteras. Para ofrecer las mejores condiciones de seguridad y comodidad para los usuarios, la superficie de rodamiento de las carreteras debe ser plana y sin irregularidades, resistente al deslizamiento y habilitada para la circulación del tránsito bajo todas las condiciones climáticas previsibles.

En el caso de carreteras o caminos con calzada bidireccional de dos carriles, cada una de ellas podrá ser utilizada ocasionalmente por vehículos que marchan en el sentido opuesto, en el momento en que éstos adelanten a otros más lentos.

A1. Anchos de calzada y plataforma

Existe una clara y comprobada relación entre el ancho del carril, el ancho utilizable de las banquetas o la ubicación de las obstrucciones laterales y la capacidad de las carreteras, según los resultados que muestra la *Tabla 3.1_34* adjunta.

Los datos mostrados en el cuadro son calculados para flujos ininterrumpidos del tránsito, con un nivel de servicio B y pavimentos con estructuras de alta calidad.

Entiéndase por capacidad ideal en ese cuadro, la que corresponde a carriles de 3,6 metros con obstrucciones laterales a un mínimo de 1,8 metros. Las usuales restricciones laterales se refieren a muros de contención, cordones de puentes, postes para instalaciones de servicios públicos, vehículos estacionados al lado de la vía, anclaje de cables y cualquier elemento físico instalado al lado de la vía. La existencia de banquetas continuas de suficiente amplitud, tiende a alejar la colocación de restricciones laterales como las indicadas.

De la información insertada en este cuadro, se puede apreciar la manera sensible en que la falta de banquetas disminuye la capacidad de una carretera típica de dos carriles, en un 30 por ciento cuando el ancho de carril es de 3,6 metros y en un 42 por ciento cuando el ancho de carril disminuye a 3,0 metros. Experiencias en países sub-desarrollados, también han indicado que para carriles de 3,0 metros de ancho, la velocidad relativa disminuye en un 15 por ciento. Disminución de capacidad significa mayores posibilidades de accidentes en situaciones azarosas del tránsito.

Tabla 3.1_34. EFECTO COMBINADO SOBRE LA CAPACIDAD IDEAL, DEL ANCHO DE CARRIL Y LA UBICACIÓN DE LAS RESTRICCIONES LATERALES

ANCHO ÚTIL DE BANQUINAS U OBSTRUCCIÓN LATERAL	PORCENTAJE DE CAPACIDAD (%) EN RELACIÓN A LA DEL CARRIL DE 3,6 m		
METROS	3,6 m	3,3 m	3,0 m
CARRETERAS DE DOS CARRILES			
1,8	100	93	84
1,2	92	85	77
0,6	81	75	68
0	70	65	58
CARRETERAS DE CUATRO CARRILES SIN MEDIANA			
1,8	100	95	89
1,2	98	94	88
0,6	95	92	86
0	88	85	80

Fuente: AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1.994.

A2. Anchos de los carriles

La *Tabla 3.1_34* muestra también que la selección del ancho de los carriles es una decisión que tiene incidencia determinante en la capacidad de las carreteras. Como parámetro de referencia durante el diseño, se debe tener presente la estructura del tránsito proyectado, que a su vez y en la medida de la importancia relativa del tránsito pesado dentro del mismo, hará necesario que la dimensión de cada carril sea habilitada para que los camiones y las combinaciones de vehículos de diseño, con 2,6 metros de ancho, se puedan inscribir cómodamente y a las velocidades permisibles, dentro de la franja de circulación que les ha sido habilitada.

En el ambiente vial nacional, un ancho de carril de 3,6 metros se considera como el ideal para las condiciones físicas más exigentes de la vía y el tránsito, en coincidencia con las normas norteamericanas vigentes, variando según el tipo de carretera hasta un mínimo tolerable de 2,7 metros en caminos rurales de poco tránsito.

El ancho de carril de 3,6 metros es deseable para las carreteras de la red principal, de manera que una calzada de dos carriles con 7,2 m ofrecerá óptimas condiciones para la circulación

vehicular. Cuando haya restricciones en el derecho de vía, el carril de 3,3 m se considerará recomendable; en tanto que el carril de 3,0 m de ancho es aceptable únicamente en el caso de vías diseñadas para baja velocidad. Se admite el uso de carriles de 3,3 m en la parte interior de autopistas y hasta 3,9 m en los carriles exteriores, para permitir más comodidad y seguridad a los vehículos lentos y a las bicicletas. En el diseño de carriles contiguos y de doble sentido de circulación, en el centro de la sección transversal para facilitar los giros a izquierda, los anchos recomendables varían entre 3,0 y 4,8 m.

Los carriles de aceleración y deceleración, al igual que los carriles adicionales para ascensos y descensos, determinados por el alineamiento vertical de las carreteras con porcentajes significativos de vehículos pesados en la corriente del tránsito y bajas velocidades, deberán disponer de un ancho mínimo de 3,3 m.

En lo que corresponde a la superficie del pavimento de la calzada, ésta estará determinada por el volumen y la composición del tránsito, las características del suelo y del clima, la disponibilidad de materiales y el costo durante todo el ciclo de vida del proyecto. Los pavimentos con superficie de rodamiento de alta calidad, ofrecen una superficie tersa, buenas cualidades anti-deslizantes y bajo costo de mantenimiento, por la perfección del diseño y el estricto control de calidad de los productos utilizados.

Los de calidad intermedia varían desde los tratamientos superficiales bituminosos hasta pavimentos asfálticos de alta calidad, pero sometidos a menores controles para reducir costos. Las superficies de baja calidad se presentan en carreteras con superficies de grava, suelos estabilizados o tratados químicamente y simple material selecto compactado.

A3. Bombeos

La pendiente transversal de una carretera de primera clase con dos carriles en tangente, debe ser de 1,5% a 2,0% del centro de la sección hacia fuera. Cuando existan más de dos carriles por sentido, cada carril adicional irá incrementando su pendiente transversal entre 0,5% y 1,0%.

En áreas de intensa precipitación pluvial, la pendiente de los carriles centrales puede incrementarse a 2,5%, con un medio por ciento incremental en los carriles contiguos hacia fuera, pero sin superar un 4,0%. El uso de este bombeo incrementado debe ser analizado desde el punto de vista de la velocidad de operación y de los efectos negativos sobre el control del vehículo, tal como se discute más abajo. Para todas las demás condiciones, se debería utilizar un bombeo máximo de 2% en superficies pavimentadas. En zonas de precipitaciones intensas donde se utiliza el bombeo máximo, se debe considerar el uso de ranurados o mexclas abiertas para ayudar al agua a salir más fácilmente de la interfase pavimento – llanta.

Sin embargo, una sección transversal no debería superar un bombeo de 3% en tangentes, a menos que existan 3 o más carriles en cada sentido de viaje. En ningún caso el bombeo de un carril exterior y/o de un carril auxiliar será menor que el bombeo del carril adyacente.

El uso de bombeo mayor a 2% en carreteras pavimentadas de alta velocidad no es recomendable. En maniobras de rebase los conductores cruzan reiteradamente la corona de la plataforma y tienen que lidiar con un cambio de pendiente mayor a 4%. La curva del camino de retorno del vehículo que rebasa causa una inversión en la dirección de la aceleración lateral que es además exagerada por el efecto de la inversión de los bombeos. Los camiones con centro de gravedad alto que cruzan la corona pueden balancearse lateralmente cuando están viajando a alta velocidad, haciendo más difícil mantener el control.

Para carreteras con superficie de calidad intermedia, la pendiente transversal desde la cresta de la sección puede variar entre 1,5% y 3,0%, en tanto que las carreteras con superficie de rodamiento de baja calidad, el rango de pendiente transversal puede fijarse entre 2,0% y 4,0%.

No se estimula el uso de secciones parabólicas para conformar la pendiente transversal de una carretera de cuatro carriles, debido a que la caída del borde exterior del pavimento es muy acentuada y aunque conveniente para efectos del drenaje, puede ser incómoda para la conducción vehicular.

Los rangos de bombeos discutidos previamente pertenecen principalmente a superficies pavimentadas. Para superficies no pavimentadas deberían utilizarse bombeos mayores.

En el cuadro siguiente se muestran los bombeos recomendables para carriles simples de cada tipo de superficie.

Tabla 3.1_35.

Tipo de Superficie	Rango de Bombeo para un Carril Simple (%)
Pavimentada	1,5 – 2
No Pavimentada	2 – 6

Debido a la naturaleza de los materiales de superficie y a sus irregularidades, las superficies no pavimentadas como tierra, grava o piedra triturada necesitan un bombeo mayor en tangentes para prevenir la absorción de agua en el material de superficie. Por lo tanto, se pueden utilizar bombeos mayores que 2% en este tipo de superficies.

Donde se diseñan carreteras con bordillos exteriores, no se recomiendan los valores menores de la tabla anterior debido a la probabilidad mayor de que se reúna una película de agua en una parte sustancial del carril adyacente al bordillo. Para cualquier intensidad de lluvia, el ancho del carril que resulta inundado varía con el valor del bombeo, rugosidad de la cuneta, frecuencia de los puntos de descarga, y pendiente longitudinal. En algunos casos, un bombeo superior a 1,5% es necesario para limitar la inundación hasta aproximadamente la mitad del carril exterior. Se recomienda un bombeo de 1,5% como un valor mínimo práctico para pavimentos con bordillo. Bordillos con secciones de cuneta adyacente más empinadas pueden permitir el uso de bombeos menores.

B. LA BANQUINA

Las Banquinas, son las franjas de carretera ubicadas contiguas a los carriles de circulación y que, en conjunto con éstos, constituyen la corona o sección comprendida entre los bordes de los taludes. Sus funciones principales y las cuales justifican su implementación son:

- i) Proveer espacios para acomodar los vehículos que ocasionalmente sufren desperfectos durante su recorrido. Si los anchos de banquina son cortos, se constata un defecto en los mismos, ya que los vehículos en problemas se ven invitados a invadir los carriles de circulación, con riesgos para la seguridad del tránsito
- ii) Dar estabilidad estructural a los carriles de circulación vehicular por medio del confinamiento
- iii) Permitir los movimientos peatonales en ciertas áreas donde la demanda lo justifique
- iv) Proporcionar el espacio lateral libre suficiente para la instalación de las señales verticales de tránsito

B1. Anchos de banquetas

La continuidad de las banquetas debe ser mantenida a lo largo de la carretera donde la topografía lo permita; en caso contrario y en correspondencia con la altura de los taludes de los terraplenes, deberán instalarse postes guías o barreras de seguridad tipo flex-beam, con separación mínima de 1,2 m del borde externo de los carriles, tomando en cuenta el correspondiente ancho para la raya de pintura blanca reflectiva, que de igual forma se aplicará en la banquina exterior.

Donde haya que acomodar ciclistas, es aconsejable ampliar las banquetas a 1,2 m de ancho mínimo. Para las carreteras colectoras, este mínimo se puede ampliar a 1,5 m.

Puesto que por otra parte es recomendable que un vehículo estacionado o en reparación despeje el carril exterior a una distancia comprendida entre 0,3 y 0,6 m, se ha recomendado que la banquina exterior alcance una sección de 3,0 m en las carreteras de alto desempeño, para dar refugio a un vehículo pesado de 2,6 m de ancho, reduciéndose a 2,5 m dicho requerimiento, si el propósito es proteger un automóvil cuyo ancho de diseño es de 2,1 m.

Para las autopistas se recomienda un mínimo de 2,5 m de ancho de banquina exterior, siendo admisible reducir dicho requerimiento hasta 1,8 m.

En resumen, para las carreteras de la red nacional, donde no se han reconocido suficientemente las ventajas de la provisión de banquetas de anchos adecuados, por una economía en costos de inversión, se propone la adopción de los anchos mínimos que señala la *Tabla 3.1_36* presentada a continuación. El ancho de las banquetas se determina en función de la clasificación de la carretera y del tipo de terreno que cruza. En carreteras de las clasificaciones principales, en lo posible, el ancho de las banquetas debe prever el ensanche futuro del pavimento, sin necesidad de ampliar el volumen del movimiento de tierras.

Tabla 3.1_36. ANCHOS MÍNIMOS DE BANQUINAS Y ACERAS

Tipo de Carretera	Acceso	Ancho de Banquinas (m)		Ancho de Aceras (m)
		Internos	Externos	
Autopistas	Controlado	1,0 - 1,5	1,8 - 2,5	
Multicarriles Suburbanas	-	1,0 - 1,5	1,8 - 2,5	1,2 - 2,0
Multicarriles Rurales	-	0,5 - 1,0*	1,2 - 1,8	-
Dos carriles Suburbanas	-	-	1,2 - 1,5	1,0 - 1,2
Dos carriles Rurales	-	-	1,2 - 1,5	-

* Solamente con Medianera

En aquellos casos donde por circunstancias especiales no sea posible construir las banquetas con los anchos recomendados, deberá como alternativa proveerse en lo posible, refugios para vehículos cada 500 m a cada lado, provistos de sus secciones de transición tanto para el ingreso como para la salida de dichas instalaciones de emergencia.

B2. Pendiente transversal de las banquetas

Dentro de la práctica corriente de diseño de las banquetas, debe considerarse una pendiente máxima transversal del 5% dependiendo de la pluviosidad del lugar, empezando con un mínimo de 2%. Por tipo de superficie, las banquetas pueden tener pendientes transversales de 2% al 6% cuando se trata de banquetas asfaltadas o con concreto hidráulico, de 4% a 6% en banquetas revestidas de grava y de 8% en banquetas con vegetación. En curvas horizontales con sobreelevación, predomina el porcentaje de sobreelevación de la calzada. En las obras de arte no deberá variarse esta disposición.

Las banquetas deben ser revestidas para proporcionar un mejor soporte a la calzada y redondeadas en el borde exterior. El revestimiento puede ser de grava, de material estabilizado químicamente o consistir en un tratamiento superficial bituminoso, una mezcla asfáltica o un concreto hidráulico, según las características de la carretera y las demandas del tránsito.

C. SOBREANCHOS DE LA PLATAFORMA (SAP)

C1. Anchos del SAP

En lo posible, luego de realizar una valoración técnico económica de la implementación de la vía, con la conformidad del MOPC, la plataforma en terraplén tendrá siempre un SAP mínimo de 0,5 m, tal que permita confinar las capas de subbase y base de modo que en el extremo exterior de la banquina sea posible alcanzar el nivel de compactación especificado. Consecuentemente, en los 0,5 m exteriores del SAP no se podrá lograr la compactación máxima exigida por el resto de la plataforma por falta de confinamiento y riesgo por pérdida de estabilidad del equipo de compactación autopulsado.

Toda vez que el SAP tenga un ancho mayor que 0,5 m, el ancho adicional adyacente a la banquina deberá compactarse según las mismas exigencias especificadas para las banquetas.

En plataformas en corte, si la cuneta es revestida, se podrá prescindir del SAP como parte de la sección transversal, no obstante, al extender las capas de subbase y base se colocará inicialmente un sobreebanco de 0,5 m para poder compactar adecuadamente el borde exterior de las banquetas, material que se retira posteriormente para conformar la cuneta. Si la cuneta no lleva revestimiento la sección transversal debe considerar un SAP de 0,5 m, para separar las capas estructurales de las aguas que escurren por la cuneta.

Si la plataforma en terraplén aconseja la instalación de barreras de seguridad, salvo que se trate de Caminos Locales o de Desarrollo con $V_p \leq 50$ km/h, el ancho mínimo del SAP será de 0,8 m, con el objeto de anclar el poste a 0,2 m del extremo exterior del SAP y no invadir la banquina con la barrera.

En Carreteras con $VP \geq 90$ km/h el SAP será mayor que el mínimo para aumentar el espacio disponible para la señalización vertical, ya que el tamaño de las señales aumenta con la velocidad de proyecto. (Ver anchos del SAP en Tabla 3.1_33).

C2. Pendiente transversal del SAP

En la Tabla 3.1_37 se establece la pendiente transversal del SAP (is%), según las distintas situaciones posibles, tanto para calzadas bidireccionales como para las unidireccionales y en estas últimas, distinguiendo entre SAP exterior e interior.

Tabla 3.1_37. PENDIENTE TRANSVERSAL DEL SAP (is%)

SITUACIÓN	PENDIENTE TRANSVERSAL DEL SAP
EN RECTA	is SIEMPRE = - 10%
ZONA TRANSICION PERALTE	para $b \leq p \leq 0,0$; is = -10%
EXTREMO ALTO DE LA PLATAFORMA	Para $0,0 < p \leq 3\%$; is = - (10 - 2p)%
	para $p > 3\%$; is = - 4%
EXTREMO BAJO DE LA PLATAFORMA	para todo p ; is = - 10%
El is del SAP interior de las calzadas unidireccionales será de - 8%, salvo para $p > - 4\%$ en que is = - 4%.	

D. ACERAS

Donde hay abundancia de peatones, los volúmenes de tránsito son elevados y las velocidades permitidas son significativas (mayores de 60 kilómetros por hora), especialmente en sitios de circunvalación de poblados y ciudades, se recomienda que, al lado de los carriles exteriores, se construyan aceras o veredas para la circulación peatonal.

Como una recomendación general de aplicación, se deben construir aceras en las calles y en las carreteras que carezcan de banquetas, procurándose en este último caso que las aceras estén fuera de la pista de rodaje y, posiblemente, en los límites del derecho de vía.

Los datos de tránsito confirman que las aceras ofrecen un medio efectivo para reducir accidentes peatonales.

En áreas urbanas y suburbanas, debe existir una franja de un mínimo de 3.0 metros de ancho como espacio de amortiguación para la construcción de aceras y la instalación de servicios como alumbrado público, hidrantes, teléfonos, etc. Las aceras pueden variar entre 1.0 y 2.0 metros de ancho, con una franja verde separatoria de la pista principal de 0.6 metros de ancho, como mínimo. Cuando la acera se construya a la orilla del cordón de la cuneta, debe tener un ancho extra de 0.6 metros, para compensar la carencia de la zona verde de transición.

Se dan recomendaciones sobre el ancho mínimo de estas instalaciones en la *Tabla 3.1_36* ya citada.

E. CORDONES Y CUNETAS

Los cordones se usan extensamente en las carreteras urbanas y suburbanas, siendo su uso muy limitado, más bien nulo, en las carreteras rurales. Esto tiene que ver con la función que desempeñan dichos dispositivos, como son el control del drenaje, la delimitación del borde del pavimento, la determinación del borde de las aceras o de la zona de protección de los peatones o, simplemente, por razones de estética.

Típicamente los cordones se clasifican en montables y de barrera o no montables, según que tengan la altura y conformación apropiada para que los vehículos automotores puedan abordarlos o no.

Los cordones de barrera son relativamente altos y con la cara relativamente vertical, redondeados en su parte superior para reducir las aristas cortantes, con un radio de 1 a 2,5 centímetros. La altura de este cordón puede estar comprendida entre 15 y 22,5 centímetros. Los Cordones de barrera combinados con aceras de seguridad son muy útiles a lo largo de paredes altas y túneles, haciendo que el conductor se separe de dichos Cordones con beneficio para la seguridad del peatón.

En general, no se recomienda el uso de cordones de barrera en autopistas y en carreteras de alta velocidad, porque pueden ser causantes del vuelco de vehículos por impacto lateral. Si el propósito de colocar un cordón tal es prevenir que los vehículos se salgan de la calzada, debe pensarse más bien en el uso de barreras metálicas.

Los cordones montables, por su parte, son diseñados para que los vehículos puedan cruzarlos cuando así se requiera y sea permisible o cuando accidentalmente haya que pasar sobre ellos. Cuando la cara del talud del cordón es mayor de la relación 1:1, su altura debe limitarse a 10 centímetros o menos, pero si este talud se diseña entre 1:1 a 2:1, su altura puede ser incrementada a 15 centímetros. En algunas ocasiones los cordones se construyen con una porción vertical en la base de unos 2,5 centímetros, como previsión para futuros revestimientos del pavimento, aunque si la sección inclinada excede de una altura total de 15 centímetros, ya no se califica como un cordón montable. Los cordones montables son usuales en los bordes de las medianas en carreteras divididas y en las islas para canalización del tránsito en las intersecciones.

El ancho del cordón se considera como un elemento de la sección transversal fuera del ancho de los carriles, podría decirse que más bien debe estar situado a unos 0,3-0,6 metros del borde del carril en vías urbanas, y en el borde del hombro en carreteras rurales. Combinados con una sección de cuneta, los cordones pueden formar parte integral del sistema de drenaje superficial longitudinal de la carretera. El cordón-cuneta se instala normalmente cuando la carretera discurre en un ambiente urbano y suburbano, para encauzar las aguas hacia los sumideros y tuberías

de drenaje. La *Figura 3.1_ 24* (SECCIONES TÍPICAS DE CORDÓN-CUNETTA EN CARRETERAS) (*Ver Anexo II*) ilustra las descripciones dadas.

Reconocedores de estas condiciones para el uso de uno u otro tipo de cordón, en la práctica vial han preferido la colocación de cordón de barrera para delimitar la mediana central, en virtud de que los cordones montables han servido para la habilitación de cruces forzados por el uso frecuente y a la vez incómodo, en los sitios donde se ha intentado controlar tales maniobras.

F. LA MEDIANA O CANTERO CENTRAL

La mediana o franja separadora central es una franja de terreno localizada al centro de los carriles de sentido contrario en carreteras divididas, que puede construirse al nivel de la pista principal, o tener su sección transversal elevada o deprimida, siendo preferible esta última solución por su contribución al drenaje longitudinal en las autopistas y carreteras divididas, recomendándose en este caso particular que la pendiente de la mediana sea en la proporción 6 a 1, aunque una relación de 4 a 1 puede ser igualmente aceptable. Todos los sumideros de drenaje en la mediana deben construirse a ras del suelo y protegidos con parrillas, para que no se constituyan en peligrosos obstáculos para los vehículos descarriados.

Las medianas tienen las siguientes funciones principales:

- Separar físicamente los flujos de tránsito de sentido contrario
- Evitar o reducir el deslumbramiento durante la conducción nocturna, de los conductores de ambos sentidos de circulación
- Dotar a la carretera de un ancho de reserva para futuras ampliaciones, función que se le otorga una considerable importancia
- Embellecer la facilidad vial y mejorar la calidad ambiental de su entorno
- En situaciones especiales puede servir para la atención del movimiento peatonal

Tabla 3.1_38. ANCHOS DE MEDIANAS RECOMENDABLES PARA LAS CARRETERAS DE LA RED VIAL

Categoría de Carreteras	Ancho de Mediana (m)
Autopistas	4-8
Multicarril Suburbanas	4-6
Multicarril Rurales	2-6
Dos carriles Suburbanas	Sin mediana
Dos carriles Rurales	Sin mediana

En zonas rurales o de cordilleras el ancho mínimo de una mediana se puede reducir a 1,0 m, llegando en casos extremos a limitarse a 0,5 m, lo cual minimiza su participación de los beneficios anunciados. La experiencia ha demostrado que las medianas pueden tener anchos hasta de 12 metros o más, para incrementar al máximo la sensación de separación e independencia de operación de las corrientes opuestas. Dentro de este elenco de opciones y con una visión práctica, se recomiendan los anchos que muestra la *Tabla 3.1_ 38* para aplicar a las carreteras del sistema regional del país.

Un ancho de 4,0 metros es suficiente para la construcción de un carril para giros a izquierda, con 3,0 a 3,5 metros para la franja de circulación y la dimensión restante para proveer un cordón mínimo separador, a la vez que protector. Además, se pueden permitir giros en U, desde luego que no con las ventajas que ofrecen las medianas mayores que alcanzan de 8 y 10 metros. Una mediana de 10 metros provee suficiente refugio transversalmente para el automóvil y el camión pequeño de diseño, que son los componentes más frecuentes en el tránsito, pero con un poco de limitaciones para el ómnibus de diseño. Ver la *Figura 3.1_ 25* (SECCIÓN TIPO EN RECTA DE VÍAS CON MEDIANERA) (*Ver Anexo II*) de la sección tipo con medianera, en tangente.

G. CARRILES AUXILIARES COMPLEMENTARIOS

G1. Paradas de Ómnibus

De acuerdo con el tipo de Camino o Carretera, la intensidad del tránsito y la frecuencia prevista para el uso de paradas, estas podrán proyectarse en la banquina o fuera de ella. Normalmente, toda vez que la velocidad de proyecto de la carretera supere los 70 Km/h, la parada deberá, preferentemente, construirse fuera de la banquina.

Las paradas deben localizarse en zonas que aseguren una visibilidad de parada igual o mayor a 1,5 veces la correspondiente a la velocidad de proyecto de la carretera. Esto deberá cumplirse tanto para el acceso como para la salida del sitio donde se para.

En zonas de intersección la parada no deberá obstaculizar el triángulo de visibilidad requerido desde cualquiera de las vías que concurren a la intersección. Si ello no es posible de lograr, la vía secundaria deberá regularse con un signo PARE.

Debe evitarse su localización en curvas porque producen un efecto óptico perjudicial para el resto de los usuarios del camino, especialmente cuando quedan en el lado exterior de la curva, y si están en el lado interior de la curva obstruyen la visibilidad.

No se aceptarán paradas enfrentadas cuando se trate de vías bidireccionales. La distancia mínima a que pueden quedar es de 100 m, entre los puntos terminales, y siempre el del lado izquierdo antes que el del lado derecho, considerando la dirección del avance del tránsito.

Las paradas no deben ubicarse en tramos con pendientes mayores que 4%, salvo casos especiales que requerirán la aprobación de la Dirección de Vialidad. En lo posible deberán estar ubicadas en puntos bajos de curvas cóncavas.

G.1.1. Paradas de Ómnibus en la Banquina

En Caminos Locales y de Desarrollo la parada podrá diseñarse sobre la banquina, para lo cual se adoptará la disposición y dimensiones que se indican en la Figura 3.1_26 (PARADAS DE ÓMNIBUS SOBRE LA BANQUINA) (Ver Anexo II).

G.1.2. Paradas de Ómnibus Fuera de la Banquina

En Caminos Colectores y Carreteras Bidireccionales las paradas se deberán diseñar respetando la disposición y dimensiones que se indican en la Figura 3.1_27 (PARADAS DE ÓMNIBUS FUERA DE LA BANQUINA VÍAS BIDIRECCIONALES Y COLECTORES) (Ver Anexo II).

Si el Camino Colector o la Carretera Bidireccional poseen calzadas unidireccionales, la parada deberá diseñarse en conformidad con lo que se indica en la Figura 3.1_28 (PARADAS DE ÓMNIBUS FUERA DE LA BANQUINA) (Ver Anexo II).

G.1.3. Paradas de Ómnibus en Intersecciones Canalizadas

Cuando la parada se requiera en una intersección canalizada, el punto de detención deberá localizarse después del cruce, según el sentido de avance del tránsito, iniciando la pista de entrada 10 m más delante del punto de tangencia de la curva de salida del ramal. Ver inciso a) de la Figura 3.1_28 (PARADAS DE ÓMNIBUS FUERA DE LA BANQUINA) (Ver Anexo II).

Si se trata de un camino con calzada única bidireccional, se empleará el dispositivo del inciso a) pero modificando la cuña de salida según se define en la Figura 3.1_27 (PARADAS DE ÓMNIBUS FUERA DE LA BANQUINA VÍAS BIDIRECCIONALES Y COLECTORES) (Ver Anexo II).

G.1.4. Longitud de la Parada de Ómnibus propiamente tal

Considerando que la longitud máxima reglamentaria de los Ómnibus es de 13,2 y 14,0 m, se desarrollarán paradas con un largo útil de 15 m. Si la frecuencia de parada de Ómnibus pudiese llegar a ser de dos en forma simultánea, el largo del sector de estacionamiento se llevará a 29 m según el Tipo de Ómnibus.

G2. Pistas de frenado

En trazados que presenten longitudes considerables en pendiente de bajada, que iguallen o superen el 5%, puede ser necesario diseñar Pistas de Frenado que en casos de emergencia tienen por objeto forzar la detención de un vehículo al que le ha fallado el sistema de frenos.

Por lo general la falla del sistema de frenos se produce en los Vehículos Pesados cuando el conductor en vez de controlar la velocidad en las bajadas, empleando la capacidad de retención del motor hace un uso prolongado de los frenos, lo que produce un recalentamiento de los elementos de frenado, y el sistema deja de operar. Esta situación se asocia normalmente a pendientes sostenidas de 3 a 4 Km de largo, pero puede producirse antes si el conductor emplea mayoritariamente los frenos, en vez de controlar la velocidad en mayor medida con la capacidad de retención del motor. También puede darse en vehículos sobrecargados respecto de la potencia del motor.

Los camiones modernos poseen además un dispositivo denominado “Freno Motor”, que permite aumentar el efecto de retención del motor sin tener que enganchar en marchas demasiado bajas que sobrecargan la caja de cambios.

En consecuencia, los conductores experimentados pueden enfrentar bajadas pronunciadas empleando al mínimo el sistema de frenos.

A modo indicativo se citan a continuación Coeficientes de Retención Cr, por oposición al rodado (deformación de los neumáticos y roces internos) y por efecto del enganche del motor o “freno motor” más oposición al rodado, todos los que se expresan como el efecto de una pendiente de subida en m/m.

Tabla 3.1_39. COEFICIENTES DE RETENCIÓN Cr (m/m)

POR OPOSICIÓN AL RODADO	
Camino Pavimentados (Sin Efecto del Motor)	0,010
Grava Compacta (Sin Efecto del Motor)	0,015
ENGANCHE MOTOR + OPOSICIÓN AL RODADO	
Enganche en Marchas Altas (Pavimento)	0,020
Enganche en Marchas Intermedias	0,040
Enganche en Marchas Muy Bajas (Pavimento)	0,060 a 0,080

Marchas Altas debe entenderse aquí como aquellas usadas para circular a velocidades altas en condiciones normales.

G3. Ciclovías

En primer lugar, es necesario distinguir entre carriles para bicicletas y ciclovías.

Carriles para Bicicletas son carriles exclusivos marcados adyacentes a carreteras. Pueden estar entre la vereda y los vehículos en movimiento o entre los vehículos estacionados y los vehículos en movimiento. Los vehículos motorizados no deben conducir, estacionar o detenerse en el carril para bicicletas.

Una Ciclovía es un carril para bicicletas exclusivo que tiene elementos de separación física del tránsito de vehículos motorizados. Puede estar ubicado dentro o al lado de la carretera, pero se distingue tanto de la vereda como de la carretera por barreras verticales o diferencias de elevación, así como las marcas del pavimento o su color generalmente rojo o granate. Un carril para bicicletas se convierte en ciclovía cuando posee separación vertical del carril de vehículos, de modo que se impide el paso de los vehículos al área de tránsito de las bicicletas.

La decisión de proyectar un carril para bicicletas o una ciclovía debería ser tomada en función de los criterios que se exponen en la tabla a continuación.

Tabla 3.1_40. DIAGRAMA DE OPCIONES DENTRO DEL ÁREA CONSTRUIDA DE LA CARRETERA

Diagrama para elección de ciclovía o carril de bicicletas				
Categoría del Camino	Máx. velocidad del tráfico motorizado (km/h)	Intensidad del tráfico motorizado (TMDA)	Intensidad del tráfico de bicicletas (Bici/día)	
			> 500	< 500
Calles Urbanas, Colector, Local, de Desarrollo	Velocidad peatonal o < 30 km/h	< 2500	Combinado con el tráfico	Calle sólo para bicicletas o ciclovía
		2500 - 4000		
		> 4000	Carril para bicicletas	
Autopista, Multicarriles y Dos Carriles	50 km/h	Irrelevante	Calle sólo para bicicletas o ciclovía	
	> 70 km/h		Calle sólo para bicicletas o ciclovía	

Fuente: Design manual for bicycle traffic. CROW 2000.

Los segmentos dimensionales son las dimensiones requeridas para un usuario específico en el perfil de las secciones transversales, estos valores se basan en el espacio mínimo que requiere un vehículo para desplazarse, llamando a este espacio envolvente dinámico. El valor del segmento dimensional ciclista / vehículo móvil es crítico, porque el comportamiento del tráfico de bicicletas es más difícil de predecir que el del tráfico motorizado, además el tráfico de bicicletas también es más vulnerable. La compensación necesaria entre una bicicleta y un vehículo motorizado en movimiento varía con la velocidad del vehículo. Para el diseño, un valor razonable (en metros) es la velocidad del automóvil (en km/h) dividido por 55. Eso equivale a 1,45 metros donde el tráfico motor va a 80 km/h. A continuación, se detallan los segmentos dimensionales mínimos para carriles de bicicletas y ciclovías.

La ciclovía se construirá en uno de los costados de la ruta ampliando la plataforma a partir del término del SAP que le corresponde al camino sin considerar ciclovía.

La *Figura 3.1_29 (SECCIÓN DE ESPACIO LIBRE PARA LA BICICLETA)* (Ver Anexo III) muestra los espacios mínimos que se deben disponer a la hora de proyectar una ciclovía.

La *Figura 3.1_29-B (UN EJEMPLO DE ESPACIOS PARA CICLOVIA BIDIRECCIONAL)* (Ver Anexo II), ilustra un caso de disposición del ensanche de la plataforma, y el ancho útil destinado a la ciclovía.

El diseño de ciclovías puede realizarse utilizando como texto de consulta el libro URBAN BIKE DESIGN GUIDE, National Association of City Transportation Officials (NACTO), Segunda Edición, 2014, (www.ocpcrpa.org/docs/projects/bikeped/NACTO_Urban_Bikeway_Design_Guide.pdf).

3.1.1.8.3. LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA INFRAESTRUCTURA

A. ASPECTOS GENERALES

En esta sección se incluirán las consideraciones a ser tomadas en cuenta para la concepción de aquellos elementos de perfil transversal que delimitan las obras de tierra en su cuerpo principal: terraplenes y cortes, determinando la geometría de estos.

Estos elementos son: la plataforma de subrasante, los taludes de terraplén, las cunetas y los taludes de corte, las obras de contención de tierras y las obras que se realizan en el suelo de cimentación de la carretera o camino.

Dado que en esta sección el alcance solo describe aspectos generales para dichos elementos que deben ser tomados en cuenta para la definición transversal de la vía en cuestión, el proyectista debe acudir a bibliografías específicas para obtener criterios y valores relativos a sus dimensionamientos prácticos.

Se hace notar que las inclinaciones de los taludes, de corte o de terraplén, medidas como razón entre sus proyecciones horizontales y verticales, dependerán casi únicamente de la naturaleza de los materiales de la zona, pudiéndose presentar grandes variaciones según sean las calidades de éstos, fundamentalmente en el caso de los cortes.

Ello hace imprescindible el concurso de especialistas para programar y ejecutar los estudios que permitan afinar las variables en juego: toda atención prestada a estos asuntos se verá generosamente compensada desde los puntos de vista de la economía y la seguridad de la obra.

B. LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA PLATAFORMA DE SUBRASANTE

La plataforma de subrasante es una superficie constituida por uno o más planos sensiblemente horizontales, que delimita el movimiento de tierras de la infraestructura y sobre la cual se apoya la capa de rodadura o las diversas capas que constituyen un pavimento superior. Además, incluye el espacio destinado a los elementos auxiliares como, banquetas, cantero central, cunetas de drenaje, etc.

Si el perfil es de terraplén, la plataforma de subrasante queda configurada por los materiales de la última capa del terraplén y su ancho será el de la plataforma (calzadas, banquetas, SAP y cantero central si lo hay), más el espacio requerido para el derrame de las tierras correspondientes a los materiales de subbase y base.

Si el perfil es en corte, la plataforma de subrasante queda constituida por la plataforma a nivel de rasante más el espacio requerido por las cunetas, que se generan a partir de los bordes externos del SAP y continúan con el talud iniciado en el extremo del mismo.

El ancho de la plataforma de subrasante será entonces la suma del ancho de la plataforma, más la proyección horizontal del talud interior y del fondo de las cunetas.

Si el perfil es mixto, la plataforma de subrasante estará configurado por una parte que se define según lo dicho para el caso de terraplén, y por otra que responderá a las características propias del corte. Puede ser conveniente regularizar la zona de apoyo correspondiente a este último, mediante rebaje adicional y posterior relleno con la última capa del terraplén.

La plataforma de subrasante puede contribuir al control de las aguas infiltradas cuando sus materiales y su compactación permitan la generación de una superficie relativamente impermeable con pendientes hacia el exterior, lo cual ayuda a preservar el cuerpo del terraplén, o el suelo de fundación, de las aguas infiltradas a través del pavimento y de las capas de base y subbase.

Lo anterior, sumado a la conveniencia estructural de mantener constante el espesor de las capas de base y subbase, obliga a mantener una pendiente transversal en la plataforma de subrasante que sea igual a la de la plataforma a nivel de rasante (pendiente común de carriles y

banquinas), la que se prolonga hasta los extremos de la subrasante, sin considerar los quiebres que presenta el SAP a nivel de rasante.

C. ELEMENTOS DE LA INFRAESTRUCTURA PARA SECCIÓN EN TERRAPLÉN

C1. Taludes de terraplén desde el punto de vista de su estabilidad

Cuando una carretera o camino se emplaza en terraplén, los materiales de éste provendrán de las excavaciones hechas en otros puntos del trazado o de yacimientos. En cualquier caso, las características de dichos materiales serán relativamente previsibles y por lo general se podrá anticipar la inclinación máxima admisible de los taludes en función de la altura de los terraplenes.

El diseño de taludes de terraplén, desde el punto de vista estructural, se encuentra en función del tipo de material que lo constituye y de los suelos sobre los que se fundan.

Cuando los materiales lo permitan, los taludes de terraplén con alturas inferiores a 15 metros tendrán una inclinación máxima de 1:1,5 (H:V).

Los taludes de terraplenes de alturas mayores que 15 m deben ser objeto de un estudio especializado, del cual surgirá su adecuada inclinación.

Si un terraplén debe cimentarse sobre suelos que presenten inclinaciones superiores al 20% o que estén constituidos por materiales inadecuados, se deberán considerar obras especiales para minimizar los peligros de deslizamiento o de asentamientos diferenciales excesivos.

En el primer caso, de laderas con pendientes pronunciadas, éstas deberán escalonarse, en el sentido normal o paralelo al eje de la vía, según si ellas son aproximadamente perpendiculares o paralelas a dicho eje. Ejemplo de lo primero es el cruce de un barranco y de lo segundo un trazado en media ladera. La huella y contrahuella de los escalones será variable, pero la primera debe tener al menos un ancho que permita la operación de la maquinaria en uso, y la segunda debe ser, en lo posible, múltiplo del espesor de una capa compactable.

En el caso de suelos de fundación con alto contenido de materia orgánica o muy compresible, éstos deberán ser retirados o tratados según sea el problema que los afecte.

C2. Taludes de terraplén desde el punto de vista de la seguridad vial

Taludes de terraplén con inclinaciones comprendidas entre 1:3 y 1:4 (V:H), se consideran “transitables”, es decir un vehículo que se salga de la plataforma puede en la mayoría de los casos descender por el talud sin volcarse y si en dicho trayecto y al pie del terraplén no existen obstáculos, siendo también que terreno presenta una inclinación menor o del orden de un 5%, en definitiva, el vehículo podrá ser detenido minimizando la severidad del accidente.

Taludes de terraplén con inclinaciones menores que 1:4 (V:H) se consideran “recuperables”, es decir el conductor tiene la posibilidad de redirigir el vehículo hacia la plataforma del camino. Lo anterior será tanto más cierto cuanto más tendido sea el talud; por ejemplo 1:6 (V:H), sin embargo, el tendido de los taludes de los terraplenes tiene un costo importante por el mayor movimiento de tierras requerido.

La ocurrencia de accidentes que impliquen la salida de un vehículo fuera de la plataforma de la ruta, aumenta entre otros factores en función del tránsito de la carretera o camino y si el sector bajo análisis se desarrolla en planta en recta o con curvas amplias, o si lo hace en curvas restrictivas cuyo radio esté comprendido entre el radio mínimo aceptable para la Velocidad de Proyecto de la ruta (V_p) y un radio correspondiente a V_p+10 Km/h.

Por otra parte, la severidad de los accidentes ocurridos en terraplenes con taludes no transitables (1:1,5 V:H), que no cuenten con Barrera de Contención, aumenta con la altura H del terraplén.

En consecuencia, el diseño de los taludes de terraplén por concepto de seguridad, en función de los factores mencionados, considerará dos alternativas: Taludes 1:1,5 y Taludes 1:3 (V:H); los que deberán emplearse con o sin Barreras de Contención, según sea el TPDA de la ruta y la altura H (m) del terraplén, empleando para ello la *Figura 3.1_30 (TALUDES DE TERRAPLEN EN FUNCIÓN DEL TRÁNSITO Y DE SU ALTURA Y CRITERIOS DE INSTALACION DE BARRERAS DE CONTENCIÓN)* (Ver Anexo II), misma que fue elaborada adaptando los conceptos planteados en el documento “Roadside Design Guide – AASHTO Enero 1.996”.

D. ELEMENTOS DE LA INFRAESTRUCTURA PARA SECCIÓN EN CORTE

D1. La cuneta lateral en corte

Cuando la vía discurre en corte, las aguas que sobre ella caen, o las que llegan a ella superficial o subterráneamente, no pueden ser eliminadas sino mediante su conducción hacia zonas donde ello es posible.

Esta conducción debe hacerse con la mayor rapidez, para evitar que las aguas fluyan sobre la plataforma o que se infiltren dañando la estructura. Para ello se recurre a las cunetas, a los subdrenes y a los colectores de aguas de lluvia.

Las primeras, situadas entre la plataforma y el talud del corte, recolectan las aguas superficiales. Si su profundidad es suficiente, también pueden dar cuenta en algunos casos, de las aguas subterráneas que amenacen las capas de base y subbase.

Los drenes sólo recogen aguas freáticas o infiltradas a través de la plataforma y de los taludes. Los colectores de aguas de lluvia se pueden considerar cuando la capacidad de la cuneta es insuficiente para evitar la inundación de uno o más carriles durante las precipitaciones de diseño.

Unos y otros dispositivos pueden ser usados combinadamente para cumplir con estas funciones, de tal manera que las excavaciones resulten razonables. (Véase las Figuras a y b en la *Figura 3.1_31 (DIVERSAS SECCIONES DE CUNETAS)* (Ver Anexo II).

Del mismo modo, cuando no se requiera drenaje profundo, los distintos elementos de las cunetas deben combinarse adecuadamente para resolver los problemas hidráulicos y de mecánica de suelos que las motivan, a la vez que para lograr una sección transversal de la carretera que tenga costo mínimo.

Los elementos constitutivos de una cuneta son su talud interior y su fondo, ya incluidos en la plataforma de subrasante, y su talud exterior. Este último, por lo general, se confunde con el del corte, pero se limita, con el propósito de completar la definición de la cuneta, a una altura que resulta de proyectar horizontalmente el borde exterior del SAP sobre dicho talud. Para los cálculos hidráulicos pertinentes al caso de inundaciones, este límite puede alcanzar el nivel del extremo de la calzada, si éste es superior.

En los Numerales que siguen se abordarán los taludes interiores, las profundidades y los fondos de las cunetas. También se reseñarán algunas secciones frecuentes de cunetas.

D.1.1. Talud Interior de Cunetas

El talud o pared interior de la cuneta se inicia en el punto extremo de la plataforma o borde exterior del SAP si la cuneta no tiene revestimiento, y en el borde exterior de la banquina si la cuneta lleva revestimiento, y se desarrolla, bajando con una cierta inclinación, hasta interceptar la plataforma de subrasante.

La inclinación mencionada dependerá, por condiciones de seguridad, de la velocidad de proyecto de la carretera o camino. Sus valores se tabulan en la *Tabla 3.1_40*.

Tabla 3.1_41. INCLINACIONES MÁXIMAS DEL TALUD INTERIOR DE LA CUNETA

Vp	Pie	V : H
Km/h	m / m	1 : nci
≤ 70	0,50	1 : 2
80 – 90	0,40	1 : 2,5
100	0,33	1 : 3
120	0,25	1 : 4

D.1.2. Profundidad de la Cuneta

La profundidad o altura interior de la cuneta “hc” se mide, verticalmente, desde el extremo de la plataforma hasta el punto más bajo de su fondo.

Esta dimensión depende de factores funcionales y geométricos. Si la cuneta es revestida, ella no podrá recoger aguas profundas, por lo que su profundidad quedará determinada, en conjunto con los demás elementos de su sección, por los volúmenes de las aguas superficiales a conducir.

En este caso, las aguas freáticas y/o las infiltradas a través de la plataforma deben ser recogidas mediante drenes enterrados si los materiales de la infraestructura y del suelo lo hicieran necesario. (*Incisos a y b de la Figura 3.1_ 31 (DIVERSAS SECCIONES DE CUNETAS) (Ver Anexo II)*).

Cuando la pendiente longitudinal lo permite, y si los caudales no son tan importantes como para exigir revestimientos, se puede profundizar la cuneta hasta un valor de “hc” que permita la salida de las aguas profundas hacia ella, preservando así los materiales de base, subbase y fundación de la carretera. En este caso, si “he” es el espesor de sus capas estructurales (base, subbase y pavimento), (hc – he) deberá tener valores mínimos, que dependen de la Intensidad de la lluvia de diseño, para el Período de Retorno seleccionado, de la zona y de la permeabilidad de los materiales de la infraestructura. Si estos últimos materiales son drenantes, los valores (hc – he) tenderán a ser los mínimos.

Si la cuneta del lado bajo de la curva está revestida y la subrasante posee baja permeabilidad, se deberá construir bajo ella un subdren tipo zanja o bien una colchoneta de geotextil rellena con material permeable (con o sin tubo drenante según el caudal que se deba evacuar, dren que deberá proyectarse con las pendientes y descargas adecuadas para evacuar el agua recolectada.

Cuando la plataforma de subrasante es relativamente impermeable y ella tiene una inclinación única, la profundidad de la cuneta del lado alto de la curva debe ser dimensionada con especial cuidado, puesto que el agua puede infiltrarse desde esta última y escurrir por dicha plataforma, causando graves trastornos (*Véase incisos de l Figura 3.1_ 31 (DIVERSAS SECCIONES DE CUNETAS) (Ver Anexo II)*). En estos casos se deberá disponer un subdren en el lado bajo de la curva, si la cuneta es revestida.

Esta posible función doble de las cunetas lleva a excavaciones mayores, pero en ciertos casos, la solución que ella representa es simple y definitiva.

D.1.3. El Fondo de la Cuneta

El fondo de la cuneta, transversalmente, tendrá la misma pendiente de la subrasante si se trata de cunetas trapezoidales, pudiendo también adoptar una forma triangular si se requiere excavar bajo la subrasante.

El ancho del fondo será función de la capacidad que quiera conferirse a la cuneta. Eventualmente, puede disponerse adyacente a la cuneta una banqueta si se requiere espacio de seguridad para caída de rocas. En tal caso, la cuneta puede presentar un fondo inferior para el agua y una plataforma al lado del corte a una cota algo superior, para el fin mencionado. Esta disposición resulta en oportunidades obligatoria para asegurar visibilidad de parada que de otro modo queda limitada por el talud del corte.

Si la cuneta es circular o triangular, el fondo lo constituye el punto más bajo de su sección y su ancho es nulo.

Longitudinalmente, el fondo de la cuneta deberá ser continuo, sin puntos bajos. Sus cotas y pendientes se deducen del perfil longitudinal del eje de la carretera, teniendo en cuenta, por lo general, una dimensión “hc” constante. Cuando esto se hace así, dicho perfil será paralelo al del fondo de la cuneta, salvo en los tramos de transición de peraltes. En estos tramos su profundidad puede necesitar retoques para cumplir la condición de continuidad. También puede ser preciso aumentar su pendiente, con respecto a la del eje de la vía, en zonas donde una rasante prácticamente horizontal pueda crear problemas hidráulicos.

Las pendientes del fondo de la cuneta pueden producir velocidades erosivas de los materiales de la misma, caso en el cual las circunstancias de diseño cambian según lo dicho en el Numeral anterior.

Las pendientes longitudinales mínimas absolutas serán 0,25% para cunetas sin revestir y 0,12% para las revestidas, debiéndose procurar inclinaciones mínimas mayores (0,5% y 0,25%) siempre que ello sea posible.

D.1.4. Secciones Tipo de Cunetas

Es impracticable describir todas las secciones posibles de cuneta, porque las dimensiones de sus elementos pueden ser cualesquiera, del mismo modo que las posiciones de cada uno de ellos con respecto a los demás. Por otra parte, como ya se ha dicho, estas dimensiones están condicionadas por aspectos técnicos y de diseño que no es posible clasificar de una manera racional.

Sin embargo, existen secciones, cuya eficiencia está sancionada por la práctica, que corresponden a las ilustradas genéricamente en la *Figura 3.1_ 31 (DIVERSAS SECCIONES DE CUNETAS) (Ver Anexo II)*.

Las Figuras a, b y c corresponden normalmente a cunetas revestidas. En la primera, de sección circular, se ha aprovechado de mostrar un dren bajo ella. En la segunda, de sección trapezoidal, se muestra el mismo dren colocado en otra posición. La tercera corresponde a un caso extraordinario de sección reducida para velocidades de diseño no superiores a 50 Km/h.

En el Gráfico d se muestran cunetas trapezoidales, de profundidad “hc”. En el Gráfico e se muestran cunetas triangulares. La de la izquierda tiene una sección normal y la de la derecha contempla una plataforma, de un ancho “b”, para escombros del talud.

D2. Taludes de corte

La inclinación de los taludes del corte variará a lo largo de la obra según sea la calidad y estratificación de los suelos encontrados.

Dichas inclinaciones podrán ser únicas en un tramo del trazado, o bien presentar variaciones en un mismo perfil. Esto último en el caso de comprobarse las ventajas técnicas y/o económicas, o de otro tipo, de tal geometría.

Un talud de corte con más de una inclinación se puede dar en dos casos básicos. El primero, cuando la inclinación con la cual él se inicia, a partir del borde exterior del fondo de la cuneta, debe ser disminuida más arriba, tendiéndolo, al existir terrenos de inferiores características estructurales.

El segundo caso se presenta cuando se elige diseñar un talud de corte con bancos intermedios, por ser esta solución, en el caso estudiado, preferible a un talud más tendido, ya sea único o quebrado.

Un talud de corte puede presentar uno o más bancos. El primer escalón, contado desde abajo, queda definido por su ancho, por su pendiente transversal y por la altura entre su borde exterior y el de la cuneta, o entre el primero y el eje de la carretera, según aconsejen las conveniencias estéticas e hidráulicas en cada caso.

Los bancos pueden ser diseñados como permanentes, o transitorios si se prevé que ellos serán cubiertos con materiales desprendidos o derramados desde los siguientes. En ambos, los bancos deben tener un ancho mínimo que es función de las características geológicas del terreno.

Sus inclinaciones transversales deben ser del orden del 4%, vertiendo hacia la pared del corte si son permanentes y no superiores al 5(H): 1 (V), vertiendo hacia la plataforma, si son transitorios.

E. ALABEO DE TALUDES

En numerosos puntos del trazado se producen pasos de un talud a otro, debiéndose dar una transición adecuada para cada caso.

En las transiciones de cortes de más de 4 m, a terraplén, o de terraplenes de más de 4 m a corte, los taludes de uno y otro deberán tenderse a partir del punto en el cual la altura del corte o del terraplén llega a reducirse a 2,0 m. En todo caso, la longitud de la zona de alabeo no debe ser menor que 10,0 m.

La transición del talud del terraplén se ejecuta pasando, linealmente, desde este último al talud interior de la cuneta, que puede ser de 4:1; 3:1; 2,5:1 y 2:1. En el corte, la transición consiste en pasar desde su valor normal al 4:1, valor límite teórico en el punto en que su altura se hace nula (punto de paso).

Si los cortes o terraplenes tienen una altura máxima inferior a dos metros, o si la longitud total de ellos es inferior a 40 m, no es necesario alabear sus taludes en las transiciones. Si dicha altura máxima está comprendida entre dos y cuatro metros, el tendido deberá hacerse a partir del punto en que ella se reduce a la mitad, y la transición se ejecuta de igual manera que para terraplenes y cortes de más de 4,0 m.

Si el paso es de un talud a otro de la misma naturaleza, pero con inclinación distinta, el alabeo se dará en un mínimo de diez metros, cuidando que se realice en la zona de mejores materiales.

La parte superior de los taludes de corte (brocal) se deberá redondear tendiendo el talud, para mejorar la apariencia de sus bordes y para mejorar la estabilidad de los suelos superficiales normalmente menos consolidados que a mayor profundidad.

F. ESTRUCTURAS DE SOSTENIMIENTO DE TIERRAS

Cuando el espacio disponible para la ejecución de las obras de tierra no es suficiente para conferir a los taludes la inclinación deseable u obligada, puede ser necesaria la construcción de obras especiales que permitan contener los materiales que sin ellas serían inestables.

También pueden diseñarse estos elementos en casos en los que se desee proteger terraplenes de la acción de inundaciones o avenidas.

Para unos y otros casos, se puede recurrir a una gran variedad de estructuras, de uso habitual en ingeniería.

El proyectista deberá tener en cuenta, para estos casos, toda la gama posible de dispositivos, que reúne a los muros gravitacionales en su gran variedad de formas y materiales constitutivos los gaviones, las tablestacas, los muros de tierra mecánicamente estabilizada y a otros ingenios que, no siendo estructuras propiamente tales actúan como contenedores de tierras.

Entre estas últimas cabe mencionar los anclajes, los cosidos y las inyecciones de taludes de corte.

La elección del tipo de solución adoptada dependerá de una serie de factores, tanto económicos como estructurales y geométricos. A la vez, dicha elección condicionará el perfil transversal en la zona de aplicación, de una manera que el proyectista deberá mantener presente durante el proyecto.

3.1.1.8.4. OBRAS DE PROTECCIÓN DE TALUDES

Los taludes tanto de terraplén como de corte, están expuestos a los agentes erosivos naturales. De éstos, el más activo y frecuente es el agua. Ella cae directamente sobre sus superficies, o lo hace sobre las adyacentes que vierten hacia ellos. Si no se evita, el agua escurrirá por los taludes, con velocidades cada vez mayores según la altura, dañándolos y elevando los costos de mantenimiento de la obra.

Entre los elementos destinados a controlar y encauzar el flujo de las aguas para evitar daños en los taludes, y que deben proyectarse de acuerdo a los imperativos hidráulicos y de la mecánica de suelos que proceda, cabe mencionar, cordones, cunetas de pie de talud y cunetas de banquina. Las plantaciones en el talud confieren protección adicional o complementaria contra la erosión y en ciertos casos resultan indispensables.

Estos dispositivos serán abordados descriptivamente en la presente sección, limitándose la exposición a aquellos aspectos relativos a la sección transversal de la vía. Su dimensionamiento deberá ser resuelto de acuerdo a las circunstancias puntuales del proyecto.

A. LOS CORDONES

Los cordones son elementos que presentan una dimensión vertical y que pueden ser colocados en algún punto de la sección transversal de la plataforma, con propósitos varios.

El embellecimiento, la demarcación de la vía y la canalización de los vehículos mediante cordones que en zonas urbanas o suburbanas son finalidades atendibles, pierden gran parte de su vigencia en zonas rurales, en las cuales el propósito de éstas queda prácticamente reducido a evitar la caída de agua por los taludes de terraplenes altos, conduciéndolas hasta bajantes cuyos dimensionamientos, tipos y separaciones son objeto de estudios propios de cada caso.

Los cordones deben ser dispuestos en el SAP, firmemente adheridos a la banquina y cuidadosamente sellada la junta con esta última. Los cordones con cuneta o con zarpa pueden ser colocadas de tal modo que las partes de ellas que sean transitables o montables queden dentro del espacio reservado para la banquina.

B. LAS CUNETAS DE PIE DE TALUD

Se denominan “cunetas de pie de talud” a los canales laterales que discurren sensiblemente paralelos al pie de los terraplenes y que los preservan de las aguas que escurren superficialmente hacia ellos ya sea desde la carretera o desde el terreno adyacente.

Una cuneta de pie de talud puede estar dispuesta inmediatamente próxima al pie del terraplén si ello es necesario por exigencias de espacio y si no se temen socavamientos del mismo, pero normalmente se dejará un espacio libre de 1,0 m entre el pie del terraplén y el talud adyacente de la cuneta. En terraplenes bajos, una sección circular amplia para la cuneta puede añadir a la seguridad de los vehículos accidentalmente salidos de la plataforma.

Si se define una altura “ h_c ” mínima (Véase numeral 3.1.1.8.3 (D.1)), para mantener los materiales estructurales del camino libre de la acción de las aguas infiltradas y freáticas, ello implicará que cuando la rasante discurre próxima al terreno puede aparecer un corte de poca altura intermitentemente aun cuando los bordes de la plataforma o de la plataforma de subrasante se encuentren sobre el terreno natural. Estos casos han sido discutidos en los puntos D y E, numeral 3.1.1.8.3.

Por el lado exterior de la cuneta de pie de talud se debe dejar un espacio libre de al menos dos metros cuando la vía sea autopista o carretera primaria, para permitir la operación de los equipos de limpieza o como espacio de seguridad ante la posible instalación de servicios.

Las secciones de las cunetas de pie de talud serán preferentemente semicirculares, o bien, trapezoidales dependiendo de posibles condicionamientos geométricos para la sección transversal de la vía.

Estas cunetas deben ser profundizadas hasta una cota que quede al menos 0,50 metros por debajo del extremo más próximo de la plataforma de subrasante, y más aún si se prevén inundaciones prolongadas.

Las cunetas de pie de talud, por lo general vierten a cauces preexistentes. Es necesario tener en cuenta que los caudales desaguados pueden significar una importante alteración, aguas abajo del terraplén si ellos han de discurrir por cauces que antes funcionaban con un régimen muy distinto. En tales casos el proyectista debe considerar las obras de disipación y/o encauzamientos que sean necesarias.

C. LAS CUNETAS DE CORONACIÓN O CONTRACUNETAS

Las cunetas de banquina son canales que se disponen por sobre la cota de coronamiento del corte, con el fin de evitar la llegada de agua, a veces en cantidades importantes y casi siempre con arrastres, a los taludes de corte de una carretera, proveniente de superficies adyacentes que vierten hacia ella.

La sección transversal de la cuenta de banquina o el número de ellas se ajustará a los volúmenes de agua esperados y a la disponibilidad y tamaño de los equipos de excavación.

Estas cunetas pueden influir sustancialmente en los límites de obra. Esto porque la topografía generalmente obliga a alejarlas del coronamiento del corte o porque este alejamiento es necesario para evitar posibles derrumbes por infiltración.

Dependiendo de sus pendientes, las cunetas de banquina y sus bajadas pueden requerir revestimientos, e incluso disipadores de energía. Los efectos de las descargas sobre la propiedad y el dimensionamiento de las obras deben ser objeto de estudios específicos para cada caso.

3.1.1.8.5. REPOSICIONES DE SERVICIOS

La construcción de una carretera o camino, cuando se ejecuta en zonas habitadas puede afectar una serie de servicios o derechos, cuyas funciones y formas pueden ser interrumpidas o alteradas durante el período de las obras, para luego ser restituidas con plenas funciones, con o sin modificaciones de ubicación o magnitud. Eventualmente, un servicio o un derecho pueden ser anulados a raíz de la construcción. En este caso las compensaciones a que haya lugar deberán ser cotejadas con el costo de modificar el proyecto.

Las interferencias pueden ser de varios tipos, siendo las más frecuentes las que interesan a la propiedad, al paso de peatones o vehículos, al riego, a los abastecimientos de electricidad, agua alcantarillado, gas, teléfonos, fibra óptica y a otros tipos de líneas y tuberías.

Las obras de reposición de los servicios afectados pueden alterar la sección transversal normal de una carretera de manera significativa, especialmente cuando ellas se refieren a caminos laterales; por ejemplo, en carreteras con acceso controlado.

En la presente sección se describirán, en general, aquellos aspectos que el proyectista debe tener en cuenta para definir las secciones transversales de la carretera o camino, en aquellas zonas en las que aparecen obras de este tipo recordándose que para muchas de estas obras existen normas específicas de las entidades que las construyen, usan y atienden.

A. CAMINOS DE SERVICIO

Los caminos de servicio son vías auxiliares que discurren sensiblemente paralelas a las vías con control de acceso, y que sirven a este control y a la propiedad adyacente a la vez.

Ellos restituyen el acceso a la propiedad, limitado por la carretera a lo largo de su trazado y atienden a los desplazamientos locales. Interconexiones ocasionales de los caminos de servicio con la vía principal, frecuentemente en combinación con vías secundarias que la cruzan, permiten el desarrollo de sus zonas marginales sin afectar la condición de tener accesos controlados.

Los caminos de servicio pueden existir a uno o a ambos lados de la carretera o autopista, pudiendo ser de uno o dos sentidos, de acuerdo a los requerimientos de la zona afectada.

Sus secciones en recta deben considerar una plataforma mínima de seis metros cuando se prevean volúmenes superiores a los 50 veh/día, pudiendo reducirse a cuatro metros en caso contrario. La plataforma máxima, así como la existencia y tipo de pavimento en ella estarán determinados por las características específicas del proyecto.

Los caminos de servicio deben estar situados a una distancia mínima, del pie de los taludes, de 5,00 metros, medidos entre el pie del talud y el borde interior de la plataforma del camino de servicio.

Si la sección requiere cunetas de pie de talud o cunetas de banquina: lo más favorable es que ellas queden por fuera del camino, con lo cual sirven de protección a ambas vías. Sin embargo, si por alguna razón ellas fuesen proyectadas entre la vía principal y el camino, este último deberá distar a no menos de 2,00 metros del borde de dicha cuneta de pie de talud o cuneta de banquina y siempre a 5,00 ó más metros del referido pie de acuerdo a la exigencia que resulte mayor.

Si la sección contempla otras reposiciones, se debe preferir que ellas discurren por fuera del borde exterior del camino de servicio. Si ha de existir valla, ésta deberá ser situada en su borde interior asegurando el Control de Acceso.

Siempre que haya camino de servicio cuyo trazado sea adyacente a la vía, el límite de obra y el límite teórico de expropiación coincidirán y estarán constituidas por el borde exterior del camino en cuestión o de la obra que existe más afuera de él (cunetas de pie de talud, acequia, tubería etc.) salvo eventuales regularizaciones del límite de expropiación o previsiones para obras futuras (*Véase la Numeral 3.1.1.8.7*).

B. OTRAS REPOSICIONES DE SERVICIOS

Canales de agua, tuberías, líneas subterráneas, alcantarillado, etc. son obras que afectan al límite de obra y por lo tanto a la sección transversal de la carretera y a sus límites de expropiación.

Aquellas que discurran enterradas deben hacerlo a distancia suficientes de las obras de tierra de la vía principal como para que su mantenimiento no afecte y ni sea afectado, por el funcionamiento de ésta.

Se puede considerar como mínima, en casos favorables, una distancia de 2,00 metros entre cualquiera de estas obras y los pies de taludes de la carretera. Sin embargo, este mínimo debe ser revisado según sea la naturaleza de la reposición y las especificaciones que le correspondan según otras disposiciones vigentes.

Esta distancia de 2,00 metros puede anularse si existe camino de servicio y la reposición se hace por el exterior del mismo.

3.1.1.8.6. SECCIONES TIPO

A. SECCIONES TIPO NORMALES

La *Tabla 3.1_ 33* resume los anchos de las Secciones Tipo Normales de Carreteras y Caminos según su Categoría y Velocidad de Proyecto distinguiendo anchos de carriles, cantero central si corresponde, banquetas y SAP. Los elementos auxiliares de la sección transversal, tales como cunetas, cunetas de pie de talud, cunetas de banquina, etc. Según se define la categoría de la ruta y tipo de suelos en que esta se emplaza.

3.1.1.8.7. FRANJA DE DOMINIO

A. ASPECTOS GENERALES

A efectos de uso, defensa y explotación de las carreteras de la Red Vial, se establece que son propiedad del Estado los terrenos ocupados por las Carreteras en general, así como sus elementos funcionales.

Es elemento funcional de una carretera, toda zona pertenecientemente afectada a la conservación de la misma o a la explotación del servicio público vial, tales como las destinadas al descanso, estacionamiento, auxilio y atención médica de urgencia, pesaje, parada de ómnibus y otros fines auxiliares o complementarios.

B. ZONA DE AFECTACIÓN

Consiste en la franja de terreno a cada lado de la vía, incluida la banquina, de (50) cincuenta metros, medida en horizontal y/o perpendicularmente a partir del eje de la carretera.

En esta zona, no podrán realizarse obras, ni se permitirán más usos que aquellos que sean compatibles con la seguridad vial, previa autorización escrita y expresa en cualquier caso del MOPC de acuerdo al procedimiento establecido al efecto en el Reglamento.

El MOPC podrá utilizar o autorizar la utilización de la zona de afectación por razones de interés General o cuando requiera mejorar el servicio en la carretera, o así lo establezca la Ley de Concesiones y su reglamento.

A objeto de evitar ocupación ilegal de la zona de afectación de las carreteras de la red Vial de Carreteras, el MOPC ejercerá control permanente de las áreas de derecho de vía en las carreteras y en caso de ocupación o utilización ilegal procederá a la demolición de obras y desocupación del área afectada de acuerdo a procedimiento previsto al efecto.

La línea para poder efectuar edificaciones ajenas a la carretera será fuera de los 50 (cincuenta) metros a cada lado del eje de la vía.

C. EXPROPIACIONES Y SERVIDUMBRES

En caso de que en la zona del derecho de vía existan propietarios cuya data sea anterior al diseño de la carretera, el estado mediante el correspondiente trámite de expropiación liberará el derecho de vía para la ejecución de los trabajos de mejoramiento o construcción, a cuyo efecto asignará los recursos suficientes.

Si se establece técnicamente que no es necesaria la expropiación de determinadas áreas sino que estas sean sometidas a servidumbre, para que se haga efectiva dicha servidumbre, se procesará el trámite correspondiente.

3.1.1.8.8. INSTRUCCIONES Y CRITERIOS PARA OBRAS VARIAS

A. CERCOS

A1. Aspectos generales

El objeto de los cercos se puede clasificar principalmente bajo tres aspectos.

Cercos de Control de Acceso

Cercos de Propiedad

Cercos en el Cantero central.

A continuación, se describen brevemente cada uno de estos tipos de cercos.

A2. Cercos de Control de Acceso

Son cercos de propiedad del estado erigidos dentro del derecho de vía del camino para actuar como barreras físicas para impedir el acceso de las personas, animales y vehículos y en general para hacer observar los derechos reservados para el funcionamiento adecuado de Autopistas, Multicarril y Bidireccionales como función secundaria, este tipo de cercos pueden servir como cercos de propiedad.

A3. Cercos de Propiedad

Son estructuras erigidas a lo largo de las líneas que delimitan la faja de expropiación, o derecho de vía, respecto de la propiedad adyacente. Pueden ser construidos por el propietario o por el Fisco durante la construcción del camino, pero su mantenimiento corresponde siempre al primero.

A4. Cercos en el Cantero central

Son elementos de propiedad del estado los cuales están constituidos por un cerco de malla longitudinal para prevenir cruces indiscriminados a través del cantero central de vehículos o peatones. En general este tipo de barreras físicas no son deseables a menos que existan aquellas que se describen en a) y de existir aquellas normalmente no tienen sentido estas, salvo como control anti deslumbramiento.

Los cercos de propiedad también pueden ser de propiedad fiscal y en ese caso deberán cumplir, en general con las especificaciones impartidas por el MOPC.

A5. Tipos de cercos fiscales

Los siguientes serán los tipos de cerco que serán usados en las obras viales.

A.5.1. Tipo 5AP-N y 5AP-D

Cinco alambres de púas dispuestos en postes de madera. Adecuados para caminos Colectores, Locales y de Desarrollo.

A.5.2. Tipo 7AP-N y 7AP-D

Siete alambres de púas dispuestos en postes de madera. Adecuados para caminos Colectores y Carreteras Primarias con Control Parcial de Acceso.

A.5.3. Tipo 7AM-N y 7AM-D

Cerco de alambres de púas con malla en la parte inferior. Adecuados en las Autopistas, Multicarril y Primarios con Control Total de Accesos, en zonas con baja y media densidad poblacional.

A.5.4. Tipo S.M

Cerco de secciones de mallas metálicas, enlazadas. Las secciones de la estructura son corrientemente prefabricadas. Obligatorios en Autopistas y Multicarril en zonas de alta densidad poblacional, en especial en zonas suburbanas y enlaces.

A.5.5. Tipo T

Cerco de troncos rollizos.

A.5.6. Tipo P

Muro hecho de albañilería de piedras en seco.

Para los incisos (a), (b) y (c), los cercos Tipo N consideran un poste cada 3 m y los Tipo D consideran un poste cada 6 m con colocación de elementos distanciadores entre alambres, los distanciadores se fijan a cada hebra de alambre de púa insertando simultáneamente en ambos elementos, un trozo de alambre, al que luego se le doblan las puntas, para asegurar la fijación.

A6. Características de uso de los diversos tipos de cercos

No se instalarán cercos en los lugares en que existan muros o cercos a lo largo del derecho de vía y provean una barrera satisfactoria o cuando la violación de acceso es una posibilidad remota. Cuando sea necesaria su instalación, ésta se hará de acuerdo a la categoría del camino según las siguientes pautas:

A.6.1. Autopistas y Multicarriles

Deben usarse los tipos SM y 7 AM de acuerdo con el grado de control de acceso que tenga la carretera y el peligro de violación que exista.

A.6.2. Bidireccionales y colectores

Se usarán los tipos 7 AM y eventualmente 5AP en Colectores.

A.6.3. Locales y desarrollo

En estos caminos el proyectista podrá usar el tipo 5AP y eventualmente el Tipo T de troncos para aprovechar la madera que se pueda obtener en el desbroce y despeje de la faja o el tipo P cuando en el terreno abunden piedras sueltas, previa su justificación económica y con el objeto de reparar o completar pircas de piedra existentes.

A7. Ubicación de los cercos

En las Autopistas, Multicarriles y Caminos Primarios, si existen caminos de servicio, los cercos de Control de Acceso se ubicarán dentro del derecho de vía, de acuerdo al Gráfico incluido en el numeral 3.1.1.8.8 (A.10). En los otros caminos y demás situaciones, a lo largo de la línea demarcatoria de la faja de expropiación.

Los cercos de malla cuando se miran en forma oblicua, obstruyen la visibilidad, por lo tanto habrá que tener en cuenta este hecho cuando se proyecten cercos en intersecciones y curvas del camino.

A8. Portones

A.8.1. En Autopistas y Multicarriles

Se podrán construir portones únicamente para los siguientes fines:

- Para facilitar el mantenimiento de la vía.
- Para acceso de equipo de emergencia.
- Para acceso de instalaciones de utilidad pública cuando haya que incurrir en recorridos demasiado largos para el mantenimiento de dichas instalaciones.
- Cuando se provean portones en el diseño, éstos deben ser plenamente justificados con el informe respectivo.

A.8.2. Otros caminos

En éstos los portones se limitarán a uno por propiedad, en lo posible.

A9. Cantero central

En el cantero central pueden colocarse los cercos de malla tipo S.M por constituir ésta una efectiva barrera contra el deslumbramiento, no resultan adecuados por sí solos para controlar el movimiento de peatones y animales pues ellos no impiden el ingreso de estos a la calzada.

A10. Delimitación de la propiedad

El fisco construirá o pagará los cercos de delimitación de propiedad solamente como parte de costo del derecho de vía y estará limitado a:

La reconstrucción o reemplazo de cercos existentes.

La construcción de cercos a través de propiedad que ha estado previamente cercada en forma adecuada a las necesidades del predio, en caso contrario se aplicará solamente el criterio de acceso al camino de acuerdo a lo expuesto en el *numeral 3.1.1.8.8 (A.3)*.

B. BARRERAS DE SEGURIDAD

B1. Objeto

Las Barreras de Seguridad son elementos especialmente diseñados que se ubican convenientemente en las carreteras, con los siguientes objetivos:

- Prevenir accidentes delineando mejor el camino.
- Reducir la severidad de los accidentes, conteniendo y redireccionando los vehículos que chocan, hacia una dirección más segura.
- Reducir los accidentes por cruce del cantero central.

B2. Diseño y colocación

Las barreras se instalan en el SAP, en el cantero central, o en las aproximaciones de los puentes, y zonas en que existen obstáculos laterales En caminos de calzadas separadas pueden ser colocadas al centro, a la derecha o izquierda del cantero central de acuerdo a su justificación técnica, o bien a ambos lados del cantero central.

El estudio definitivo de los proyectos viales debe detallar el Tipo de Barrera a emplear, su localización y particularidades de instalación; todo ello en conformidad con lo expuesto en los documentos citados precedentemente.

No obstante, lo anterior se citan a continuación algunos criterios básicos fundamentales:

La sección inicial de la barrera deberá ser curvada hacia fuera y el extremo doblado para evitar que presenten un extremo anguloso hacia el tránsito que se aproxima.

En las barreras colocadas en curvas de radios inferiores a 500 m y en los sectores de menos de 60 m de largo, se deberán instalar dispositivos reflectores poste por medio.

En las curvas de radio mayor que 500 m o en las barreras de largo mayor de 60 m se colocarán dichos dispositivos en un poste de cada cuatro.

En los casos en que se dispongan delineadores reflectorizados en la parte exterior de las barreras, los dispositivos reflectantes pueden ser omitidos. Cuando la banquina del camino está provista de un cordón montable la barrera de cordón se colocará de modo que su superficie interna quede 0,05 m sobresaliendo del pie del cordón, independientemente del ancho de la banquina. Esto tiene por objeto evitar que el cordón actúe como trampolín impulsando el vehículo fuera del carril pasando por sobre la barrera. Cuando el cordón no es montable, la cara interior de la barrera debe estar a plomo con la faz interior del cordón. Si por alguna razón se desea colocar la barrera detrás del cordón el alto de la barrera debe aumentarse en el alto del cordón.

B3. Barreras de seguridad en la plataforma

La necesidad de barreras en la plataforma está generalmente, determinada por los siguientes factores:

- Altura y Talud del terraplén.
- Trazado.
- Ancho de la plataforma.
- Estadística de accidentes.
- Velocidad y volumen del tránsito.
- Visibilidad.
- Condiciones climáticas.

En el *numeral 3.1.1.8.8 (C.2)*, se establecen los criterios generales respecto del empleo de Barreras de Contención en función del TPDA de la ruta, altura y talud de los terraplenes radio de las curvas.

Los sectores que pueden presentar condiciones adversas de neblina, o sectores de camino con tránsito de alta velocidad o elevado volumen, justifican la consideración de barreras de seguridad.

Se debe estudiar la necesidad de barreras especialmente en los siguientes casos:

- Súbitas restricciones del ancho del camino.
- Curvas aisladas insertas en un tramo de trazado amplio (Trazados Existentes).
- Cepas y estribos de pasos superiores; muros de boca de obras de arte; árboles y otras obstrucciones permanentes

B4. Barreras de seguridad en aproximaciones a puentes

Se deberán colocar barreras en los extremos de todos los puentes.

B.4.1. Criterio de colocación

En carreteras multicarril con un cantero central que se prolonga a lo largo de la estructura, la barrera debe colocarse solamente a la derecha del tránsito que se aproxima. En caminos multicarril con estructuras separadas para cada dirección de tránsito, las barreras deben colocarse a derecha e izquierda del tránsito que se aproxima.

En caminos de dos carriles, la barrera se colocará a la derecha, solamente en los puentes que tengan un ancho superior al ancho del pavimento más 1,50 m. En los puentes de ancho inferior se colocarán barreras a ambos costados de la entrada.

B.4.2. Largo

La longitud de la barrera de acceso a los puentes depende de la diferencia de ancho entre los cordones del puente y las líneas exteriores de las banquetas.

B.4.3. Peatones

Si se espera que un número importante de peatones use las veredas del puente, éstas se deben proteger con barreras adecuadas.

B5. Barreras de seguridad en obstrucciones en autopistas y caminos primarios

Con el objeto de reducir la posibilidad de accidentes en los caminos mencionados deberán colocarse barreras en las obstrucciones que estén a menos de 3,5 m de la orilla del pavimento, tales como, postes de señalización, pilastras y estribos de pasos superiores y extremos de muros de sostenimiento de tierra.

C. SEÑALIZADORES Y DELINEADORES

Los señalizadores serán elementos que permitirán identificar y ubicar las obras de arte y drenaje.

C1. Alcantarillas

En el eje de estas estructuras se colocarán dos señalizadores uno en cada extremo siempre que sean fácilmente visibles desde la calzada en caso contrario deben colocarse adyacente a las banquetas.

Cuando coincida la ubicación de un señalizador de drenaje con la de los delineadores, aquél debe hacerse parte de la instalación. En este caso la separación de los delineadores se debe ajustar para dar cabida al señalizador de drenaje y si aquéllos se encuentran reflectorizados debe hacerse lo mismo con este señalizador.

C2. Drenes

En general un dren requiere un señalizador, colocado en el eje del ducto y opuesto a la salida. Se deben colocar señalizadores adicionales cuando los registros o cámaras no sean fácilmente ubicables.

Los señalizadores de drenaje se construirán de acuerdo a los planos tipo y deberán contener claramente marcadas las palabras Alcantarilla o Dren según sea el caso, además del kilometraje de la ubicación.

D. PARALELISMOS EN CAMINOS PÚBLICOS

Se entiende por "paralelismo" toda instalación u obra cuya conformación o emplazamiento requiera ocupar los terrenos de la faja vial de un camino público siguiendo el sentido

longitudinal de ella, dentro de sus líneas de cierres o entre las líneas oficiales establecidas por los planes reguladores en el caso de las calles o avenidas declaradas caminos públicos.

D1. Requisitos exigibles

Solamente se autorizará el uso de las fajas de los caminos públicos para los efectos de ejecutar instalaciones de paralelismos, si dichas instalaciones cumplen con los siguientes aspectos:

- » Que la instalación o tendido no se oponga al uso de los caminos públicos, sus fajas adyacentes, pasos a nivel y obras de arte, o al uso de túneles o puentes.
- » No afecten la estabilidad de las obras, la seguridad del tránsito o el desarrollo futuro de las vías.
- » No obstruyan o alteren el paso de las aguas.
- » No produzcan contaminación ni alteración significativa, en cuanto a magnitud o duración del valor paisajístico o turístico de una zona.
- » Que su otorgamiento sea posible teniendo en cuenta las instalaciones anexas ya autorizadas.

D2. Servicios facultados para solicitar autorizaciones

Existen disposiciones que facultan a ciertos servicios para utilizar bienes nacionales de uso público, como es el caso de las fajas de terreno de los caminos públicos, con sus instalaciones.

Sin embargo, este derecho debe ejercerse sin afectar el uso o finalidad principal de los caminos y cumpliendo las normas técnicas y reglamentarias correspondientes y en la forma y condiciones que el MOPC autorice.

En cada caso, las compañías interesadas en usar la franja de dominio de los caminos públicos deberán presentar ante el MOPC la respectiva solicitud de autorización, quien fijará la forma y condiciones de la misma.

D3. Presentación de solicitudes de paralelismos

Las solicitudes de autorización de paralelismos deberán cumplir con todos los requisitos establecidos en las disposiciones vigentes al efecto, documentos que podrán ser solicitados al MOPC.

Las solicitudes deberán ser presentadas por las personas naturales o jurídicas, Propietarias del paralelismo o por los concesionarios de tales instalaciones, y no por Contratistas de construcción, proyectistas, consumidores o beneficiarios de la misma.

E. ATRAVIESOS EN CAMINOS PÚBLICOS

Se entiende por “atravesado” toda instalación u obra constituida por conductos varios o líneas aéreas cuya conformación, disposición o emplazamiento requiera cruzar transversalmente los terrenos de la franja de dominio de un camino público definida por sus líneas de cierre o entre las líneas oficiales establecidas por los planos reguladores en el caso de las calles o avenidas declaradas caminos públicos.

A modo ilustrativo y sin que la enumeración sea limitativa, se mencionan a continuación varios ejemplos considerando los tipos de gases, líquidos y sólidos que por ellos se transportan.

Conductos de:

- Agua Potable.

- Aguas Servidas y/o Colectores de Aguas Lluvias.
- Desechos Industriales.
- Petróleo y Derivados.
- Gases y Vapores.
- Minerales.
- Productos Industriales.

En cuanto a líneas aéreas conducidas mediante un conjunto de postes, destinadas al transporte de energía o impulsos eléctricos, cabe mencionar:

- Líneas Eléctricas de Baja, Media o Alta Tensión.
- Líneas de Telecomunicaciones.
- Líneas Telegráficas.
-

Eventualmente las líneas de energía, telecomunicaciones y similares podrán requerir de atravesos para cruzar la faja fiscal mediante conductos.

E1. Requisitos exigibles

Son válidas las exigencias enumeradas en el *numeral 3.1.1.9.8, punto D*, reemplazando el concepto de “paralelismo” por el de “atraveso”.

E2. Servicios facultados para solicitar autorización

Son los mismos que se enumeran en el *numeral 3.1.1.9.8, punto D*.

E3. Presentación de solicitudes de atravesos

Las solicitudes de autorización de atravesos deberán cumplir con todos los requisitos establecidos en las disposiciones vigentes al efecto, documentos que podrán ser solicitados al MOPC.

Las solicitudes deberán ser presentadas por las personas naturales o jurídicas, propietarias del atraveso o por los concesionarios de tales instalaciones y no por Contratistas de construcción, proyectistas, consumidores o beneficiarios de los mismos.

3.1.1.8.9. TRATAMIENTO DE ZONAS MARGINALES

A. ASPECTOS GENERALES

A1. Objeto

El tratamiento de las zonas marginales de la carretera, que en el caso de los caminos unidireccionales incluye el cantero central, cumple propósitos funcionales y estéticos. Entre los primeros se destacan el control de la erosión, la arena, el control de los deslumbramientos, la amortiguación de los ruidos en zonas urbanas y el realzar los cambios de dirección del camino para orientar al conductor. El segundo propósito ha adquirido cada vez más importancia en las carreteras modernas, porque se ha comprobado que un trazado integrado al paisaje y con un conveniente desarrollo de los valores escénicos al hacer el viaje más placentero, disminuye el cansancio de los conductores, contribuyendo a la seguridad del camino. Por otra parte tiene importancia económica al aumentar el valor de los terrenos circundantes y contribuir el equilibrio ecológico, lo que por lo general, hace rentables las inversiones que se efectúan con dichos fines.

A2. Principios generales

Los objetivos perseguidos en el tratamiento de las zonas marginales se logran a través de un cuidadoso planeamiento que incluye las etapas de trazado, construcción, diseño de estructu-

ras, plantíos y establecimientos de zonas de esparcimiento y descanso. Nos referiremos a cada una en particular.

B. TRAZADO

B1. Selección del camino

En esta etapa es de gran ayuda la topografía aérea, la cual permite una clara apreciación de rutas alternativas en relación con las formas topográficas y el uso de la tierra. El proyectista trazará su ruta tratando de hacer el menor daño a la propiedad y aprovechará los predios que queden aislados, por carreteras de acceso restringido para crear zonas de descanso o desarrollar valores escénicos. Igualmente aprovechará los terrenos de poco valor agrícola para ensanchar el cantero central y plantar o preservar bosquecillos que intercepten el deslumbramiento causado por el tránsito en la calzada opuesta.

B2. Expropiaciones

En las zonas de riego, al efectuar las expropiaciones se deberá reservar para el Fisco los derechos de agua inherentes para aprovecharlas en los plantíos y cultivos propios del tratamiento de las zonas laterales y del cantero central.

B3. Alineamiento horizontal

La tendencia actual es evitar las rectas largas; pero al mismo tiempo trazar curvas sin un propósito definido no es recomendable. El alineamiento debe estar compuesto de suaves curvas que se adapten al terreno, como las que resultan de aplicar una regla flexible sobre la representación topográfica de la ruta. La curva que se presta mejor para este objeto es la clotoide o espiral de transición. Sin embargo, se usarán alineamientos rectos en las zonas planas donde no existan justificaciones culturales o naturales que hagan recomendable una desviación del trazado. No obstante, ello, al final de dichas rectas la primera curva deberá permitir una Velocidad Específica concordante con la V85% correspondiente.

En caminos de menor importancia se tratará de conseguir una buena adaptación al terreno que perturbe lo menos posible las formas naturales.

El alineamiento curvilíneo provee al usuario con un paisaje cambiante que lo releva de la monotonía y al mismo tiempo le evita, en los paisajes nocturnos, el deslumbramiento provocado por los faros, en forma prolongada.

El proyectista evitará las curvas en el mismo sentido unidas por una recta demasiado corta llamadas también de lomo quebrado, porque presentan un aspecto antiestético y crea problemas de transición del peralte. Por otra parte, no deberá vacilar en cambiar la ubicación de su trazado si con ello puede desarrollar una bonita vista o conservar características naturales como ser una ribera, o un bonito conjunto de árboles.

B4. Alineamiento vertical

Esta etapa del diseño no tiene importancia como el trazado en horizontal para los efectos estéticos de la carretera. La relación entre las pendientes y las curvas verticales están controladas, fundamentalmente, por las distancias de visibilidad mínimas requeridas por la velocidad de diseño. Sin embargo, es beneficioso para la apariencia del camino, adoptar radios de curvas verticales mayores que los estrictamente necesarios, especialmente en las curvas cóncavas, el largo de las cuales debe sobrepasar el determinado por el alcance de los faros en la noche. En todo caso la coordinación de la planta y el alineamiento vertical, deberá lograrse respetando las directrices especificadas en el presente documento, respecto a esta temática.

Las pendientes deben disminuirse en las intersecciones o en cualquier lugar donde se quiera inducir al conductor a levantar la vista del pavimento para mirar alrededor, como en el caso de una vista interesante, por ejemplo.

El proyectista recurrirá al arquitecto paisajista para los efectos de considerar la comodidad óptica de su proyecto que tiene relación con la Perspectiva Lineal del camino, el Campo de Visión Descansada y otros conceptos que se están desarrollando actualmente para hacer de las carreteras un elemento agradable, además de útil. En el caso que no se cuente con el concurso del especialista mencionado, podemos decir como norma general que una relación armónica entre los alineamientos verticales y horizontales, convenientemente integrados a la topografía dará como resultado, en la generalidad de las situaciones, un aspecto estéticamente aceptable.

B5. La sección transversal

B.5.1. . Banquinas

En los caminos en que las banquetas tengan tránsito ocasional o en los que las usen como cunetas, se recomienda pavimentarlas con un recubrimiento contrastante en color y textura. En las regiones húmedas, las banquetas cubiertas con césped sobre el estabilizado de grava que se especifica con fines estructurales, dan excelente resultado, tanto desde el punto de vista de las cargas ocasionales que debe resistir como desde el ángulo estético y de seguridad, por el buen contraste que ofrece con el pavimento.

B.5.2. Drenaje superficial

El diseño para el drenaje superficial ha cambiado fundamentalmente en los últimos años. En vez de las cunetas de pie de taludes laterales en V o trapezoidales, tan peligrosas para los vehículos que se salen de la calzada y difíciles de mantener, se recomienda diseñar anchos canales de poco fondo. Este tipo de cuenta de pie de talud lateral aparece a la vista del usuario como una depresión natural, la cual se recubre con césped. La manutención con segadoras mecánicas se hace fácil en atención a las suaves pendientes de los bordes del canal que se diseñan con taludes de 4:1 o menores.

Con el objeto de interceptar las aguas que bajan de las zonas adyacentes se construyen canales interceptores o contracunetas, como se les denomina, sobre los cortes. Los colectores para evacuar las aguas acumuladas por las cunetas de banquina cerro abajo, se pueden construir como canales revestidos con césped en los taludes menores de 4:1 y revestidos con albañilería de piedras en los mayores. A estas últimas se le puede dar una apariencia de torrente natural en las zonas de belleza rústica sin un mayor costo adicional. Cuando la inclinación y altura del corte obliguen al empleo de tuberías, éstas deben ir empotradas en el talud y ocultas a la vista, por razones de seguridad en el diseño que en este caso coinciden con los requerimientos de la estética.

B.5.3. Perfilado de los taludes

Del diseño de la sección transversal, es el perfilado de los taludes la parte que tiene más significación en el control de la erosión y en el aspecto de la carretera.

El ancho de las calzadas, banquetas y cunetas de pie de taludes laterales está determinado por normas, pero el talud de cortes y terraplenes debe ser estudiado para satisfacer las condiciones del lugar. Teniendo el espacio necesario, el diseñador preferirá los taludes tendidos sobre lo requerido por el ángulo de reposo de las tierras. Un talud suave reduce la probabilidad de erosión, permite el fácil asentamiento de vegetación, favorece el mantenimiento mecanizado del césped y en general produce una apariencia más natural y por lo tanto más agradable del camino.

Este mayor tendido de los taludes, puede ser obtenido económicamente a través de una buena disposición de costos con las barreras camineras, que se pueden suprimir cuando se tienen taludes de terraplén inferiores a 4:1 y la altura no supera los 4,0 m.

Los taludes tanto de cortes como de terraplenes se alabearán de acuerdo a lo establecido en el numeral 3.1.1.8.5 REPOSICIONES DE SERVICIO y los bordes se redondearán para

impartir de este modo una apariencia más natural al movimiento de tierras y al mismo tiempo reducir las posibilidades de erosión.

C. CONSTRUCCIÓN

C1. Especificaciones

La apariencia final de las zonas laterales del camino dependerá principalmente de la forma en que sean tratadas durante la construcción las características naturales o culturales existentes en el sitio, que sean dignas de ser preservadas. Para asegurar que este tratamiento no dependa del eventual interés que pueda tener la inspección o el constructor en la materia, el proyectista deberá apreciar en el terreno los trabajos a ejecutar y el modo en que se deben realizar para un debido tratamiento de las zonas marginales desde los puntos de vista funcional y estético, y consignarlos detalladamente en las especificaciones del proyecto.

C2. Yacimientos y depósitos

Las excavaciones necesarias para rellenos de tierra y los depósitos de los excedentes afectan el paisaje del camino por muchos años y muchas veces se convierten en fuente de accidentes para hombres y animales. En general, no se permitirán bancos de préstamo o depósitos a la vista desde el camino salvo que cumplan con los requerimientos que siguen:

- Que se establezca una cortina de árboles que impida la vista desde el camino.
- Que se conformen las excavaciones de bancos de préstamos cuando no existen facilidades de drenaje, para asemejar laguna natural o los montículos de depósitos, lomas de suaves pendientes convenientemente plantadas.
- Cualquiera que sea la ubicación del banco de préstamo se debe especificar taludes naturales de los bordes y hacer la excavación abierta y con la pendiente suficiente para que tenga un drenaje natural.
- En cualquiera de las situaciones el requerimiento básico es que las lomas topográficas resultantes tengan una apariencia natural.
- En el caso que el banco de préstamo consista solamente en un escarpe para obtener tierra vegetal la depresión resultante deberá ser cultivada y sembrada nuevamente.

C3. Desbroce

Esta es la primera fase de la construcción del camino y es aquí donde el constructor deberá contar con claras especificaciones que le indiquen entre otras, que el proyectista estime conveniente, las siguientes instrucciones:

El desbroce de la vegetación natural deberá ser el mínimo que baste para asegurar las condiciones de visibilidad y el gálibo del camino.

Se indicará claramente las singularidades del terreno que deben salvarse, como afloramientos de rocas, líneas de playas, árboles, etc. y la forma en que se deberán proteger, incluso el mantenimiento, reparación y riego de los árboles.

En el desbroce se incluirá el raleo selectivo de zonas marginales boscosas. Este es un método de estética forestal que, al eliminar la maleza, árboles de mala apariencia y renovales que existen haciéndose mutua competencia, obtiene un notable mejoramiento del aspecto del bosque, superando fácilmente en belleza cualquier plantío artificial y con un menor costo y plazo que estos últimos.

En esta etapa se deberán salvar los materiales provenientes del escarpe de la tierra vegetal, para ser depositada posteriormente en los taludes del camino y en los plantíos del cantero

central Esta operación se considerará convenientemente en el Gráfico de compensación de tierras. También es recomendable salvar los árboles pequeños y arbustos que puedan ser trasplantados.

D. ESTRUCTURAS

D1. Puentes

Desde el punto de vista de la estética el interés está centrado en la línea, forma, proporción y textura de los materiales usados en los puentes. La decisión al respecto debe corresponder al arquitecto paisajista. Como norma general podemos establecer que la práctica moderna ha abandonado la ornamentación extraña y la simulación de estructuras o texturas que no corresponden a la del diseño, o del material realmente empleado. En las estructuras de enlace y cruce de los caminos de acceso restringidos, que son las que más se aprecian desde la carretera, se están adoptando formas simples, constituidas por tableros abiertos apoyados en vigas y columnas, con poco énfasis en los estribos bajo la idea general que obstruyan lo menos posible.

D2. Muros de alcantarillas

Los muros de alcantarillas deberán tratarse desde el punto de vista estético solamente si quedan al alcance de la vista de los usuarios.

E. PLANTACIONES

E1. Diseño de plantaciones para caminos

El diseño de plantaciones se divide en dos gruesas categorías: la paisajista y la funcional. La primera con fines primordialmente estéticos; la segunda para contribuir a la mejor operación seguridad y mantenimiento del camino.

E2. Paisajismo

E.2.1. Aspectos generales

Consiste esta técnica en diseñar el camino como una parte integral del paisaje y desarrollar los márgenes para el mejor aprovechamiento y gozo del usuario.

Este objetivo se logra a través de tres características principales: formas topográficas armoniosas, césped continuo y bien mantenido, y árboles y arbustos atractivos.

E.2.2. Áreas urbanas

El paisajismo se aplica casi exclusivamente en áreas urbanas con el objeto de preservar y mejorar el valor de la propiedad afectada por el proyecto, siendo secundario el papel funcional. Desde el punto de vista estético los árboles del mejoramiento se unen a los que generalmente existen en las zonas urbanas para disminuir la prominencia de los edificios en el panorama.

E.2.3. Enlaces a intersecciones

El efecto de los árboles y arbustos es más destacado en los enlaces e intersecciones que en ninguna otra parte del camino. Ellos contribuyen a subordinar los macizos elementos de las estructuras y a convertir las extensas áreas requeridas por el diseño de los enlaces en parque que beneficien la comunidad. Igualmente, los taludes de las rampas deberán ser cubiertos con césped o con enredaderas, aunque para ello sea necesario proveerlos de sistemas de regadío.

E3. Plantaciones funcionales

E.3.1. Control de la erosión

Las plantaciones han probado ser muy eficientes en esta función. Para taludes con fuerte inclinación se recomiendan las enredaderas y para pendientes menores al césped. En zonas rurales es preferible escoger las variedades de plantas arbustos o árboles propios del lugar.

E.3.2. Control de la arena

Es conocido el fenómeno del depósito de arena sobre los caminos cuando el viento que los arrastra disminuye de velocidad después de pasar sobre un obstáculo. En atención a lo complejo del problema cada caso deberá ser estudiado en particular. En este capítulo nos referiremos únicamente a los métodos que tienen que ver con plantaciones.

Las barreras de árboles y arbustos tienen aplicación para el control de la arena. Estas se pueden colocar a sotavento o a barlovento dependiendo de la conformación del terreno y de la distancia de la calzada al obstáculo. Como instrucción general podemos decir que hay que acelerar el viento sobre la calzada para impedir el depósito de los elementos de suspensión, lo que se logra haciendo más aerodinámica las formas de movimiento de tierras, además de la formación de barreras en la ubicación conveniente. Esto significa disminuir los taludes de terraplenes y cortes a sotavento y colocar las barreras al otro lado del camino, o si se pone al mismo lado de donde soplan los vientos prevalecientes, recordar que los depósitos se forman después de la barrera por lo que ésta deberá estar alejada de la calzada quince a veinte veces su alto para que las acumulaciones de arena no la invadan.

E.3.3. Plantaciones para guiar el tránsito

Se utilizarán hileras de árboles en el lado exterior de las curvas pronunciadas para advertir al conductor el cambio de dirección. Se usarán también en las curvas verticales para advertir a través de la disminución de altura de los árboles al costado del camino que se aproxima una bajada y apreciar su probable pendiente. Esta técnica tiene menos significación en los caminos de alta velocidad, donde se requiere curvas de gran radio y alta visibilidad y donde los árboles tienen que estar alejados a una distancia segura de la calzada. En estos casos las plantaciones se usarán para enfatizar los lugares de conflicto, colocándolos en el ángulo de vías divergentes, o para contrastar los obstáculos y barreras camineras.

E.3.4. Plantaciones como barreras.

Tienen como objeto ocultar panoramas desagradables, amortiguar ruidos y evitar el deslumbramiento de los faros en los caminos con cantero central estrecho. Las dos primeras técnicas son recomendables, especialmente en las ciudades. La tercera tiene sus inconvenientes, porque para este objeto hay que usar arbustos que son difíciles de mantener y que se llenan de papeles y otras basuras.

Por otra parte una faja continua de arbustos conspira en contra de la estética paisajista.

E4. Criterios generales para plantaciones

A partir de los principios generales que hemos señalado, se establecen las normas que siguen para las plantaciones que se efectúen en los proyectos de carreteras, las cuales cumplen con las funciones descritas en el numeral 3.1.1.8.9. (E).

E.4.1. Plantaciones de árboles en hileras exteriores a la calzada

» *i. Disposición respecto al eje longitudinal*

La distancia entre árboles se establecerá en la *Tabla 3.1_ 42*.

Tabla 3.1_42. DISTANCIA ENTRE ÁRBOLES EN HILERAS DISPUESTAS EN LOS COSTADOS DE CARRETERAS Y CAMINOS

Árboles de troncos de diámetros mayores de 0,5 m	20,00 m
Árboles de troncos de diámetros menores de 0,5 m	16,00 m

La longitud mínima de la hilera será de 500 m salvo las interrupciones a que obliguen los párrafos siguientes:

Las hileras deberán interrumpirse a la Distancia de Frenado de las intersecciones de caminos.

Para permitir la vista de un determinado paisaje, deberán interrumpirse por una distancia mínima equivalente a 30 seg de viaje a la velocidad de diseño

No se plantarán árboles cuando las carreteras atraviesen plantaciones de frutales o bosques.

» *ii. Disposición respecto a la sección transversal*

Las hileras se colocarán a distancias que cumplan con los criterios de “Zona Despejada”. En todo caso, en caminos con Velocidad de Proyecto inferior a 60 Km por hora y un T.P.D.A. inferior a 200 veh/día los árboles no podrán estar a menos de 3 m del borde de la plataforma. En los caminos con velocidad e intensidad de tránsito mayores, esta distancia aumentará como mínimo a 5 m del borde de la plataforma.

E.4.2. Plantaciones de árboles en grupo

Tienen por objeto quebrar la monotonía de las hileras, y aprovechar fajas de antiguos trazados o expropiaciones de parcelas que queden aisladas por el camino para crear zonas de esparcimiento o con fines estéticos. La distancia mínima al camino es la fijada en el inciso “i” del *Numeral 3.1.1.8.8. (E.4.1)*. El tipo de árboles y su distanciamiento entre sí depende de la finalidad del proyecto (estacionamiento, mirador, acondicionamiento de un monumento, etc.).

E.4.3. Plantaciones de arbustos y matas paralelas al eje del camino

» *i. Disposición en sentido longitudinal*

Las plantas pueden disponerse en forma continua formando un seto.

Si se colocan aisladas hay que evitar el colocarlas en forma alineada a distancias fijas, porque se produce un silbido molesto con el desplazamiento del aire por los vehículos. En general no se recomiendan los setos continuos en el cantero central, por la basura que acumulan y porque pueden ocasionar accidentes al emerger súbitamente, un animal suelto o un peatón.

» *ii. Disposición respecto a la sección transversal*

Las plantaciones dejarán completamente libre las banquetas y se tomarán las precauciones necesarias para que las raíces no afecten los drenes de la subbase y la evacuación de las aguas superficiales.

» *iii. Plantas en el cantero central*

En el cantero central se plantarán solamente arbustos o hierbas, en ningún caso árboles cuyos troncos sobrepasen un diámetro de 0,1 m en su madurez, salvo en los ensanchamientos del cantero central en zonas rurales con fines estéticos en cuyo caso la distancia de los árboles de mayor diámetro deberán cumplir las disposiciones del *numeral 3.1.1.8.8. (E.4.1)*

La altura de las plantaciones dependerá del ancho del cantero central. Sin embargo, cuando el problema de deslumbramiento sea el objeto principal su altura deberá ser como mínimo de 1,5 m decreciendo su altura paulatinamente hasta excluir la arborización en una distancia equivalente a $1,5 D_p$ en los extremos del cantero central que anteceden las aberturas para cruces y giros a la izquierda. Desde el punto de vista estético y psicológico se recomienda que las plantaciones no oculten completamente la calzada opuesta ni creen la sensación de pared. En todo caso se deberá verificar el despeje lateral requerido para evitar obstrucciones a la visibilidad en curvas al momento de especificar la posición de los arbustos, los que por este concepto en general no son recomendables en Canteros centrales de menos de 9,0 m de ancho.

E.4.4. Normas generales para plantíos

» i. Seguridad de tránsito

En ningún caso se debe subordinar la seguridad del tránsito (distancias de visibilidad, eventuales choques con objetos fijos, etc.) a consideraciones de orden estético o funcional.

» ii. Conservación del gálibo

La posición y alcance de las ramas de los árboles permitirán en todo caso la permanencia del gálibo de diseño del camino.

» iii. Señales de tránsito

Las plantaciones no deben ocultar la señalización de tránsito.

» iv. Soleamiento

En zonas húmedas se evitará colocar las plantaciones de modo que formen superficies sombreadas permanentemente que impidan el rápido secado del pavimento.

» v. Conservación mecanizada

Para poder mantener en forma económica las superficies cubiertas con pasto, es necesario hacer las siembras y plantíos de modo que permitan el acceso de equipo mecanizado.

3.1.1.8.10. EL EFECTO DEL TERRENO EN LA LOCALIZACIÓN DE LA VÍA

A. ASPECTOS GENERALES

Un factor que influye significativamente a la selección del trazado de una vía es el terreno. Que a su vez afecta al trazado de la rasante. El factor primordial que el diseñador considera para el trazado de la rasante, es el volumen de movimiento de tierras que será necesario para la rasante seleccionada. Un método para reducir el volumen de movimiento de tierras, es trazar la rasante tan cerca como sea posible al nivel natural del terreno. Esto no siempre es posible, especialmente para terreno ondulado o montañoso. También puede obtener un costo general menor si la rasante se traza de modo que haya un balance entre el volumen excavado y el volumen de terraplén.

Otro factor que debe considerarse al trazar la rasante, es la existencia de puntos fijos como los cruces de ferrocarril, las intersecciones con otras vías, y en algunos casos los puentes existentes que requieren que el trazo de la rasante se cruce con estos, además de los factores que son considerados referente al trazado de la vía. El volumen de movimiento de tierras asociado con cualquier rasante, influye en la decisión de aceptar o rechazar la rasante.

A continuación, se describe cómo se traza una rasante en la vía, que maximice el uso del suelo natural, minimizando a su vez el volumen de corte o de terraplén en exceso. Si hay un exceso de material de corte entonces debe retirarse y almacenarse en otro lugar. Si hay un exceso de terraplén entonces el material debe comprarse y enviarse al sitio. De esta manera se presenta una situación ideal cuando hay un equilibrio entre el volumen de corte y el volumen de terraplén.

B. CÁLCULO DE LOS VOLÚMENES DE MOVIMIENTO DE TIERRAS

Uno de los principales objetivos al seleccionar un lugar específico para una vialidad, es minimizar el volumen de tierra que se requiere para el proyecto. Por tanto, se estima el volumen de movimiento de tierra que interviene en cada lugar alternativo, tanto en la etapa preliminar como en el final.

Para determinar el volumen de movimiento de tierra que interviene para una rasante dada se toman perfiles transversales a intervalos regulares a lo largo de rasante. En general las secciones transversales están separadas cada 10 metros, aunque a veces se aumenta esta distancia para la ingeniería preliminar. Estas secciones transversales se obtienen al graficar el nivel del terreno y la rasante propuesta para la vía, a lo largo de una línea perpendicular a la rasante para indicar las áreas de excavación y las áreas de terraplén.

En la *Figura 3.1_ 32 (TIPOS DE SECCIONES TRANSVERSALES) (Ver Anexo II)* se muestran tres tipos de sección transversal. Cuando el cálculo se hace manualmente, las secciones transversales se grafican en papel estándar para secciones transversales, generalmente a una escala de 1:200 en direcciones horizontal y vertical respectivamente. Entonces se determinan las áreas de corte y de terraplén para cada sección transversal con el uso de un planímetro a medida o mediante otro método adecuado.

En los libros de topografía se documentan los diferentes métodos para el cálculo de las áreas. Entonces se calcula el volumen de movimiento de la tierra a partir de las áreas de las secciones transversales y de las distancias entre estas secciones.

Un método común para determinar el volumen es el del promedio de las áreas extremas. Este procedimiento se basa en la suposición de que el volumen entre dos secciones transversales consecutivas es el promedio de sus áreas multiplicado por la distancia entre aquellas tal como se da en la siguiente ecuación:

$$V = \frac{L}{2} (A_1 + A_2)$$

Donde:

V = Volumen (m³)

A1 y A2 = Áreas extremas (m²)

L = Distancia entre las secciones transversales (m)

Se ha encontrado que el método del promedio de las áreas extremas, es lo suficientemente exacto para la mayor parte de los cálculos de movimiento de tierras, ya que las secciones transversales se toman con una separación de 10 a 20 metros, y las irregularidades menores tienden a cancelarse entre sí. Cuando se requiere mayor exactitud, como en situaciones en las cuales la rasante pasa de una sección de corte a una de terraplén, el volumen puede considerarse como una pirámide o como otra forma geométrica.

Es una práctica común en la actividad de movimiento de tierras, mover el material adecuado de las secciones de corte a las secciones de terraplén, para reducir a un mínimo el volumen de material de bancos de préstamos. Cuando el material excavado de las secciones de corte se compacta en las secciones de terraplén, ocupa un volumen menor que el que ocupaba originalmente. Este fenómeno se conoce como consolidación o compactación y debe contemplarse cuando el material excavado va a volver a usarse como material de relleno. La compactación depende del tipo de material.

Se han observado consolidaciones de hasta 50 por ciento para algunos suelos. Sin embargo, los factores de consolidación o compactación que se emplean generalmente varían entre 1,10 y

1,25 para terraplenes altos, y entre 1,20 y 1,25 para terraplenes bajos. Esos factores se aplican al volumen de relleno con objeto de determinar la cantidad requerida de material de relleno.

C. DIAGRAMAS

El diagrama de la curva masa es una serie de líneas unidas que describen la acumulación neta de corte o de relleno, entre dos perfiles transversales cualesquiera. La ordenada del diagrama de la curva masa es la acumulación neta en m^3 desde un punto inicial arbitrario. Entonces, la diferencia de ordenadas entre dos perfiles transversales cualesquiera, representa la acumulación neta de corte o de relleno entre estos perfiles transversales. Si se considera que el primer perfil transversal del camino es el punto inicial, entonces la acumulación neta en este perfil transversal es cero.

C1. Interpretación del diagrama de la curva de masa

A partir de la *Figura 3.1_33 (DIAGRAMA DE CURVA DE MASA) (Ver Anexo II)* se pueden hacer las siguientes observaciones:

Cuando el diagrama de la curva de la masa presenta una pendiente descendente (negativa) la sección anterior es un terraplén y cuando la pendiente es ascendente (positiva) la sección anterior es un corte.

La diferencia de ordenadas en el diagrama de la curva de masa entre dos perfiles transversales cualquiera, represente la acumulación neta entre los dos perfiles transversales (corte o relleno).

Una línea horizontal en el diagrama de la masa define la ubicación para la que la acumulación neta es cero entre estos dos puntos. A éstos se les conoce como “puntos de balance”, porque existe un balance de los volúmenes de corte y de relleno entre estos puntos. En la *Figura 3.1_33 (DIAGRAMA DE CURVA DE MASA) (Ver Anexo II)* el eje “x” representa un equilibrio entre los puntos A’ y D’ y un equilibrio entre los puntos D’ y E’. Más allá del punto E’ el diagrama de curva de masa indica una condición de relleno, para la cual no hay un corte que lo compense.

Pueden dibujarse otras líneas horizontales que unan partes del diagrama de curva de masa. Por ejemplo, las líneas J-K y S-T, que tienen cada una cinco perfiles transversales de longitud y describen un equilibrio de corte y de relleno entre los perfiles transversales en los puntos J-K y S-T.

SECCION 3.1.1.9. | CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE INTERSECCIONES

3.1.1.9.1. ASPECTOS GENERALES

A. DEFINICIONES Y REFERENCIAS BÁSICAS

El término intersección se usa aquí para denominar, en forma general, a los dispositivos viales en los que dos o más carreteras se encuentran en un mismo nivel, produciéndose cruces y cambios de trayectorias de los vehículos que por ellas circulan.

Cuando se alude a cada una de las partes de las vías convergentes, en el entorno de sus cruces, se habla de “rama de la intersección”. Se considera que una rama es tal a partir del punto en que el perfil tipo de la carretera acusa la primera variación, en planta o elevación, destinada a permitir o favorecer alguna de dichas maniobras de cruce o de cambio de dirección.

Si un conflicto de cruce se resuelve mediante desnivelación de vías, el dispositivo es llamado “enlace”, que será visto en el numeral 3.1.1.9.6. La *Figura 3.1_34 (PRINCIPALES SUPERFICIES QUE CONFIGURAN UNA INTERSECCIÓN) (Anexo III)* muestra las principales superficies que configuran una intersección.

- Calzada: Es la superficie pavimentada utilizada normalmente por los vehículos para efectuar todos los movimientos permitidos en el área de la intersección.
- Excluye por lo tanto las banquetas y las superficies de carpeta demarcadas (*Figura 3.1_35 (CALZADA, BANQUINAS Y SUPERFICIES DE CAPA DEMARCADA) (Anexo III)*). Esta definición se aplica al caso de las intersecciones y no impide el uso del mismo término para aludir a partes de esta superficie única (calzada norte, calzada de ramal).
- Banquetas: Superficies tratadas, adyacentes a la calzada, libres de obstáculos, que pueden ser invadidas por los vehículos en maniobras ocasionales. En las intersecciones se distingue banquetas externas, que dan continuidad a las de las ramas, y las internas, que suelen bordear las islas. Estas últimas requieren demarcación, y todas aportan a la seguridad y evitan la reducción de capacidad asociada a la presencia de obstáculos laterales en las vías.
- Islas: Son las superficies que quedan inmersas en la calzada, resultantes de la especialización y delimitación de partes de esta última para atender los distintos movimientos que se producen en una intersección.
- Los límites de una isla se materializan con demarcación intensiva y con cordones montables que definen una zona elevada dentro de su superficie total. Las islas dan refugio ocasional a peatones y a vehículos que ejecutan maniobras de espera y giro, y favorecen la lectura de la vialidad a todos los vehículos. Debe tratarse como un dispositivo de seguridad. En zona de intersecciones, los bandejones y canteros centrales operan y son considerados, para efectos de diseño, como islas.
- Otras superficies que completan la faja pública: su diseño no es específico de la intersección (*Ver Figura 3.1_34 (PRINCIPALES SUPERFICIES QUE CONFIGURAN UNA INTERSECCIÓN) (Anexo III) y Figura 3.1_35 (CALZADA, BANQUINAS Y SUPERFICIES DE CAPA DEMARCADA) (Anexo III)*).

- Sobreeanchos de Plataforma (SAP): Recrecimiento de terraplenes y bases, que forma bandas exteriores a las banquetas.
- Talud de terraplén: Explanadas inclinadas entre los límites de la plataforma (borde exterior del SAP) y el terreno, natural o sin su capa vegetal.
- Taludes de plataforma en corte: Explanadas inclinadas entre los límites de la plataforma y el borde de la cuneta existente al pie del corte.
- Talud de corte: Explanadas inclinadas entre los bordes superiores de las excavaciones y el borde de la cuneta existente al pie del corte. Puede incluir “bancos en corte”.
- Cunetas y cuneta de pie de talud, cuneta de coronación: Planos compuestos para funciones de desagüe superficial, situados al pie de los cortes y terraplenes, y en la coronación del corte, respectivamente.
- Huelgas: Las franjas de ancho variable que separan cuneta de pie de talud y cuneta de coronación de pies de terraplenes o cabeceras de corte, respectivamente, y las que completan la franja pública hasta su límite oficial.
- Otras: En zonas donde la actividad peatonal sea significativa, puede existir veredas, reemplazando o no a las banquetas. La presencia de peatones genera modificaciones en las superficies de calzadas, islas y veredas, como ensanches para detenciones en paradas de ómnibus rebajes de cordones asociados con rampas de cortesía, y rebajes a través de islas elevadas para cruces peatonales al mismo nivel de la calzada.

Unidades principales reconocibles en las calzadas de las intersecciones.

- Calzadas de paso: Las superficies que dan continuidad, a través del área de la intersección, a los carriles tipo de las vías confluentes, y que excluyen a aquellas otras que se generan en la intersección y a las que en ella se discontinúan. Conviene distinguir la calzada de paso principal de las calzadas de paso secundarias. (Figura 3.1_37 (PRINCIPALES ELEMENTOS EN LAS CALZADAS DE INTERSECCIONES) (Anexo III)).
- Ensanches para giros: ampliación común a dos calzadas de paso, provista para facilitar virajes desde una hacia otra. Son superficies de forma aproximadamente triangular, con dos lados coincidentes con los bordes exteriores de dichas calzadas de paso y un lado curvo que se diseña atendiendo a la trayectoria de los vehículos que giran (Figura 3.1_37 (PRINCIPALES ELEMENTOS EN LAS CALZADAS DE INTERSECCIONES) (Anexo III)).
- Ramales: ampliaciones de la calzada de paso que en las intersecciones son diseñadas para acoger y facilitar las maniobras de cambio de dirección (Figura 3.1_37 (PRINCIPALES ELEMENTOS EN LAS CALZADAS DE INTERSECCIONES) (Anexo III) y Figura 3.1_38 (PRINCIPALES ELEMENTOS EN LAS CALZADAS DE INTERSECCIONES) (Anexo III)).
- Carriles de giro centrales: carriles alojados en islas centrales, que son generadas para tal efecto en las intersecciones o bien canchales centrales que en éstas cumplen la función de islas (Figura 3.1_36).
- Banquetas exteriores: las que dan continuidad funcional, a través del área de la intersección, a las banquetas de las vías confluentes (Figura 3.1_35 (CALZADA, BANQUINAS Y SUPERFICIES DE CAPA DEMARCADA) (Anexo II)).
- Banquetas interiores: los tramos discontinuos de banquetas que, inmersos en la calzada, son proyección exacta o adaptada de las banquetas exteriores, o aparecen como banqueta izquierda de los ramales de la intersección.

3.1.1.9.2. CAMPOS DE INFLUENCIA Y APLICACIÓN

Hay que tener en cuenta que una intersección forma parte de un sistema vial, por lo que su diseño depende de las características de dicho sistema, a la vez que afecta el funcionamiento del mismo. Las Intersecciones también pueden condicionar la clasificación de las vías comprometidas, que pueden ser:

- Autopistas, Multicarriles.
- Carreteras Bidireccionales.
- Caminos Colectores.
- Caminos Locales.
- Caminos de Desarrollo.

En las tres primeras interesa la continuidad de tránsito en forma primordial. Para lograr este objetivo se debe recurrir al control de accesos, en forma total en el caso de autopistas y con restricciones en el caso de las Multicarriles y los caminos primarios.

De aquí se desprende que en las Autopistas no deberán proyectarse intersecciones sino enlaces, y que aquellas deberán ser planificadas cuidadosamente en las vías con control parcial de accesos.

En las otras clases interesa como consideración primaria el acceso y servicio de la tierra adyacente, postergando a un segundo término la continuidad del flujo.

De aquí se puede deducir que se debe determinar claramente el interés que se desea servir principalmente y con esa base definir los elementos constitutivos, entre ellos las Intersecciones.

Las normas de diseño contenidas en esta Sección se aplicarán fundamentalmente a los dispositivos que correspondan a la definición enunciada en el *numeral 3.1.1.9.1, punto A*. Sin embargo, las intersecciones a distinto nivel, que aquí serán denominadas Enlaces, suelen presentar elementos a los que se pueden aplicar los criterios y normas del presente Capítulo.

3.1.1.9.3. FACTORES A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE UNA INTERSECCIÓN

A. ASPECTOS GENERALES

El objetivo principal del diseño de intersecciones es reducir la probabilidad y severidad de los conflictos que naturalmente pueden producirse entre peatones, bicicletas, automóviles, camiones, ómnibus y los elementos verticales presentes en el dispositivo. Además, debe aportar a la conveniencia, facilidad y confort de sus usuarios; para lo cual el diseño debe ajustarse lo mejor posible a las trayectorias y características operacionales de los mismos.

La primera etapa del proyecto de una intersección consiste en la producción, análisis, interpretación y por último consideración o uso de una serie de datos, circunstancias y criterios que constituyen un cuerpo de factores concurrentes a la elección de un tipo de intersección específico entre los muchos posibles, y a su diseño.

Estos factores se agrupan en cuatro categorías básicas, que darán origen a los Tópicos que continúan la presente Sección. Estos Tópicos, ordenados más o menos según lo que podrían ser etapas sucesivas dentro del proyecto general, son:

- Factores Humanos.
- Consideraciones de Tránsito.
- Elementos Físicos.
- Factores Económicos.
-

Se insiste en el hecho que esta división constituye una hipótesis útil para ordenar y enfrentar el trabajo, pero se recuerda que en la práctica estos factores se superponen unos con otros según una dinámica que el buen proyectista hace jugar constantemente a lo largo del proyecto.

Por último, se advierte que la intención de la presente Sección es dar una visión someramente descriptiva de estos factores. Los estudios que son necesarios para precisarlos y cuantificarlos deben ser desarrollados de acuerdo a las disciplinas y normas específicas existentes para cada caso.

B. FACTORES HUMANOS

Los principales factores humanos que intervienen y que hay que tener en cuenta en el diseño de intersecciones tienen que ver con las capacidades y los usos y hábitos de los conductores y transeúntes. Entre las primeras destacan la habilidad y rapidez para tomar decisiones y la velocidad de reacción una vez tomada una decisión.

Entre los segundos, resultan relevantes los usos peatonal y ciclístico que se le dé a la plataforma pública y las conductas habituales que se presentan en estos usos y en la elección de trayectorias. Por último, debe mencionarse un aspecto de otra índole, como son las expectativas de los conductores en relación al diseño de una intersección.

C. CONSIDERACIONES DE TRÁNSITO

C1. Aspectos generales

Los volúmenes de tránsito que acceden por separado a una intersección y que ejecutan las maniobras allí posibles, su distribución y la proyección que de estos movimientos debe hacerse para determinar las capacidades de diseño de sus unidades constitutivas; la composición de los flujos por tipo de vehículo, sus velocidades de operación y las peculiaridades de sus interacciones mientras utilizan el dispositivo; sus relaciones con peatones y ciclistas, y la experiencia que se tenga con respecto a los accidentes de tránsito, son los principales factores que condicionan la elección de la solución tipo y las características de los elementos geométricos con los que se definirá a la intersección.

La intersección de dos carreteras supone la utilización de una misma superficie por dos tránsitos distintos, lo que equivale a una discontinuidad en la circulación y, por consiguiente, constituye un punto crítico en la seguridad y capacidad de ambas carreteras.

Al proyectar una carretera con un determinado número de intersecciones, al igual que al reacondicionar las existentes de una vía en operación, deben tenerse en cuenta sus capacidades, ya que un sub dimensionamiento de estas intersecciones puede invalidar la solución elegida o perjudicar el nivel de servicio de todo un tramo.

C2. Elección del vehículo tipo

En la *Sección 401, Tabla 3.1_2 y Tabla 3.1_3* se encuentran descritas las características de los vehículos tipo que consulta este manual. Para el tratamiento de las intersecciones los vehículos allí descritos se agrupan en cuatro categorías, que son las siguientes:

P: Vehículo Liviano: automóvil y camioneta

SU y BUS: Camión: camión simple de 11,0 m y ómnibus interurbano de 12,1 m; 13,2 m y 14,0 m

WB: Vehículo articulado corriente: tracto camión con semirremolque corriente

WB-D y T: Vehículo articulado especial. Tracto camión con semirremolque para automóviles

C.2.1. Vehículo liviano (P)

Cubre los diseños mínimos para automóviles y camionetas. Está representado por el Tipo P de AASHTO. Su utilización como vehículo tipo para el diseño debe reservarse sólo para aquellos casos en que el porcentaje de camiones que circulan sea muy bajo, que el espacio esté limitado o que la intersección sea de muy poca importancia. Los casos más frecuentes son:

- Vías Urbanas (bajo porcentaje de camiones y espacio limitado).
- Cruce de Carreteras Locales con Colectoras en que los movimientos de giro sean muy raros.
- Cruces de Carreteras Locales con muy poco tránsito.

Un vehículo Tipo C, al hacer un giro mínimo diseñado para el vehículo L, podrá hacerlo invadiendo en parte los carriles adyacentes de entrada y/o salida. Si es posible, será preferible diseñar con el vehículo tipo C.

C.2.2. Camiones y ómnibus (BUS y SU)

Cubre los diseños mínimos para Camiones (Unidad Simple) y Ómnibus Interurbanos. Está representado por el Ómnibus AASHTO (L = 12,19 m). En el *Numeral 3.1.1.9.5. (C.2)*, se amplían los radios mínimos para dar cabida al Ómnibus Interurbano de 12,35 y 13,85 m (según ómnibus de fabricación actual). Su utilización como vehículo de diseño es, en la generalidad de los casos, el mínimo recomendable para los cruces de caminos rurales.

Debe tenerse presente que en éstos el tránsito de vehículos tipo P es, por lo general, del orden o superior al 25 % del tránsito total.

En áreas urbanas debe consultarse este vehículo tipo siempre que exista locomoción colectiva que utilice o que se prevea pueda llegar a circular por la intersección. Siempre que el porcentaje de P sea elevado, debe intentarse la superación de los límites que permite el vehículo tipo P.

Los ómnibus interurbanos pueden inscribirse en un diseño tipo P sin problemas, y la generalidad de los SU y BUS lo pueden hacer con menos problemas que los que enfrenta un vehículo tipo WB ante un diseño tipo P.

C.2.3. Vehículo articulado WB

Cubre los diseños mínimos para el Tracto Camión con Semirremolque Corriente. Está representado por valores intermedios de los vehículos AASHTO WB-12 (L = 13,87 m) y WB-19 (L = 21,03 m), que dan cabida al semirremolque WB-20 de 22,40 m, el más comúnmente usado. El vehículo VA1 debe ser elegido como vehículo tipo en aquellos cruces donde circulen o se prevea la presencia de tractocamiones con semirremolque corriente, que utilicen habitualmente y en número significativo los ramales de giro.

C.2.4. Vehículo articulado WB-D y T

Cubre los diseños mínimos del Tracto Camión con Semirremolque para Transporte de Automóviles (L = 22,40 m), el más común en el mercado. Está representado por el semirremolque WB-20 de AASHTO el vehículo VA2 sólo regirá el diseño en forma excepcional, cuando se prevea presencia significativa de grandes remolques de más de veinte metros de longitud.

C3. Demanda y modelación

La demanda es la variable de tránsito más gravitante en el diseño de una intersección, puesto que la capacidad resultante de dicho diseño deberá satisfacerla; lo que implica el dimensionamiento en términos geométricos y estructurales de sus unidades constitutivas, la operación de semáforos si tal elemento de control existe y su coordinación si la intersección forma parte de un eje o una red así regulada.

Por otra parte, la satisfacción de la demanda está relacionada con las características que ésta presenta en el lugar y sus proyecciones, lo que relativiza y complica el problema. En efecto, como los conceptos de demanda y de nivel de servicio están ligados, es preciso establecer un

nivel de servicio tolerable en el año de diseño para poder cifrar la oferta de vialidad que el diseño debe alcanzar, y esta oferta debe tener en cuenta la composición de los flujos vehiculares futuros y la forma y cuantía en que se espera la presencia de bicicletas y peatones.

Actualmente existen herramientas computacionales que permiten modelar física y operativamente dispositivos viales. Los modelos operacionales, convenientemente calibrados para simular el funcionamiento presente, pueden también simular la operación de dichos dispositivos en las condiciones de demanda futuras. Esto permite predecir el consumo de tiempo y combustible en tales condiciones y por lo tanto comparar económicamente distintos proyectos con una situación base, y por lo tanto evaluar, en términos sociales, la rentabilidad de la inversión asociada a dichos proyectos.

Los mismos modelos son útiles para predecir los grados de saturación que las intersecciones, aisladas o en coordinación con otras, presentarán bajo las condiciones futuras de la demanda, razón por la cual resulta conveniente su utilización como herramientas de diseño.

En todo caso, como se desprende de lo dicho, el estudio de la capacidad de una intersección debe hacerse determinando el tipo de señalización que regulará el cruce. Una vez establecido este punto se puede abordar el problema del estudio de la capacidad de cada uno de los ramales de la intersección.

C4. Elección del tipo de control

C.4.1. Aspectos generales

La instalación de señales o semáforos en las intersecciones tiene por objeto evitar los conflictos entre el tránsito de vehículos o entre éste y la circulación de peatones. Para que estos dispositivos ejerzan la función para la que fueron proyectados, es necesario que se coloquen en aquellos lugares que reclamen su instalación y que en cada caso sea posible proceder a la elección del dispositivo más adecuado.

C.4.2. Criterios de selección

La elección del dispositivo de control más adecuado en una intersección debe hacerse analizando detenidamente las características del tránsito, los movimientos de peatones y las estadísticas de accidentes.

C.4.3. Análisis del tránsito

El análisis del tránsito que circula por la intersección requiere el estudio de los siguientes factores:

- Tránsito en la vía principal.
- Tránsito en la vía secundaria incidente.

Tiempos de llegada y salida de los vehículos en ambas vías (intervalo crítico). Porcentaje de vehículos retrasados en la vía secundaria por efectos del tránsito.

Los datos relativos a las intensidades de tránsito deberán ser tomados durante períodos de 12 horas que sean representativos de la situación normal en ambos accesos para un día tipo.

C.4.4. Modelación de intersecciones

La elección de un tipo de control para una intersección, asunto que involucra a su geometría, será en definitiva la aplicación de la experiencia, asistida ésta por análisis computacionales que permitan cuantificar los beneficios de los diseños en discusión. Los beneficios

que se puede calcular usando los modelos más conocidos provienen de comparar, para las alternativas planteadas, los tiempos de viaje.

Existen experiencias que introduce el modelo SIDRA como adecuado para calcular los distintos tiempos de demora generados por una intersección semaforizada y métodos para calcular capacidades en intersecciones de prioridad y para determinar demoras por interferencia vehicular en intersecciones de prioridad y en rotondas.

No obstante esto último, en el numeral 3.1.1.9.5 (G.6), “Capacidad en Rotondas” se resumen los criterios que se están aplicando a partir de las últimas investigaciones al respecto, relacionados con el modelo ARCADY.

C5. Intersecciones sin semáforos

C.5.1. Aspectos generales

La operación de una intersección sin semáforo supone que una de las vías que se cruzan tiene siempre prioridad sobre las demás y por consiguiente la capacidad de esta carretera principal debe calcularse como si no existiera intersección: es decir, como el caso de tránsito en condiciones ininterrumpidas. Únicamente se debe considerar el factor de giros a la izquierda para determinar si es o no necesario establecer un carril especial para este movimiento.

El criterio a seguir es que cuando el número de vehículos que giran a la izquierda en la hora punta es superior a 25 vehículos/hora, es necesario disponer de un carril adicional o, al menos, una zona de refugio y espera para este giro, con el fin de no interferir en el resto del tránsito.

C.5.2. Tramos de trenzado o entrecruzamiento

Un tramo de trenzado se define como aquella zona en que se entrecruzan distintas corrientes de tránsito que siguen un mismo sentido de circulación. En la Figura 3.1_39 se muestra los principales tipos de trenzados. Las situaciones de este tipo se diseñan apuntando a que su nivel de servicio sea consistente con el de la carretera que lo contiene. El nivel de servicio en el tramo de trenzado depende de su longitud, número de carriles, grado aceptable de congestión y de la demanda por cada movimiento, en cuantía y distribución en los momentos analizados.

Los tramos de trenzado deben tener una longitud y un número de carriles basados en un nivel de servicio apropiado, de acuerdo a lo establecido en la Tabla 3.1_43.

Tabla 3.1_43. GUÍA PARA SELECCIONAR NIVELES DE SERVICIO PARA DISEÑO

TIPO DE CARRETERA	TIPO DE EMPLAZAMIENTO Y NIVEL DE SERVICIO APROPIADO			
	RURAL TERRENO PLANO	RURAL TERRENO ONDULADO	RURAL TERRENO MONTAÑOSO	URBANO Y SUBURBANO
EXPRESA	B	B	C	C
PRIMARIA	B	B	C	C
COLECTOR	C	C	D	D
LOCAL	D	D	D	D

Fuente: “Highway Capacity Manual”, Special Report N° 209” (Transportation Research Board, Washington D.C., 1985, revisado 1994)

Los tramos de trenzado pueden ser simples o múltiples. En la Figura 3.1_40 (TIPOS DE TRENZADO) – Figura I (Anexo III), se muestra un ejemplo de tramo simple, en el que un empalme de entrada es seguido por un empalme de salida único. Un tramo múltiple con-

siste en dos o más tramos de trenzado simple que se superponen; también puede ser definido como aquel tramo de una calzada que tiene dos empalmes de entrada consecutivos seguidos cercanamente por uno o más empalmes de salida, o un empalme de salida seguido cercanamente por dos o más terminales de salida.

Este último caso se muestra en la *Figura II de la Figura 3.1_40 (TIPOS DE TRENZADO) (Anexo III)*. Los fundamentos y detalles relativos al análisis requerido para diseñar tramos de trenzado deben ser consultados en el manual “Highway Capacity Manual”, Special Report Nº 209” (Transportation Research Board, Washington D.C., 1985, revisado 1994).

D. ELEMENTOS FÍSICOS

D1. Topografía, entorno y paisaje

El paisaje en general, con su topografía y elementos naturales y artificiales, y el carácter y uso del suelo colindante constituyen antecedentes físicos que pueden facilitar o dificultar el emplazamiento, la visibilidad, la canalización de los flujos vehiculares en forma económica, el drenaje, la compatibilidad estética y funcional de la obra con el entorno existente.

Para evitar problemas técnicos o de otro tipo, y las dificultades económicas consecuentes, es necesario contar con planos completos de planta y perfil de la faja de los caminos que se interceptan. Es conveniente, además tener un levantamiento completo de las zonas adyacentes en el mayor radio que afecte la visibilidad del cruce y una descripción de los usos del suelo y las actividades presentes en ellos.

En general son preferibles las topografías llanas, que permitan rasantes suaves, sin obstáculos que dificulten la visibilidad mínima que necesitan los usuarios de la intersección para maniobrar, de acuerdo con las circunstancias del tránsito, en las vías que confluyen hacia ella.

Son deseables los relieves que faciliten un adecuado drenaje, debiendo evitarse sectores deprimidos que hagan necesarios desagües artificiales.

Si una o más de las vías que se interceptan está(n) delimitada(s) por elementos naturales o artificiales (árboles, vallas, arbustos, etc.), éstos deben ser modificados, dejados intactos o eliminados para que no entorpezcan la visión y/o sirvan, según sea el caso, como elementos anunciadores de un punto singular para los usuarios de los otros itinerarios. Si la intersección puede ser divisada con antelación por los conductores, el proyectista deberá aprovechar esta circunstancia favorable.

En algunos casos, cuando se prevean puntas de tráfico en épocas determinadas del año y a las horas de salida y/o puesta del sol, es conveniente analizar la posición relativa del astro, en las horas y períodos pertinentes, con respecto a la orientación de la o las vías principales y/o a las direcciones en que miran los usuarios de la intersección al llegar al cruce.

D2. Las vías a interceptar

Las vías a interceptar también constituyen antecedentes físicos: sus características materiales, sus disposiciones geométricas, las posibilidades de alterar su trazado y otras peculiaridades para adecuarlas a los propósitos del proyecto, son factores que pesan en la elección de la solución definitiva.

Es evidente que alterar la geometría de una o de todas las vías involucradas en una intersección supone un costo cada vez mayor, pero que las características del tránsito, sus proyecciones y la decisión de dar tal o cual servicio pueden justificar económicamente.

Las modificaciones pueden ser parciales o totales. Ejemplo de modificaciones parciales son la creación de cancheros centrales en las vías confluentes, el ensanche de las mismas si ya existían, el aumento del número de carriles en alguna de dichas vías, la modificación de la rasante por efecto de algún mejoramiento del pavimento, etc. Ejemplo de modificaciones totales son la de-

rivación de alguna de las vías para interceptarla en mejores condiciones, o la modificación total de las plantas de las carreteras o caminos para producir condiciones de cruce óptimas.

Asociadas a estas intervenciones debe considerarse la existencia de otros elementos físicos propios de las vías y sus intersecciones, tales como carriles de cambio de velocidad, dispositivos de seguridad y control, iluminación, ciclovías, etc.

E. ANTECEDENTES ECONÓMICOS

Los factores económicos que condicionen mayormente una solución son el costo de la construcción y los beneficios que ésta reporta. En aquellos proyectos que a juicio del MOPC lo requieran, se debe justificar la rentabilidad estimada del proyecto a diseñar mediante un estudio técnico-económico en que se analicen las que a juicio de los especialistas involucrados parezcan ser las mejores alternativas de solución.

Entre los costos se debe considerar los efectos negativos secundarios del diseño propuesto, por ejemplo los beneficios negativos que sobre los usuarios o los habitantes de la zona del cruce representa la eliminación de ciertos movimientos. También se debe incorporar al análisis de rentabilidad que asiste las decisiones de construir, aunque sea sólo como externalidades, los aspectos de índole ambiental que se encuentren involucrados en la zona afectada.

3.1.1.9.4. ELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN TIPO

A. ASPECTOS GENERALES

En el primero de los dos Tópicos que constituyen la presente sección se presenta una clasificación de Intersecciones según la forma y operación de las mismas en términos muy generales. En el segundo se describe varios tipos de Intersecciones, los cuales abordan según diversos esquemas de funcionamiento el problema fundamental que ellas deben resolver.

B. DENOMINACIÓN Y CLASIFICACION DE INTERSECCIONES

Los tipos básicos de intersección se definen por el número de ramas confluentes y por su forma de operar con respecto a los conflictos de trayectorias.

Con respecto a lo primero, se llamará intersecciones francas, o simplemente intersecciones, a aquellas en las cuales al menos uno de los movimientos vehiculares se cruza con otro en un área reducida y predeterminada del dispositivo; a diferencia de lo que ocurre en las rotondas, donde los movimientos vehiculares que tienen distintos orígenes y destinos interactúan trenzando sus trayectorias a lo largo de un tramo anular del dispositivo. Unas y otras pueden ser de tres, cuatro o más ramas.

Cada uno de los tipos de intersecciones que resulta de combinar estos rasgos presenta, además, variaciones que dependen principalmente del tratamiento geométrico que reciban las vías en el área de confluencia. En efecto, la forma de resolver los conflictos de cruce, el ángulo en que se cortan las vías, esviaje, y la existencia o no de ensanches y canalizaciones determinan los tipos de intersecciones presentados en la *Figura 3.1_41 (TIPOS BÁSICOS DE INTERSECCIONES) (Anexo III)*.

Que una intersección sea semaforizada no siempre es relevante para su diseño geométrico.

Tal regulación hace aparecer en estos dispositivos velocidades de operación localmente nulas, pero ello no altera la necesidad de determinar velocidades de proyecto mayores que cero para todos los movimientos que se producen en las mismas, y estas velocidades determinan a su vez parámetros de diseño que son comunes a todas las intersecciones.

Las variaciones que el uso de semáforos puede inducir en las dimensiones de algunas unidades constitutivas de las intersecciones no alteran, por lo general, lo esencial de los diseños. Es

el caso de la longitud de almacenamiento para los carriles de viraje, que en ciertos casos podría aumentar o disminuir, y también el de la generación de carriles adicionales en las líneas de parada, asociadas preferentemente a movimientos de viraje, las cuales podrían justificarse también sin la existencia de dicha forma de control.

Las intersecciones de tres ramas son, por lo general, la conexión terminal de una carretera (secundaria) con otra (primaria) que recibe o provee los flujos de la primera. Tal relación se manifiesta y es refrendada por la continuidad direccional de la carretera primaria y por sus flujos mayoritarios.

En la medida que estos rasgos sean claros se dice que la intersección es un empalme tipo “T”. Si el ángulo de incidencia de la carretera secundaria sobre la primaria se hace $65^\circ (= 58,5^\circ)$, si esta última presenta un cambio de dirección precisamente en el punto donde la secundaria empalma, o si ambas cosas se producen a la vez, suele decirse que la intersección es un empalme en “Y”. Si a estas últimas características geométricas se agrega similitud de demanda en todos los pares orígenes-destino posibles en la intersección, es posible que se deba diseñar una rotonda.

En las intersecciones de cuatro ramas también se puede distinguir, por lo general, una vía primaria, con demanda y trazado predominante, y otra secundaria, cuya geometría aparece subordinada a la anterior y cuyos flujos, comparativamente menores, presentan una mayor componente de virajes hacia y desde la principal. Asimismo, si los flujos son parecidos en ambas vías, y además se tiene virajes a la izquierda relativamente equilibrados, se debe tener presente que las rotondas suelen ser una mejor solución que las intersecciones francas en términos de capacidad.

Si ambas carreteras se encuentran con un esviaje $35^\circ (= 31,5^\circ)$ se suele hablar de una “cruz” (+). En caso contrario se dice que la intersección es una “X”.

Las intersecciones de más de cuatro ramas son indeseables, de la misma manera que lo son los empalmes y los cruces fuertemente enviados. Esta inconveniencia crece rápidamente con la importancia de la intersección. En las Figuras I y II del Figura 3.1_42 (MODIFICACIONES DE TRAZADO POR NÚMERO DE RAMAS Y ES VIAJE) (Anexo III) se muestran formas de mejorar tales situaciones.

Las rotondas son materia descrita en el numeral 3.1.1.9.5, En el numeral G.6 se entrega los fundamentos para el cálculo de la capacidad en estos dispositivos.

C. TIPOS Y EJEMPLOS DE INTERSECCIONES FRANCA

C1. Intersección no canalizada, simple

El tratamiento mínimo que se puede dar a la intersección de carreteras de dos o más carriles es la de pavimentación completa de toda la superficie de cruzamiento. Se entiende por esto la pavimentación de los accesos a la intersección y de los redondeos de las esquinas mediante arcos de radios mínimos que facilitan los giros del vehículo tipo elegido para el diseño.

La pendiente de la superficie de cruzamiento debe ser razonablemente uniforme. No se debe introducir cambios de pendiente en la zona de cruzamiento, porque éstos dificultan las maniobras del conductor en momentos críticos. Por lo tanto, se aconseja coordinar las pendientes transversales y los bombeos de la carretera primaria, o de ambas, con las pendientes longitudinales de la secundaria. Los requisitos que plantea el drenaje superficial condicionan fuertemente el diseño en elevación de estas intersecciones.

Los anchos normales del pavimento de los caminos se mantienen, y se agrega sólo lo necesario para las zonas de giro. El tipo de intersección no canalizada simple se recomienda para caminos locales de poca importancia; se puede aceptar también para caminos de dos carriles con bajo tránsito en zonas rurales. En zonas urbanas y suburbanas se puede aceptar estos diseños incluso si los volúmenes de tránsito que las demandan son algo mayores.

Las Figuras A y B de la Figura 3.1_43 (EMPALMES E INTERSECCIONES SIMPLES) (Anexo III), ilustran un empalme y un cruzamiento sencillos.

Este tipo de diseño requiere mantener ángulos de cruzamiento entre $60^\circ (= 54^\circ)$ a $120^\circ (= 108^\circ)$. En las Figuras III, IV, V y VI de la Figura 3.1_42 (MODIFICACIONES DE TRAZADO POR NÚMERO DE RAMAS Y ESIVIAJE) (Anexo III) se muestra criterios para obtener cruces perpendiculares en intersecciones muy esviadas.

C2. Ensanches en la sección de los accesos al cruce

Cuando las velocidades de proyecto de los caminos en cuestión sean elevadas, o cuando el número de movimientos de giro sea suficiente para crear problemas al tránsito directo y a la vez no exista espacio o presupuesto suficiente para recurrir a una canalización de la intersección, se puede recurrir al ensanche de los caminos en la zona de cruzamiento. Este recurso de diseño aumenta la capacidad de cruce y separa los puntos de conflicto. También permite crear zonas de protección para los vehículos de maniobras más lentas, con lo que facilita los flujos de tránsito directo, dependiendo de la cuantía de los flujos que demandan el cruce puede variarse la disposición del ensanche, obteniéndose con ello el efecto deseado.

La Figura 3.1_44 ilustra las distintas posiciones en que se puede agregar un carril a la carretera principal, según la necesidad impuesta por los flujos con volúmenes mayoritarios. Las demandas que justifican estas inversiones no pueden ser establecidas con precisión sino a partir de la modelación de cada caso, puesto que los beneficios obtenidos dependen de la cuantía y distribución de las combinaciones de flujos conflictivos.

Se analizarán los siguientes casos:

El volumen de giros a la derecha desde la carretera principal a la que empalma y viceversa, son considerables y los movimientos de giro a la izquierda no son conflictivos (*inciso A de la Figura 3.1_44 (ENSANCHES PARA EMPALMES "I" O "Y" E INTERSECCIONES EN CRUZ) (Anexo III)*): Se dispone un carril de deceleración en su sector de llegada al empalme, con longitud calculada según las Tabla 3.1_58 y Tabla 3.1_59.

Los movimientos de giro a la izquierda desde el camino principal representan un volumen importante y los giros a la derecha desde este mismo son despreciables (*inciso B de la Figura 3.1_44 (ENSANCHES PARA EMPALMES "I" O "Y" E INTERSECCIONES EN CRUZ) (Anexo III)*). Se dispone un carril auxiliar en el camino principal, opuesto al camino interceptado. Este carril permite, a los vehículos que continúan directo por el camino principal, proseguir sin interferencias con los vehículos que esperan para girar a la izquierda en el camino que empalma.

Los movimientos de giro a la izquierda desde el camino principal representan un volumen importante y el volumen de giros del camino interceptado hacia la izquierda también es considerable (*inciso C del Figura 3.1_44 (ENSANCHES PARA EMPALMES "I" O "Y" E INTERSECCIONES EN CRUZ) (Anexo III)*). Similar al anterior, pero con el carril auxiliar de ensanche al centro, mediante una separación de los carriles directos. Tiene el mismo efecto que el anterior pero más marcado; además facilita el giro a la izquierda desde el camino interceptado, no así el giro hacia la derecha desde éste.

Cuando el volumen de movimientos de giro lo justifica, se debe ensanchar los accesos a la intersección como lo indica en forma general el *inciso D de la Figura 3.1_44 (ENSANCHES PARA EMPALMES "I" O "Y" E INTERSECCIONES EN CRUZ) (Anexo III)*. Esto da a la intersección una capacidad adicional tanto para los movimientos de giro como para el tránsito directo.

Un carril auxiliar adicional en la zona de intersección a cada lado de la calzada normal permite a los vehículos de tránsito directo adelantar a los vehículos que se preparan para maniobras de giro.

El ensanche se puede lograr mediante carriles auxiliares, como se muestra en el *inciso D de la Figura 3.1_44 (ENSANCHES PARA EMPALMES “I” O “Y” E INTERSECCIONES EN CRUZ) (Anexo III)*. Sus longitudes serán las correspondientes a las de las *Figuras 3.1_59 (PISTAS DE DECELERACIÓN CASO I: DIRECTA) (Anexo III)* y *60 (PISTAS DE DECELERACIÓN CASO II: EN PARALELO) (Anexo III)*, pero nunca inferiores a 100 metros como mínimo.

Se puede aumentar la seguridad en la zona de cruzamiento de una intersección ensanchada, no canalizada, mediante el uso de pintura de pavimento o lomadas. La *Figura 3.1_63 (PISTA DE DECELERACIÓN CENTRAL) (Anexo III)* muestra una intersección ensanchada en la que se separan los carriles en distinto sentido mediante demarcación en el pavimento, la que tiene un efecto similar al que tendrán las islas que se describirán más adelante. En el ejemplo recién citado, el ensanche se ha delineado en tal forma como para permitir la separación de los flujos. Además ha provisto una zona protegida para los virajes a la izquierda en el acceso mismo al cruce.

La demarcación en el pavimento debe desarrollarse gradualmente con su vértice en el comienzo del ensanche, y con un ancho en su punto máximo de 4 m por lo menos. El ensanche debe permitir carriles con un ancho libre al menos un metro superior a los carriles de la carretera en sección normal de aproximación.

La demarcación en el pavimento no es tan efectiva como las islas delineadoras elevadas con soleras montables, pero las primeras no representan el riesgo de impacto que las segundas siempre conllevan.

Se recomiendan para Intersecciones de carreteras de 2 carriles, con alta Velocidad de Proyecto, en zonas rurales donde las Intersecciones no son frecuentes y los cruces a la izquierda son especialmente peligrosos.

C3. Intersecciones canalizadas

C.3.1. Aspectos generales

Los empalmes y las intersecciones que tienen una gran superficie pavimentada, como son aquéllas que tienen radios de giros amplios, un esviaje fuerte o ambos, permiten movimientos peligrosos e inducen a confusión a los conductores. En estas Intersecciones se hace difícil el control de las maniobras de cruzamiento o intercambio, y los peatones tienen que cruzar largas zonas sin protección. Por último, estas soluciones no son económicas ya que exigen pavimentar grandes superficies que no se utilizan.

Todos estos conflictos se pueden reducir en intensidad y en extensión utilizando diseños que incluyan islas que restrinjan la circulación de los vehículos a las trayectorias más apropiadas dentro de la zona de cruzamiento. Se dirá que un empalme o una intersección están canalizados cuando las corrientes de tránsito que en ellas circulen estén independizadas en trayectorias convenientes, definidas mediante el empleo de islas.

C.3.2. Canalización de empalmes, islas divisorias y vías de giro

Las islas se usan, generalmente, en empalmes importantes; también en empalmes menores cuando el esviaje es pronunciado. En los puntos en que se justifican radios mayores a los mínimos, se puede considerar que los ramales se transforman en vías independientes de giro a la derecha.

Se diseña un carril de giro cuando el volumen de virajes en un cuadrante es considerable o cuando el ángulo de giro es muy agudo debido al esviaje del cruce. En el *inciso A de la Figura 3.1_45* se muestra un carril de giro a la derecha desde la carretera primaria o de paso, obtenido mediante el diseño de una isla triangular.

El *inciso B de la Figura 3.1_45 (EMPALMES CANALIZADOS VALIDOS PARA TIPOS “X” O “Y”) (Anexo III)* muestra un empalme en que las velocidades y el volumen de virajes justifican

carriles independientes de giro a la derecha, hacia y desde el camino secundario, con radios mayores que los mínimos. Esta forma de diseño no mejora los giros a la izquierda, e incluso debe diseñarse de manera que las islas no permitan a los vehículos del camino principal entrar por el carril de giro que no corresponde. En caminos de dos carriles en que se justifican los carriles independientes de giro, también suele justificarse un ensanche en el camino directo como se describió en el párrafo anterior (*inciso C de la Figura 3.1_45 (EMPALMES CANALIZADOS VALIDOS PARA TIPOS "X" O "Y") (Anexo III)*)

Otra forma de lograr la canalización en el camino interceptado es mediante una isla divisoria como la indicada en el *inciso C de la Figura 3.1_45 (EMPALMES CANALIZADOS VALIDOS PARA TIPOS "X" O "Y") (Anexo III)*. El espacio necesario para la ubicación de esta isla se obtiene ensanchando gradualmente el camino y usando radios de giro mayores que los mínimos en el viraje a la derecha. El término de la isla se diseña a 2 ó 3 metros del borde del pavimento del camino directo, para dar cabida a los movimientos de giro a la izquierda. El diseño de las islas divisorias se analiza en el *numeral 3.1.1.9.5 (D)*.

En carreteras de dos carriles con volúmenes de tránsito alto, se aconseja diseñar carriles separados para cada uno de las corrientes importantes. En el *inciso D de la Figura 3.1_45 (EMPALMES CANALIZADOS VALIDOS PARA TIPOS "X" O "Y") (Anexo III)*, esto se ha conseguido mediante el empleo de dos islas (canalizadoras) y una isla divisoria en el camino directo. Un diseño como éste se calcula para volúmenes grandes de tránsito, con volúmenes horarios de punta sobrepasando los 500 vehículos. La posición y formas de la isla pueden variar en cada diseño de acuerdo a las conveniencias en cada caso.

Cuando los caminos se encuentran en ángulos agudos formando un empalme neto en "Y", el riesgo de encuentros de frente se disminuye canalizando los movimientos como se muestra en *inciso A de la Figura 3.1_46 (EMPALMES CANALIZADOS EN "Y") (Anexo III)*. La vía e-f ahí señalada queda subordinada a las direcciones más importantes. Los ángulos de encuentro para el tránsito en esta vía quedan aproximadamente rectos.

Este diseño exige una separación explícita de las corrientes en e-f como se ve en dicho *Figura 3.1_46 (EMPALMES CANALIZADOS EN "Y") (Anexo III) inciso A*. La isla debe hacerse lo mayor posible, entre 35 y 50 m².

Este tipo de solución supone la aparición de dos intersecciones adicionales, por lo que su implantación debe ser cuidadosamente comparada con alternativas desniveladas. Cuando el empalme de un camino de una calzada con otro de calzadas separadas presenta esvaje, éste puede tomar la forma que se indica en el *Figura 3.1_46 (EMPALMES CANALIZADOS EN "Y") (Anexo III) inciso B*. Si el giro hacia la derecha desde el camino interceptado fuera considerable y fuera conveniente realizarlo a velocidades más altas que las mínimas, se puede mejorar el enlace haciendo una salida de un carril directo, como la que se indica punteada en el Gráfico.

A continuación, se analizarán diseños canalizados de elevado costo, que se justifican en carreteras con volúmenes altos en todos los sentidos. Los mostrados en la *Figura 3.1_47 (EMPALMES CANALIZADOS DE ALTO COSTO) (Anexo III) incisos A y B* se recomiendan para cruces del tipo "T" y el del inciso C para empalmes de tipo "Y" en ángulos bastante agudos, en los que además se den condiciones muy especiales para el giro a la izquierda, como se comentará más adelante.

El primero de los nombrados (inciso A) se recomienda como empalme de dos caminos de dos carriles en los cuales los volúmenes se aproximan a su capacidad, la calzada del camino directo se ensancha hasta conformar una sección de 4 carriles separados por islas divisorias, de modo que cada corriente de tránsito cuente con un carril por separado. En el camino interceptado, mediante islas, se separa también cada corriente en vías independientes.

En el inciso B se muestra un empalme semejante, pero diseñado cuando el camino directo tiene calzadas unidireccionales, separadas por un cantero central entre 5 y 10 metros de ancho. Mediante reducciones del cantero central en la zona de intersección se proveen carriles auxiliares para los vehículos que giran a la izquierda, que los protegen del tránsito directo. Estas vías de giro se calculan según lo expresado en la *Figura 3.1_48 (INTERSECCIONES CANALIZADAS) (Anexo III)*. La canalización en el camino interceptado es similar a la anterior, con el agregado de un carril auxiliar de deceleración y un incremento de los radios mínimos de las curvas, todo lo cual facilita el movimiento del tránsito.

Como último caso se presenta un esquema de empalme entre caminos de varios carriles que es especialmente apropiado cuando el camino interceptado presenta volúmenes de punta muy pronunciados y de corta duración.

Por ejemplo, entradas a una fábrica, estadio u otros lugares de recreación. La corriente que gira a la izquierda desde el camino directo al camino interceptado (*e-f en el inciso C de la Figura 3.1_47 (EMPALMES CANALIZADOS DE ALTO COSTO) (Anexo III)*), sale primeramente a la derecha para luego cruzar la carretera. La particularidad de esta intersección es que puede dar un buen servicio para volúmenes pequeños, pero que a su vez es muy efectiva para volúmenes altos regulados adecuadamente por medio de semáforos. Determinar la cuantía de los giros que justifican uno u otro modo de regulación es materia de un análisis económico.

Para aumentar la capacidad del empalme se aumenta el ancho del ramal de salida a dos o más carriles frente al cruce de la carretera, a la vez que se dan las distancias necesarias para que los vehículos detenidos no entorpezcan otras corrientes. Las islas en el camino interceptado separan todas las corrientes en carriles separados que se deben diseñar de acuerdo a los volúmenes actuantes. Dependiendo de los anchos de pavimento y mediante un adecuado control de tiempos de semáforos, este empalme puede atender volúmenes de servicio del orden de 500 a 1.000 Veh/h.

C.3.3. Canalización de intersecciones

Los principios generales de diseño, el uso de pavimento auxiliar, así como la disposición de islas y el análisis hecho para empalmes, es válido para intersecciones.

En las intersecciones en que se tiene volúmenes de tránsito de alguna importancia y disponibilidad de espacio, se puede considerar el diseño de carriles independientes para los giros a la derecha (*de la Figura 3.1_48 (INTERSECCIONES CANALIZADAS) (Anexo III) inciso A*).

Estos carriles auxiliares permiten circunscribirse mejor a los vehículos largos en las curvas de radios mínimos o pequeños. Cuando el ángulo de giro en la intersección es muy superior a 100° ($= 90^\circ$), la canalización permite reducir considerablemente la zona pavimentada. Cuando el espacio lo permite y los movimientos de giro son importantes se puede diseñar carriles de giro en los cuatro cuadrantes. Sólo si los volúmenes son bajos y los movimientos de giro no son muy importantes, se recomienda este diseño con secciones de dos carriles. Si los volúmenes lo requieren debe recurrirse a ensanchar la zona de cruzamiento, incluso se debe introducir, en caminos de calzada simple, un cantero central en la zona de la intersección para separar los flujos de tránsito de paso, como lo indica la *Figura 3.1_48 (INTERSECCIONES CANALIZADAS) (Anexo III) inciso D*.

En este diseño, el vértice del cantero central queda ubicado en el punto donde comienza el ensanche de dos a cuatro carriles. El diseño del camino interceptado es independiente de este cantero central, y puede tomar diferentes formas. En el que se presenta en la Figura se ha dado mayor importancia al giro a la derecha desde c. *Figura 3.1_49 (INTERSECCIONES CON IMPORTANTES GIROS A LA IZQUIERDA EN UN CUADRANTE) (Anexo III)* se pueden ver diseños en que se individualizan en forma cada vez más notoria las corrientes

del flujo principal. En el inciso A, el giro a la izquierda desde a - a - d se hace desde un carril conseguido en el cantero central. En el inciso B se ha materializado el refugio con una isla separadora en la zona del cantero central que se ha angostado en el acceso al cruce.

El inciso C, presenta una solución para una intersección con fuerte tráfico de paso en ambas carreteras y alto volumen de giros a la izquierda en un cuadrante. Se crean dos nuevas intersecciones, las cuales deben distar de la inicial un mínimo de 100 metros.

C4. Intersecciones en estrella

Las Intersecciones en estrella se deben evitar siempre que sea posible. Cuando no se pueda, se debe recurrir a cambios de alineación en los accesos al cruce para sacar los movimientos conflictivos de la intersección principal. Se crean así Intersecciones subordinadas, las que tienen menos movimientos permitidos.

Se debe cuidar principalmente que las distancias entre el cruce principal y las Intersecciones subsidiarias sean suficientemente amplias como para no constituir problemas de visibilidad. Estos casos deben diseñarse para ser operados a velocidades bajas, no superiores a 50 (Km/h). La *Figura 3.1_ 42 Figuras I y II*, muestran en forma esquemática la disposición de islas y canales que facilitan la regulación del cruce. El inciso VI de la misma Figura, muestra una intersección de dos caminos importantes en que el esvía del cruce hace necesaria una rectificación del trazado del camino secundario respecto del otro. Se ha provisto vías de giro especiales para atender el volumen también importante de giros.

C5. Intersecciones rotatorias

Estas Intersecciones serán tratadas en forma especial en el *numeral 3.1.1.9.5 (G)*, ya que su funcionamiento difiere fundamentalmente de los otros tipos expuestos en la presente sección.

3.1.1.9.5. DISEÑO GEOMÉTRICO DE UNA INTERSECCIÓN

A. ASPECTOS BÁSICOS DEL TRAZADO

La mejor solución para una intersección es la más simple y segura que sea posible. Cada punto de conflicto debe ser tratado cuidadosamente, recurriendo a todos los elementos disponibles (ensanches, islas, carriles auxiliares, etc.) para que el dispositivo resultante evite maniobras difíciles o peligrosas, no imponga recorridos superfluos y sea fácilmente señalizable.

Para lograr tal diseño se debe tener presente los siguientes principios:

A1. Preferencia de los movimientos más importantes

Los movimientos más importantes deben tener preferencia sobre los secundarios. Esto obliga a limitar los movimientos secundarios con señales adecuadas, reducción de anchura de vías, introducción de curvas de radio pequeño. Eventualmente, convendrá eliminarlos totalmente.

A2. Reducción de las áreas de conflicto

Las grandes superficies pavimentadas invitan a los vehículos y peatones a movimientos erráticos, que promueven accidentes y disminuyen la capacidad de la intersección. Estas grandes áreas son características de las intersecciones oblicuas y una de las causas por las que ese tipo de intersecciones no sean recomendables.

A3. Perpendicularidad de las trayectorias cuando se cortan

Las intersecciones en ángulo recto son las que proporcionan las mínimas áreas de conflicto. Además, disminuyen los posibles choques y facilitan las maniobras, puesto que permiten a los conductores que cruzan juzgar en condiciones más favorables las posiciones relativas de los

demás. Se recomiendan intersecciones con ángulos comprendidos entre 65° ($=58,5^{\circ}$) y 135° ($=121,5^{\circ}$).

A4. Separación de los puntos de conflicto

Mediante una canalización adecuada pueden separarse los puntos de conflicto de una intersección, de modo que los conductores no necesitan atender simultáneamente a varios vehículos. En las intersecciones reguladas con semáforos puede convenir, en ciertos casos, concentrar algunos puntos de conflicto, ya que la separación en el tiempo sustituye a la separación en el espacio.

A5. Separación de los movimientos

Cuando la intensidad horaria de proyecto de un determinado movimiento es importante, del orden de 25 o más vehículos, es conveniente dotarle de una vía de sentido único, completándola con carriles de aceleración o deceleración si fuera necesario. Las islas que se dispongan con este objeto permiten la colocación de las señales adecuadas.

A6. Control de la velocidad

También mediante la canalización puede controlarse la velocidad de los flujos que entran en una intersección, disponiendo curvas de radio adecuado o ensanchando las calzadas. Esta última disposición permite, además de reducir la velocidad, evitar los adelantamientos en las áreas de conflicto.

A7. Control de los puntos de giro

La canalización permite evitar giros en puntos no convenientes empleando islas adecuadas que los hagan materialmente imposibles o muy difíciles.

La seguridad es mayor si se disponen islas con cordones que si la canalización se obtiene mediante marcas pintadas en el pavimento.

A8. Creación de zonas protegidas

Las islas proporcionan a los vehículos espacios protegidos en las calzadas para esperar una oportunidad de paso. Asimismo, son de utilidad cuando un vehículo necesita cruzar varios carriles de circulación, pudiéndolo hacer por etapas sucesivas, sin necesidad de esperar a que simultáneamente se produzca en todas las vías la interrupción de tráfico necesaria.

A9. Visibilidad

La velocidad de los vehículos que acceden a la intersección debe limitarse en función de la visibilidad, incluso llegando a la detención total. Entre el punto en que un conductor pueda ver a otro vehículo con preferencia de paso y el punto de conflicto debe existir, como mínimo, la Distancia de Frenado (*Tabla 3.1_44*).

A10. Previsión

En general, la canalización exige superficies amplias en las intersecciones. Esta circunstancia debe tenerse en cuenta al autorizar construcciones o instalaciones al margen de la carretera y en los proyectos de nueva construcción.

A11. Sencillez y claridad

Las intersecciones complicadas, que se prestan a que los conductores duden, no son convenientes; la canalización no debe ser excesivamente complicada ni obligar a los vehículos a movimientos molestos o recorridos demasiado largos.

B. DISTANCIAS DE VISIBILIDAD

B1. Aspectos generales

La Distancia de Visibilidad es uno de los elementos más importantes en la seguridad de un camino y su provisión posibilita una operación eficiente.

En este Capítulo se señalarán medidas de diseño necesarias para que una intersección ofrezca, en todos sus puntos, suficiente visibilidad como para permitir a un conductor realizar las maniobras necesarias para cruzar con seguridad y con el mínimo de interferencias. Condición supuesta para ello será que los conductores se aproximen a dicha intersección a una velocidad compatible con la Velocidad de Proyecto del elemento por el cual circulan.

Las distancias mínimas de visibilidad que se consideran seguras en una intersección están relacionadas directamente con la velocidad de los vehículos y las distancias recorridas durante tiempos normales de percepción, reacción y frenado, bajo ciertas hipótesis de condiciones físicas y de comportamiento de los conductores.

B2. Visibilidad y distancia de parada en intersecciones

Aunque la provisión de adecuada visibilidad y de apropiados sistemas de control puede reducir significativamente la probabilidad de accidentes en intersecciones, la ocurrencia de éstos dependerá del juicio, habilidades y respuestas de los conductores por separado.

En todo punto de una carretera el conductor debe tener visión plena, en el sentido de su marcha, en una longitud por lo menos igual a la Distancia de Frenado.

En una intersección, el conductor de cualquier vehículo, en cualquiera de las trayectorias que recorra, debe tener visibilidad sobre la intersección y sus accesos con un tiempo suficiente para detener su vehículo antes del cruce, si tal fuese la maniobra necesaria para evitar un siniestro.

B3. Triángulos de visibilidad

En una intersección la visibilidad necesaria para maniobrar en forma segura no se refiere sólo al camino en que se desplaza el vehículo, sino que se extiende en el sentido lateral, de manera que permita al conductor observar los vehículos que accedan al cruce coincidentemente con él.

Se llama triángulo de visibilidad a la zona libre de obstáculos que permite, a los conductores que acceden simultáneamente, verse unos a otros y observar la intersección a una distancia tal que sea posible evitar conflictos (*ver Figura 3.1_50*).

Cualquier objeto de una altura determinada, que quede dentro del triángulo de visibilidad y que pueda obstruir parte de la visibilidad requerida, debe removerse o reducirse a una altura límite. Esta altura depende de las alturas relativas de las vías y debe ser estudiada en cada caso.

Si el triángulo de visibilidad fuese imposible de obtener, se debe limitar la velocidad de aproximación a valores compatibles con el triángulo de visibilidad existente.

B4. Triángulo mínimo de visibilidad

Consecuentemente con estas definiciones, el triángulo mínimo de visibilidad que se considera seguro corresponde a dicha zona triangular que tiene como lado, sobre cada camino, una longitud igual a la Distancia de Frenado.

Todo conductor puede acelerar, decelerar o detenerse. En cada intersección, y para cada uno de dichos casos, la relación espacio – tiempo – velocidad indica el triángulo de visibilidad que se requiere libre de obstáculos y permite establecer las modificaciones de las velocidades de aproximación cuando no se dispone de una visibilidad adecuada.

Después que un vehículo se ha detenido en una intersección, su conductor debe tener suficiente visibilidad para poder concretar una salida segura a través del área común del cruce. El diseño de la intersección deberá proveer visibilidad adecuada para cualquiera de las varias maniobras

posibles en ella, tales como cruzar la vía que se intercepta o ingresar a ella. Estas maniobras deben ser asistidas con visibilidad suficiente, del mismo modo que se las debe garantizar a los vehículos que se aproximan desde la vía principal, por la derecha o por la izquierda.

La distancia “*d*” es la distancia recorrida por un vehículo sobre la calzada de paso principal, transitando a la Velocidad de Proyecto, durante el tiempo requerido para que el vehículo detenido en la vía secundaria arranque y cruce la intersección o gire hacia la rama destino en la carretera principal.

B5. Señalización de intersecciones

Toda intersección debe estar convenientemente regulada mediante señales informativas, preventivas y reglamentarias (imperativas).

Las señales informativas deben estar ubicadas a una distancia suficiente del cruce como para permitir que el conductor decida con anticipación las maniobras que debe ejecutar.

La señalización preventiva debe indicar al conductor el tipo y categoría de los caminos que forman la intersección, especificando cuál tiene preferencia sobre el otro. La señal preventiva deberá preceder a la señal reglamentaria en una distancia equivalente a 1,5 veces la de Visibilidad de Frenado correspondiente.

La señalización reglamentaria en la intersección misma será imperativa y responderá a los siguientes principios, sin perjuicio de lo dispuesto en el Volumen correspondiente de Seguridad Vial.

En toda intersección a nivel, en que al menos uno de los caminos es pavimentado, la importancia de un camino prevalecerá sobre la del otro y, por lo tanto, uno de ellos deberá enfrentar un signo PARE o una señal CEDA EL PASO.

La elección entre uno u otro se hará teniendo presente las siguientes consideraciones:

Cuando exista un triángulo de visibilidad adecuado a las velocidades de proyecto de ambos caminos y las relaciones entre flujos convergentes no exijan una prioridad absoluta, se usará el signo CEDA EL PASO, que significa, para el conductor que lo enfrenta, que éste deberá reducir la velocidad hasta la detención, si fuera necesario, para ceder el derecho de vía a todo vehículo que circula por la otra vía y cuya proximidad constituye riesgo

Cuando el triángulo de visibilidad obtenido no cumpla con los mínimos requeridos para la velocidad de aproximación al cruce, o bien la relación de los flujos de tránsito aconseje otorgar prioridad absoluta al mayor de ellos, se utilizará el signo PARE, que significa, para el conductor que lo enfrenta, que éste deberá detener completamente su vehículo y ceder el derecho a paso a los que circulan por la vía de preferencia. Podrá reiniciar la marcha sólo cuando pueda hacerlo en condiciones que eliminen toda posibilidad de accidente.

Cuando las intensidades de tránsito en ambos caminos sean superiores a las aceptables para regulación por signos fijos (Pare o Ceda el Paso), se deberá recurrir a un estudio técnico – económico que analice las posibilidades de separar niveles. En cruces de carretera se aceptará el uso de semáforos sólo como solución provisoria o inevitable.

B.5.1. Primer caso: intersección regulada con señal “ceda el paso” que exige distancias de parada antes del cruce

Las distancias de frenado que se consideran seguras en diseño de intersecciones son las mismas usadas en cualquier otro elemento de camino. Dependen de la Velocidad de Proyecto y están dadas en la *Tabla 3.1_44*. Si alguna de las carreteras presenta pendientes

longitudinales mayores de 2%, estas distancias deben corregirse de acuerdo a los criterios establecidos en el 3.1.1.6.2, punto B **DISTANCIAS DE VISIBILIDAD DE FRENADO**.

Tabla 3.1_44. DISTANCIA DE FRENADO (m) EN CRUCES E INTERSECCIONES

Velocidad de Proyecto (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Distancia de Frenado (m)	25	38	52	70	90	115	145	175	210	250

Nota.- Valores aplicables para pendiente longitudinal $i = 0\%$.

Cuando el triángulo de visibilidad no cumple las exigencias impuestas por las velocidades de proyecto de los caminos y las características del tránsito no justifican un signo PARE, se debe ajustar la velocidad de los vehículos de la carretera de menor importancia a un valor llamado velocidad crítica. La velocidad crítica para la vía secundaria depende de la Velocidad de Proyecto de la carretera preferencial y de la distancia de visibilidad que el obstáculo permite sobre la carretera secundaria (Figura 3.1_50, caso I).

Se llama velocidad crítica de la carretera B, a la velocidad única tal que la distancia d_b corresponde a la distancia de parada. Obtenido d_b se lee en la Tabla 3.1_44, la Velocidad de Proyecto que corresponde a la velocidad crítica.

Se puede calcular la velocidad crítica V_b en función de la Velocidad de Proyecto “ V_a ” de la carretera A y de las distancias a y b entre el obstáculo y la trayectoria de A y B.

Conocido V_a se conoce la distancia mínima de frenado d_a . Cuando el vehículo en A está a la distancia d_a de la intersección y los conductores en A y B pueden verse, el vehículo B está a la distancia b de la intersección. Por semejanza de triángulos se obtiene que:

$$d_b = (a \times d_a) / (d_a - b)$$

Se debe proveer a la carretera B de la señalización adecuada que indique a los vehículos la velocidad segura de aproximación a la intersección, de manera que al pasar por el punto a distancia d_b del cruce, su velocidad no sea superior a la crítica.

B.5.2. Segundo caso: intersección en que los vehículos de una carretera que acceden al cruce deben detenerse por señalización

En una intersección en que los vehículos de la carretera secundaria deben efectuar la operación de cruce desde el estado de detención total, el conductor debe tener visibilidad sobre aquella zona de la carretera principal que le permita cruzar sin riesgo, aun cuando un vehículo aparezca en el preciso instante de su partida.

La Distancia de Visibilidad sobre la carretera preferencial debe ser mayor que el producto de su Velocidad de Proyecto por el tiempo total necesario para que el vehículo detenido se ponga en marcha y complete la operación de cruce. La distancia requerida puede ser expresada como:

$$D = 0,275 \cdot V \cdot (t + ta)$$

Donde:

D = Distancia de Visibilidad sobre la carretera preferencial, expresada en metros

V = Velocidad de Proyecto de la carretera preferencial, en km/h

t = Tiempo de percepción más tiempo de arranque expresado en segundos

t_a = Tiempo requerido para acelerar y despejar la carretera principal, en segundos

El tiempo t representa el lapso entre la mirada del conductor en ambas direcciones de la carretera que va a cruzar y el instante en que pone su vehículo en movimiento. La manera de actuar de los conductores es muy variable, pero el valor de t que se aconseja es el de los conductores normalmente lentos.

Se asume en estas circunstancias un valor de 2 segundos para cruces en zona rural y un valor de 1 segundo en zonas urbanas, donde el fenómeno es más repetitivo. Se hace hincapié en que al reducir estos valores en un 50%, la distancia de visibilidad necesaria sólo se reduce en un 15%.

El tiempo t_a , que depende de la capacidad de aceleración de los vehículos tipo, también depende en forma subjetiva de los conductores. Usando valores prudenciales de aceleración, de acuerdo con los vehículos tipo seleccionados, se dan en la *Tabla 3.1_45*, los tiempos para cruzar distancias totales. Estas distancias totales de cruce se forman por adición de tres distancias parciales medidas en metros, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$S = d + C + L$$

Donde:

S = Distancia total de cruzamiento

d = Distancia de vehículo detenido hasta el borde de la calzada de la vía que se cruza; se acepta generalmente un valor de 3 metros

C = Ancho de la calzada medida según la trayectoria del vehículo que cruza

L = Largo del vehículo que cruza: Vehículo Liviano = 5,80 m; Ómnibus Interurbano = 13,2 m; Vehículo Articulado WB = 18,6 m; WB-D y T = 22,4 m

La Distancia de Visibilidad así obtenida $D = 0,275 V (t + t_a)$, resulta generalmente mayor que la distancia mínima de frenado. Esto da una seguridad adicional a los vehículos que cruzan desde el reposo.

Si la carretera que se debe cruzar tiene calzadas separadas se pueden presentar dos situaciones: que el cantero central tenga un ancho mayor o igual al largo del vehículo tipo escogido, caso en el cual se considera que el cruce se realiza en dos etapas; y que el cantero central tenga un ancho inferior al largo del vehículo, caso que obliga a incluir, como parte del término C (incorporado en la expresión $S = d + C + L$), el ancho correspondiente al cantero central.

Cuando la visibilidad a lo largo de la carretera preferencial sea inferior a la mínima calculada, debe regularse la velocidad de los vehículos de esta carretera hasta conseguir que la distancia D obtenida sea segura.

Si las condiciones son muy desfavorables se debe introducir elementos de diseño para reducir efectivamente la velocidad de aproximación al cruce. Se puede llegar incluso a recomendar la instalación de semáforos con su señalización complementaria previa, e incluso la separación de niveles.

Tabla 3.1_45. TIEMPOS (t_a) REQUERIDOS PARA CRUZAR UNA CARRETERA

Vehículo Tipo	Distancia S (m)						
	15	20	25	30	35	40	45
	ta para cruzar y recorrer S						
V. Liviano	5,0	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
Camión	-	7,5	8,5	9,0	10,0	11,0	12,0

V. Articulado	-	-	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0
---------------	---	---	------	------	------	------	------

B6. Cruces a nivel con vías férreas

En zonas rurales en que existan cruces a nivel con vías férreas en operación, que no cuenten con guarda cruce y barreras físicas operando en forma continua durante las 24 horas, se deberán considerar las siguientes normas de diseño geométrico y señalización del camino, en adición a aquellas que pueda exigir la Empresa que opera el ferrocarril y en tanto, dicha Empresa no imponga condiciones más exigentes que las que aquí se establecen.

B.6.1. Alineamiento horizontal

Es deseable que el eje del camino intercepte la vía férrea en ángulo recto o lo más próximo posible a dicha dirección. Como máximo se podrán aceptar ángulos comprendidos entre la normal a la vía férrea y el eje del camino de 25g (= 22,5°), según se ilustra en la *Figura 3.1_ 51*.

Tanto la alineación de la vía férrea como la del camino deben estar en recta para posibilitar la percepción del tren que viene por parte de un conductor detenido a 1,5 m.

Si se calcula el tiempo de cruce requerido por los distintos tipos de vehículos, se puede calcular la visibilidad mínima requerida a lo largo de la vía para que el conductor detenido en la posición avanzada de observación, adopte la decisión de cruzar o no cruzar.

Sea t_c el tiempo de cruce requerido en segundos:

$$t_c = t_{pr} + \sqrt{\frac{2 \cdot (L_v + a)}{9.81 \cdot J}}$$

Donde:

t_{pr} = Tiempo de Percepción y Reacción para iniciar el movimiento = 2s

L_v = Longitud del Vehículo que cruza

Semiremolque para Transporte de Automóviles = 22,4 m

Semirremolque Corriente = 18,6 m

Ómnibus Interurbanos = 13,2 m

Camión Simple = 11,0 m

Automóviles (Quedan cubiertos por el resto de los vehículos)

a = Ancho de la Vía Férrea Simple (1,68) + 1,5 m a cada lado \approx 4,70 m

Ancho de la Vía Férrea Doble (5,68) + 1,5 m cada lado \approx 8,70 m



J = Coeficiente de Aceleración desde la detención

Camión Transporte Automóviles y Semiremolque $J = 0,055$

Camión Simple $J = 0,065$

Ómnibus Interurbanos $J = 0,080$

Tabla 3.1_46. TIEMPOS EN CRUCES A NIVEL CON VÍAS FÉRREAS

L(m)	J	TPR	Vía Férrea Simple		Vía Férrea Doble	
				T cruce(s)		T cruce(s)
22,4	0,055	2	9,99	~ 12 s	10,84	13
18,6	0,055	2	9,26	~ 12 s	10,02	13
13,2	0,08	2	6,76	~ 9 s	7,47	10
11	0,065	2	7,02	~9 s	7,86	10

Luego la visibilidad hacia los dos lados de la vía (dv) deberá ser según la *Tabla 3.1_46*.

Tabla 3.1_47. DISTANCIAS DE VISIBILIDAD EN CRUCES A NIVEL CON VÍAS FÉRREAS

Velocidad del Tren		Vía Férrea Simple		Vía Férrea Doble	
Km/h	m/s	dvs tc =12 s	dvs tc = 9 s	dvd tc = 13 s	dvd tc = 10 s
140	38,9	467 m	350 m	506 m	389 m
120	33,4	400 m	300 m	434 m	334 m
100	27,8	334 m	250 m	361 m	278 m

En todo caso la velocidad máxima de los trenes en el sector del cruce actual y a mediano plazo debe ser informada por Ferrocarriles del Paraguay S.A.

Para que dicha visibilidad esté disponible en la práctica, la faja del ferrocarril debe estar despejada en al menos 4,0 m desde cada riel hacia el exterior.

La visibilidad por el camino hacia la zona del cruce, debe contar con una distancia de visibilidad de frenado para una velocidad equivalente a la del Percentil 85%. Si ello no fuera posible, se deberá reforzar la señalización de advertencia.

En aquellos cruces con vías férreas existentes que presenten un historial de repetidos accidentes, se podrá construir una “lomada”, en la calzada, según el diseño aprobado para áreas urbanas, el que se localizará 50 m antes del cruce ferroviario, debiendo estar debidamente señalizada.

Como mínimo, el alineamiento horizontal deberá disponer de sendos tramos rectos de 60 m de longitud, a cada lado de la línea.

B.6.2. Alineamiento vertical

En los 10 m contados hacia atrás del signo PARE, deberá diseñarse una rasante cuya pendiente máxima sea no mayor que 3%, enlazada con la rasante que la precede (según avance de la distancia acumulada), mediante una curva vertical que cumpla con los requerimientos de la velocidad máxima señalizada antes del cruce. La pendiente de dicha rasante no deberá superar un $\pm 5\%$.

B.6.3. Sección transversal

En la zona del cruce y 25 m antes y después, el ancho mínimo del pavimento será de 7,0 m contando con banquetas de al menos 2,0 m. Si el camino no tiene pavimento el ancho total de la plataforma a nivel de rasante será de al menos 10 m.

B.6.4. Ilustración gráfica de los cruces a nivel con vías férreas

Todo lo expuesto precedentemente se ilustra en la *Figura 3.1_ 51* para el tipo de cruce sin control mediante barreras de operación permanente.

C. TRAZADO EN PLANTA DE LAS VÍAS DE LA INTERSECCIÓN

C1. Aspectos generales

En los Párrafos siguientes se incluyen criterios y valores que deben ser asumidos y respetados en el diseño geométrico de los diferentes elementos que forman parte de las intersecciones. Algunos de estos elementos están presentes también en los enlaces, donde son aplicables los mismos criterios y valores.

Los factores básicos de diseño son la importancia de la intersección y la disponibilidad de recursos para diseñar una solución óptima. Estos factores se pueden expresar en términos técnicos mediante herramientas socioeconómicas que permiten cifrar de alguna manera dicha importancia y disponibilidad.

En los casos en que la intersección sea de poca importancia y escaso tránsito, o que los costos de ejecución superen los beneficios sociales de la inversión, su diseño responderá a los mínimos admisibles de acuerdo al radio mínimo de giro del vehículo tipo seleccionado, circulando a velocidades de 15 km/h o menores.

Cuando la importancia de la intersección así lo exija y los beneficios sociales de las inversiones superen los costos respectivos, el diseño estará controlado por la Velocidad de Operación que se desee obtener en los diversos elementos del cruce y por lo tanto serán aplicables las normas aquí expuestas.

C2. Trazados mínimos absolutos de bordes en giros sin canalizaciones

Cuando el espacio disponible para la intersección sea muy reducido, o los movimientos de giro de muy poca importancia, se podrá utilizar intersecciones de trazado mínimo. En estos casos el diseño está gobernado exclusivamente por las trayectorias mínimas de giro del vehículo tipo elegido.

Los diseños de borde para giros recomendados en las *Tabla 3.1_ 48* y *Tabla 3.1_ 49* provienen de "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets" (AASHTO; USA, 2011). Las figuras correspondientes se presentan en el *Anexo IV (Figura 3.1_111 a la Figura 3.1_ 127)*. Los radios mínimos que allí se indican están referidos al borde interior del pavimento en la curva y diseñados para las siguientes condiciones de operación:

- Velocidad de giro hasta 15 Km/h
- Inscripción en la curva sin desplazamiento a los carriles vecinos tanto en la entrada como en la salida
- Distancia mínima de las ruedas interiores al borde del pavimento de 0,30 m, a lo largo de la trayectoria
- Giros a la derecha y a la izquierda

Los vehículos considerados en dichas Tabla son:

Vehículo liviano. Corresponde al vehículo "P" de AASHTO.

Camión simple. El borde de giro para vehículo SU fue adaptado para los ómnibus interurbanos de 13,2 y 14,0 m (Vehículos SU-9, SU-12, BUS-12, BUS-14, CITY-BUS, S-BUS 11, y S-BUS 12).

Tracto camión con semi-remolque corriente (WB-12, WB-19 y WB-20).

Tracto camión con semi-remolque doble y triple (WB-28D, WB-30T y WB-33D).

La *Tabla 3.1_ 48* recomienda curvas simples de radio único para ángulos de giro pequeños y vehículos menores. A medida que el ángulo de giro crece y el vehículo de diseño es más grande, los mínimos en cuestión se transforman en curvas circulares también simples, pero con retranqueos y cuñas que mejoran las condiciones de los giros y disminuyen la superficie pavimentada. La *Tabla 3.1_ 49* presenta soluciones alternativas que permiten mejor desempeño de los vehículos en la medida que éstos crecen en tamaño y giran ángulos mayores.

Aun cuando las soluciones indicadas en dichas Tabla son adecuadas en la mayoría de los casos, el proyectista podrá ensayar otras en casos especiales. El uso de alineaciones con clotoides es una alternativa posible para las curvas compuestas allí tabuladas, previa comparación de la geometría resultante con las trayectorias de los vehículos tipo.

Tabla 3.1_ 48. TRAZADOS MÍNIMOS DEL BORDE INTERIOR DE LA CALZADA EN INTERSECCIONES NO CANALIZADAS CURVA SIMPLE ($V_p \leq 15$ km/h)

Ángulo de Giro (°)	Vehículo de Diseño	Radio de Curva Simple (m)	Radio de Curva Simple con Cuña		
			Radio (m)	Retranqueo (m)	Cuña L:T
30°	P	18	-	-	-
	SU-9	30	-	-	-
	SU-12	43	-	-	-
	WB-12	45	-	-	-
	WB-19	110	67	1	15:1
	WB-20	116	67	1	15:1
	WB-28D	111	58	1	15:1
	WB-30T	77	37	1	15:1
	WB-33D	145	77	1,1	20:1
45°	P	15	-	-	-
	SU-9	23	-	-	-
	SU-12	35	-	-	-
	WB-12	36	-	-	-
	WB-19	70	43	1,2	15:1
	WB-20	76	43	1,3	15:1
	WB-28D	82	44	1,2	15:1
	WB-30T	60	35	0,8	15:1
	WB-33D	-	60	1,3	20:1
60°	P	12	-	-	-
	SU-9	18	-	-	-
	SU-12	30	-	-	-
	WB-12	28	-	-	-
	WB-19	50	43	1,2	15:1
	WB-20	60	43	1,3	15:1
	WB-28D	70	37	1,5	15:1
	WB-30T	46	29	0,8	15:1
	WB-33D	-	54	1,3	20:1

Ángulo de Giro (°)	Vehículo de Diseño	Radio de Curva Simple (m)	Radio de Curva Simple con Cuña		
			Radio (m)	Retranqueo (m)	Cuña L:T
75°	P	11	8	0,6	10:1
	SU-9	17	14	0,6	10:1
	SU-12	27	18	0,6	10:1
	WB-12	-	18	0,6	15:1
	WB-19	-	43	1,2	20:1
	WB-20	-	43	1,3	20:1
	WB-28D	-	34	1,5	15:1
	WB-30T	-	26	1	15:1
	WB-33D	-	42	1,7	20:1
90°	P	9	6	0,8	8:1
	SU-9	15	12	0,6	10:1
	SU-12	24	14	1,2	10:1
	WB-12	-	14	1,2	10:1
	WB-19	-	36	1,3	15:1
	WB-20	-	37	1,3	15:1
	WB-28D	-	30	1,8	10:1
	WB-30T	-	25	0,8	15:1
	WB-33D	-	35	0,9	20:1
105°	P	-	6	0,8	8:1
	SU-9	-	11	1	10:1
	SU-12	-	14	1,2	10:1
	WB-12	-	12	1,2	10:1
	WB-19	-	35	1	15:1
	WB-20	-	35	1	15:1
	WB-28D	-	24	2,4	10:1
	WB-30T	-	22	1	15:1
	WB-33D	-	28	2,8	20:1
120°	P	-	6	0,6	10:1
	SU-9	-	9	1	10:1
	SU-12	-	11	1,8	8:1
	WB-12	-	11	1,5	8:1
	WB-19	-	30	1,5	15:1
	WB-20	-	31	1,6	15:1
	WB-28D	-	24	2,1	10:1
	WB-30T	-	20	1,1	15:1
	WB-33D	-	26	2,8	20:1

Ángulo de Giro (°)	Vehículo de Diseño	Radio de Curva Simple (m)	Radio de Curva Simple con Cuña		
			Radio (m)	Retranqueo (m)	Cuña L:T
135°	P	-	6	0,5	10:1
	SU-9	-	9	1,2	10:1
	SU-12	-	12	1,2	8:1
	WB-12	-	9	2,5	15:1
	WB-19	-	24	1,5	20:1
	WB-20	-	25	1,6	20:1
	WB-28D	-	23	2,2	10:1
	WB-30T	-	19	1,7	15:1
	WB-33D	-	25	2,6	20:1
150°	P	-	6	0,6	10:1
	SU-9	-	9	1,2	8:1
	SU-12	-	11	2,1	8:1
	WB-12	-	9	2	8:1
	WB-19	-	18	3	10:1
	WB-20	-	19	3,1	10:1
	WB-28D	-	20	3,4	10:1
	WB-30T	-	19	2,2	10:1
	WB-33D	-	20	4,6	20:1
180°	P	-	5	0,2	10:1
	SU-9	-	9	0,5	10:1
	SU-12	-	11	2	5:1
	WB-12	-	6	3	10:1
	WB-19	-	17	3	10:1
	WB-20	-	16	4,2	10:1
	WB-28D	-	17	5,1	10:1
	WB-30T	-	17	3,1	10:1
	WB-33D	-	17	6,1	10:1

Tabla 3.1_49. TRAZADOS MÍNIMOS DEL BORDE INTERIOR DE LA CALZADA EN INTERSECCIONES NO CANALIZADAS CURVA COMPUESTA ($V_p \leq 15$ km/h)

Angulo de Giro (°)	Vehículo de Diseño	Curva Compuesta de Tres Centros (Simétrica)		Curva Compuesta de Tres Centros (Asimétrica)	
		Radio de curva (m)	Retranqueo Simétrico (m)	Radio de curva (m)	Retranqueo Asimétrico (m)
30	P	-	-	-	-
	SU-9	-	-	-	-
	SU-12	-	-	-	-
	WB-12	-	-	-	-
	WB-19	-	-	-	-
	WB-20	140-53-140	1,2	91-53-168	0,6+1,4
	WB-28D	168-16-168	1,2	61-46-168	0,6+1,8
	WB-30T	67-24-67	1,4	61-24-91	0,8-1,5
	WB-33D	168-76-168	1,5	76-61-198	0,5-2,1
45	P	-	-	-	-
	SU-9	-	-	-	-
	SU-12	-	-	-	-
	WB-12	-	-	-	-
	WB-19	140-72-140	0,6	36-43-150	1,0-2,6
	WB-20	140-53-140	1,2	76-38-183	0,3-1,8
	WB-28D	160-47-160	1,5	61-43-152	0,5-1,8
	WB-30T	76-24-76	1,4	61-24-91	0,8-1,7
	WB-33D	168-61-167	1,5	61-52-198	0,5-2,1
60	P	-	-	-	-
	SU-9	-	-	-	-
	SU-12	-	-	-	-
	WB-12	-	-	-	-
	WB-19	120-30-120	4,5	34-30-67	3,0-3,7
	WB-20	122-30-122	2,4	76-38-183	0,3-1,8
	WB-28D	146-34-146	1,8	46-34-152	0,9-2,7
	WB-30T	76-24-76	1,4	61-24-91	0,6-1,7
	WB-33D	198-46-198	1,7	61-43-183	0,5-2,4

Angulo de Giro (°)	Vehículo de Diseño	Curva Compuesta de Tres Centros (Simétrica)		Curva Compuesta de Tres Centros (Asimétrica)	
		Radio de curva (m)	Retranqueo Simétrico (m)	Radio de curva (m)	Retranqueo Asimétrico (m)
75	P	30-6-30	0,6	-	-
	SU-9	36-14-36	0,6	-	-
	SU-12	61-11-61	1,5	18-14-61	0,3-1,4
	WB-12	36-14-36	1,5	36-14-60	0,6-2,0
	WB-19	1 3 4 - 2 3 - 134	4,5	43-30-165	1,5-3,6
	WB-20	1 2 8 - 2 3 - 128	3	61-24-183	0,3-3,0
	WB-28D	1 5 2 - 2 9 - 152	2,1	46-30-152	0,3-2,4
	WB-30T	76-24-76	1,4	30-24-91	0,5-1,5
	WB-33D	2 1 3 - 3 8 - 213	2	46-34-168	0,5-3,5
90	P	30-6-30	0,8	-	-
	SU-9	36-12-36	0,6	-	-
	SU-12	61-9-61	2,1	18-14-61	0,3-1,4
	WB-12	36-12-36	1,5	36-12-60	0,6-2,0
	WB-19	1 2 0 - 2 1 - 120	3	48-21-110	2,0-3,0
	WB-20	1 3 4 - 2 0 - 134	3	61-21-183	0,3-3,4
	WB-28D	1 4 3 - 2 3 - 143	3	46-27-152	0,5-2,6
	WB-30T	76-21-76	1,4	61-21-91	0,3-1,5
	WB-33D	2 1 3 - 3 4 - 213	2	30-29-168	0,6-3,5
105	P	30-6-30	0,8	-	-
	SU-9	30-11-30	1	-	-
	SU-12	61-11-61	1,8	18-12-58	0,5-1,8
	WB-12	30-11-30	1,5	30-17-60	0,6-2,5
	WB-19	1 6 0 - 1 5 - 160	4,5	110-23-180	1,2-3,2
	WB-20	1 5 2 - 1 5 - 152	4	61-20-183	0,3-3,4
	WB-28D	1 5 2 - 2 4 - 152	2,4	46-24-152	0,6-3,0
	WB-30T	76-18-76	1,5	30-18-91	0,5-1,8
	WB-33D	2 1 3 - 2 9 - 213	2,4	46-24-152	0,9-4,6

Angulo de Giro (°)	Vehículo de Diseño	Curva Compuesta de Tres Centros (Simétrica)		Curva Compuesta de Tres Centros (Asimétrica)	
		Radio de curva (m)	Retranqueo Simétrico (m)	Radio de curva (m)	Retranqueo Asimétrico (m)
120	P	30-6-30	0,6	-	-
	SU-9	30-9-30	1	-	-
	SU-12	61-11-61	1,8	18-12-58	0,5-1,5
	WB-12	36-9-36	2	30-9-55	0,6-2,7
	WB-19	160-21-160	3	24-17-160	5,2-7,3
	WB-20	168-14-168	4,6	61-18-183	0,6-3,8
	WB-28D	152-21-152	3	46-21-137	0,9-3,2
	WB-30T	76-18-76	1,5	30-18-91	0,5-1,8
	WB-33D	213-26-213	2,7	46-21-152	2,0-5,3
135	P	30-6-30	0,5	-	-
	SU-9	30-9-30	1,2	-	-
	SU-12	61-12-61	1,2	18-12-55	0,5-1,5
	WB-12	36-9-36	2	30-8-55	1,0-4,0
	WB-19	180-18-180	3,6	30-18-195	2,1-4,3
	WB-20	168-14-168	5	61-18-183	0,6-3,8
	WB-28D	137-21-137	2,8	46-20-137	2,1-4,1
	WB-30T	76-18-76	1,7	30-18-91	0,8-2,0
	WB-33D	213-21-213	3,8	46-20-152	2,1-5,6
150	P	23-6-23	0,6	-	-
	SU-9	30-9-30	1,2	-	-
	SU-12	61-11-61	2	18-12-61	0,3-1,4
	WB-12	30-9-30	2	28-8-48	0,3-3,6
	WB-19	145-17-145	4,5	43-18-170	2,4-3,0
	WB-20	168-14-168	5,8	61-17-183	2,0-5,0
	WB-28D	107-18-107	4,6	37-20-137	1,8-4,0
	WB-30T	76-18-76	2,1	30-18-91	1,5-2,4
	WB-33D	213-20-213	4,6	61-20-152	2,7-5,6

Angulo de Giro (°)	Vehículo de Diseño	Curva Compuesta de Tres Centros (Simétrica)		Curva Compuesta de Tres Centros (Asimétrica)	
		Radio de curva (m)	Retranqueo Simétrico (m)	Radio de curva (m)	Retranqueo Asimétrico (m)
180	P	15-5-15	0,2	-	-
	SU-9	30-9-30	0,2	-	-
	SU-12	46-11-46	1,9	15-11-40	1,7-2,1
	WB-12	30-6-30	3	26-6-45	2,0-4,0
	WB-19	2 4 5 - 1 4 - 245	6	30-17-275	4,5-4,5
	WB-20	1 8 3 - 1 4 - 183	6,2	30-17-122	1,8-4,6
	WB-28D	1 2 2 - 1 7 - 122	5,1	37-18-122	2,7-4,4
	WB-30T	76-17-76	2,9	30-17-91	2,6-3,2
	WB-33D	2 1 3 - 1 7 - 213	6,1	61-18-152	3,0-6,4

En casos muy justificados en que sea necesario utilizar trazados mínimos como los que aquí se presentan, en caminos de importancia, esta Tabla o valores similares podrán utilizarse siempre que se dispongan carriles de deceleración (y aceleración en el caso de calzadas unidireccionales) para poder pasar de la Velocidad de Proyecto del camino principal a los 15 Km/h que permite el ramal de giro (y viceversa), sin disminuir la capacidad de la vía principal o crear situaciones de peligro.

Donde los ramales de giro aconsejen soleras limitando el borde del pavimento, será recomendable ampliar los radios mínimos aceptables para permitir una maniobra más expedita.

Para el replanteo de curvas de tres centros, los datos del problema son: los radios de las tres circunferencias que se enlazan entre sí y los desplazamientos o retranqueos que se da a la circunferencia de radio menor (central) con respecto a cada uno de los bordes de las calzadas que se cortan. La circunferencia de radio menor se replantea definiéndola tangente a los bordes desplazados de las calzadas y determinando los puntos de tangencia de las circunferencias mayores con los respectivos bordes de la calzada y con la circunferencia de radio menor.

La *Figura 3.1_52* ilustra el problema e indica la manera de determinar analíticamente la ubicación de estos puntos de tangencia, referidos al vértice en que se cortan las alineaciones del borde de las calzadas consideradas. Para el caso de la curva de tres centros asimétrica es necesario introducir las variaciones analíticas pertinentes.

La elección de trazados mínimos depende del tipo y tamaño de los vehículos que habrán de girar y de las facilidades que debería otorgársele a los mismos para sus maniobras. A su vez, estos asuntos dependen de otros factores, tales como el tipo, naturaleza y ubicación de los caminos que se cruzan y de las demandas respectivas; del número y la frecuencia de los vehículos más grandes que realizan movimientos de giro, y del efecto que estas maniobras producen en los demás flujos.

Por ejemplo, si la gran mayoría de los giros los ejecutan vehículos particulares, sería económicamente irracional diseñar para grandes camiones que ocasionalmente podrían invadir los carriles adyacentes, pero sin interrupciones significativas del tránsito.

Es necesario entonces analizar las trayectorias probables de vehículos de mayor tamaño que los del vehículo de diseño y las correspondientes invasiones de otros carriles, para decidir, atendiendo a todos los demás datos que sean pertinentes, el diseño mínimo más adecuado. El uso de diseños mínimos para movimientos de giro es frecuente en áreas rurales, a pesar de no existir en estos casos las restricciones propias de las ciudades, especialmente cuando la velocidad o la frecuencia de los giros son bajas.

Cada una de las *Figura 3.1_ 53, 54 y 55* muestran, para cada uno de los tres vehículos de diseño que cubren casi la totalidad de los vehículos del país, tres diseños mínimos, con parámetros no necesariamente coincidentes con los de las *Tabla 3.1_ 48 y Tabla 3.1_ 49*. Todos los casos corresponden a cruces en ángulo recto.

El diseño debe ser modificado cuando las condiciones de trazado, tales como la existencia de curvaturas previas o posteriores al giro, modifiquen las premisas de posición inicial aquí establecidas. Para ello se recomienda el uso de las plantillas correspondientes al vehículo de diseño respectivo.

Cuando los giros a la derecha sean bajos, se puede prescindir de carriles especiales para deceleración y giro. En tal caso, el diseño estructural de la banquina debe ser modificado para que su uso por parte de los vehículos que giran no la perjudique. Allí donde la frecuencia de estos giros sea superior a 25 veh/h en el año inicial, debe considerarse la provisión de tales carriles, con superficie similar a la de la calzada de paso.

C3. Trazados mínimos absolutos de curvas en intersecciones canalizadas ramales Vp - 15 Km/h

El área pavimentada en la zona de intersección crece en la medida que los ángulos de giro a la derecha se agudizan y que el vehículo tipo sea de mayor envergadura. Si se permite velocidades de giro mayores que los 15 km/h que son el límite para los trazados mínimos del párrafo anterior, con el consiguiente aumento de los radios mínimos que se debe aplicar a los bordes de giro, el área común a las ramas de origen y destino del viraje aumenta, agudizándose el problema que para los conductores representa la lectura del dispositivo y también el del aumento de los costos de pavimentación.

Las islas de canalización permiten resolver la situación planteada, al separar los movimientos de giro más importantes y conducirlos hacia ramales de giro independientes. Los elementos básicos para el trazado de ramales de giro canalizados son los siguientes:

- La alineación del borde de giro (borde interior de la curva, *Tabla 3.1_50*)
- el ancho del carril de giro (*Tabla 3.1_ 56*).
- el tamaño mínimo aceptable para la isla de canalización ($4,5 \text{ m}^2$; *Numeral 3.1.1.9.5 (D.3)*).

Estos tres controles de diseño concuerdan cuando para el borde de giro se usa curvas de radios algo mayores que las requeridas para los giros más cerrados de los diferentes vehículos tipo. Esto brinda soluciones algo más holgadas que las mínimas correspondientes al caso sin canalizar.

Las islas de canalización deben tener formas especiales que deben respetarse para que cumplan su función con seguridad. Estos elementos de diseño se encuentran descritos en el *numeral 3.1.1.9.5. (D)*.

En la *Tabla 3.1_ 50* se entregan los valores a usar en giros mínimos canalizados. Las superficies de las islas resultantes han sido calculadas y redondeadas para dichos valores, dejando 0,60 m como mínimo entre sus bordes y los bordes del pavimento. Los anchos de ramales que allí aparecen permiten que las ruedas del Vehículo Tipo seleccionado se inscriban con una holgura de 0,60 m respecto de los bordes del pavimento. En la *Figura 3.1_56 TRAZADOS PARA RAMALES DE*

GIRO CON ISLAS MÍNIMAS (Anexo III) se muestra tres ejemplos de ramales con islas triangulares mínimas.

Tabla 3.1_50. TRAZADOS MÍNIMOS ABSOLUTOS DEL BORDE INTERIOR DE RAMALES DE GIRO EN INTERSECCIONES CANALIZADAS - VP ≤ 15 km/h

Vehículo Tipo	Ángulo de Giro g / °	Curva Compuesta de Tres Centros (Simétrica)		Ancho del Ramal (m)	Tamaño aproximado de la Isla (m ²)
		Radios (m)	Retranqueo (m)		
P	85 ^g / 76,5°	45-23-45	1,00	4,20	5,50
SU y BUS		45-23-45	1,50	5,40	5,00
WB		55-28-55	1,00	6,00	5,00
P	100 ^g / 90°	45-15-45	1,00	4,20	5,00
SU y BUS		45-15-45	1,50	5,40	7,50
WB		55-20-55	2,00	6,00	11,50
P	115 ^g / 103,5°	36-12-36	0,60	4,50	6,50
SU y BUS		30-11-30	1,50	6,60	5,00
WB		55-14-55	2,40	9,00	5,00
P	130 ^g / 117°	30-9-30	0,80	4,80	11,00
SU y BUS		30-9-30	1,50	7,20	8,50
WB		55-12-55	2,50	10,20	20,00
P	150 ^g / 135°	30-9-30	0,80	4,80	43,00
SU y BUS		30-9-30	1,50	7,80	35,00
WB		48-11-48	2,70	10,50	60,00
P	165 ^g / 148,5°	30-9-30	0,80	4,80	130,00
SU y BUS		30-9-30	2,00	9,00	110,00
WB		48-11-48	2,10	11,40	160,00

Por tratarse de giros mínimos, no se consulta en estas soluciones el ensanche de las carreteras que acceden a la intersección. Por lo tanto, el tipo de islas que consultan los valores de la *Tabla 3.1_50* se refiere a islas triangulares ubicadas en los ángulos que forma la prolongación de los bordes del pavimento de las vías que se cruzan. Cuando los diseños estén por sobre los mínimos y sea posible ensanchar las vías que acceden al cruce, este tipo de islas puede reemplazarse o combinarse con islas centrales en el camino subordinado.

Diseños mayores que los mínimos no son posibles de normalizar y el proyectista deberá estudiar cada caso de acuerdo con la disponibilidad de espacio y la importancia de los giros en la intersección.

C4. Ramales de intersecciones para 25 - Vp - 65 Km/h

Cuando se diseña el o los ejes de replanteo del tronco de una carretera en el tramo de ésta que contiene una intersección, se aplica, en general, las normas para carreteras en campo abierto.

Una intersección es un dispositivo vial singular, claramente señalado, al que el conductor accede en forma consciente y en especial estado de atención. Esto refuerza su tendencia a recorrer los elementos curvos a una menor velocidad que la que el mismo comúnmente utiliza en curvas de igual radio en arcos de carreteras a campo abierto.

En las intersecciones no se presenta la dispersión de las velocidades de operación implícitas en la definición de la velocidad V85%. En efecto, los elementos amplios de las intersecciones, así como los ramales de enlace, tienen longitudes relativamente cortas, y sus circunstancias geométricas inducen actitudes y comportamientos más conservadores, por lo que no son aplicables los criterios de fondo que respaldan dicha definición de V85%. Esto hace recomendable diseñar estrictamente para la Velocidad de Proyecto. Tampoco se aplica para el diseño de elementos amplios de intersecciones el criterio que llevó a considerar la velocidad V* para la definición de los parámetros de diseño vertical. La velocidad que debe asumirse para dichos parámetros son los correspondientes a la Velocidad de Proyecto.

Un vehículo WB-D y T puede inscribir su trayectoria en un diseño para vehículo WB a baja velocidad y sin huelgas laterales.

Consecuentemente, para los elementos amplios de intersecciones se aplican las relaciones radio- peralte, que consideran que la aceleración transversal generada por el desplazamiento de un móvil según una trayectoria circular será compensada en un 25% por el peralte y en un 75% por la fricción transversal, según se expone en el numeral 3.1.1.9.5 (F.2).

En el diseño de curvas de intersecciones para $25 \leq V_p \leq 65$ Km/h se pueden usar coeficientes de fricción lateral algo mayores que los usados en caminos y carreteras, llegando en casos extremos, obligados por el espacio disponible, a utilizar los que se consignan en la *Tabla 3.1_ 51*.

Tabla 3.1_51. RADIOS MÍNIMOS ABSOLUTOS EN INTERSECCIONES CANALIZADAS PARA $25 \leq V_p \leq 65$ km/h

Vp (km/h)	25	30	35	40	45	50	55	60	65
t _{máx} (%)	31	28	25	23	21	19	18	17	16
R _{min} (m) e = 0% (1)	15	15	40	55	75	100	130	170	210
R _{min} (m) e = 8%	15 ⁽²⁾	20	30	40	55	75	90	120	140

(1) e = 0% sólo en casos de restricciones insalvables en alzado.

(2) Tadio mínimo < 15 m es inaceptable en intersecciones canalizadas, salvo en curvas de tres centros.

La *Tabla 3.1_ 51* muestra los valores de los radios mínimos absolutos en intersecciones canalizadas con Velocidades de Proyecto comprendidas entre 25 y 65 km/h, para peraltes de 0% y 8%. Estos valores han sido calculados mediante la expresión $R_{min} = V^2/127 (t+p)$, utilizando los valores máximos admisibles del coeficiente de fricción, que aparecen también en dicha Tabla.

La expresión anterior para Rmin puede ser utilizada con otros valores del peralte, pero sólo en casos en los que muy justificadamente no se puedan proyectar radios de curvaturas más amplios para la Velocidad de Proyecto requerida, o cuando los peraltes de las superficies de rodadura queden condicionados por las características en elevación de la intersección (*Véase numeral 3.1.1.9.5. (E)*) por la dificultad de proveer distancias suficientes para desarrollarlos.

No obstante, lo anterior, la geometría deseable resulta de aplicar un radio de curvatura lo más amplio que sea económicamente posible y asignarle la Velocidad de Proyecto y el peralte que permitan, la *Figura 3.1_76* que resulta de imponer la condición que $t = 3e$ en la ecuación del Radio mínimo, con los valores de "t" que allí se consignan.

C5. Curvas de enlace y curvas compuestas en intersecciones

C.5.1. Aspectos generales

Cuando se accede a un ramal de intersección desde una vía cuya Velocidad de Proyecto es significativamente superior (30 ó más km/h de diferencia), el aumento brusco de la fuerza centrífuga, al pasar de la alineación amplia a la curva del ramal, aconseja intercalar curvas de enlace, que pueden ser de preferencia clotoides o curvas circulares de mayor radio.

C.5.2. Uso de clotoides

Pueden ser usadas intercaladas entre la alineación recta y la curva circular, o como espiral(es) intermedia(s) entre curvas circulares de radios muy distintos, en curvatura y/o signo. Son tangentes en sus límites a las alineaciones rectas o circulares extremas, y a sus pares en el caso de curvas en "S".

Si bien en la carretera o camino se calcula el largo de la clotoide poniendo como condición que la variación normal de la aceleración transversal "J" sea del orden de 0,4 a 0,5 m/seg³, en intersecciones, por razones similares a las antes expuestas en relación con el cálculo de radios mínimos, se aceptan valores de "J" que van de J = 1,22 m/s³ para 30 Km/h a J = 0,95 m/s³ para 60 Km/h.

Utilizando la expresión de Shortt, para el cálculo de la longitud de la clotoide, se tiene:

$$L = \frac{0,02144 \cdot V_p^3}{R \cdot J}$$

Donde:

- V_p = Velocidad de Proyecto en km/h
- R = Radio de la curva circular en m
- J = Tasa de Distribución de la Aceleración Transversal

Consecuentemente:

$$A^2 = R \cdot L = \frac{0,02144 \cdot V_p^3}{J}$$

Los valores resultantes se dan en la *Tabla 3.1_ 52*.

Tabla 3.1_52. VALORES MÍNIMOS DE A EN FUNCIÓN DE Vp Y J PARA RADIOS EN EL ORDEN DE LOS MÍNIMOS ABSOLUTOS

V _p (km/h)	30	35	40	45	50	55	60
Radio (m)	25	35	45	60	75	90	120
J (m/s ³)	1,22	1,18	1,14	1,10	1,05	1,00	0,95
L (m)	18,98	22,26	26,75	29,60	34,04	39,64	40,63
A (m)	21,7	28,0	34,7	42,1	50,5	59,7	69,8
A mínimo adoptado	20	30	35	40	50	60	70

C.5.3. Curvas compuestas

Al usar una curva circular como forma de acuerdo entre dos alineaciones de curvaturas muy diferentes, debe cuidarse que la relación entre las curvaturas de los arcos sucesivos no sea más del doble. En caso contrario resulta un punto de discontinuidad demasiado

evidente y esta forma de enlace no cumple su propósito. La relación entre curvaturas sucesivas será preferentemente 1,75. Estas relaciones no son válidas para trazados mínimos en los que el diseño está determinado por exigencias de espacios mínimos para efectuar la curva, a velocidades inferiores a 15 Km/h.

El desarrollo de un acuerdo circular no debe ser superior a ciertos mínimos. La *Tabla 3.1_53* indica los desarrollos aceptables que deberá tener el enlace compuesto de un arco circular entre dos arcos con relación de curvatura de 2 a 1. Estos desarrollos están calculados de manera que resulta una deceleración máxima de 5 Km/h/s o una deceleración deseable de 3 Km/h/s, para pasar de la VP de la curva de mayor radio a la menor.

La cifra de 3 Km/h/s resulta muy conveniente, pues supone un uso suave de los frenos. La capacidad de deceleración del motor de los vehículos es del orden de 1,5 a 2,5 Km/h/s.

Tabla 3.1_53. DESARROLLO DE LA CURVA CIRCULAR DE ENLACE CUANDO LA RAZÓN RADIO MAYOR A RADIO MENOR ES 2

Radio Mayor (m)	30	45	60	75	90	120	150 o más
Desarrollo Mínimo (5 km/h/s)	12	15	18	24	30	36	42
Desarrollo Deseable (3 km/h/s)	18	21	27	36	42	54	60

C.5.4. Combinación de más de dos curvas

Cuando la Velocidad de Operación a la entrada de un ramal (valores VC x A en *Figura 3.1_59* y *Figura 3.1_60*) y las circunstancias del diseño obligan a diseñar curvas iniciales de radios que no permiten tener una relación de 2 o menos con el arco limitante del ramal, será necesario utilizar una tercera curva circular de radio intermedio que cumpla la relación establecida, o, de preferencia, una clotoide que enlace a ambas curvas.

El desarrollo que debe darse a una clotoide intermedia se calculará haciendo la diferencia de los valores recíprocos de los radios de curvatura a enlazar, despejando de allí el radio de una curva, que al ser interpolada en los datos de la *Tabla 3.1_52* permite obtener el valor de su parámetro y el desarrollo correspondiente.

C6. Anchos de calzada en ramales de giro

C.6.1. Aspectos generales

El ancho del pavimento y las banquetas en calzadas de giro están regulados por el volumen y composición del tránsito que circula por el primero, así como por el radio de la curva circular asociada al giro. Se describe varias posibilidades de operación según la importancia del ramal.

Todas estas variables han dado motivo a estudios que parten de ciertos datos conocidos, como trayectoria mínima de los vehículos tipo, distancias libres deseadas a los bordes del pavimento y a otros vehículos, sobreancho por efecto de la velocidad, etc. Esto ha permitido tipificar los casos y tabular los anchos mínimos requeridos bajo cada combinación de factores. Los anchos necesarios para vehículos tipo L o C pueden calcularse matemáticamente, pero los necesarios para VA han debido estudiarse experimentalmente o mediante el empleo de modelos a escala.

C.6.2. Anchos de pavimentos en ramales de giro

Los tipos de operación que pueden acogerse en el ramal de giro dan origen a una primera clasificación:

Caso I: Un carril con tránsito en un solo sentido, en el que no se contempla la posibilidad de adelantar a un vehículo que se detenga. Se reserva para ramales de giro de poca importancia, bajo volumen de tránsito y corta longitud. Al menos uno de los bordes del pavimento debe tener una banquina que permita ser transitada en una emergencia; si hay cordones, uno de ellos debe ser fácilmente montable.

Caso II: Un carril con tránsito en un solo sentido, diseñada de modo que sea posible adelantar a un vehículo detenido por emergencia a un costado del carril. Contempla la posibilidad de adelantamiento a bajas velocidades, con espacios libres restringidos entre vehículos, pero manteniéndose ambos dentro del carril de circulación. Esta hipótesis de diseño es adecuada tanto para bajos volúmenes de tránsito como para aquellos próximos a la capacidad del ramal.

Caso III: Dos carriles, ya sea para tránsito en uno o dos sentidos. Se reserva para las situaciones en que el volumen de tránsito supera la capacidad de un solo carril o para el tránsito en doble sentido cuando así esté contemplado.

La segunda clasificación dice relación con la composición del tránsito que utiliza el ramal, identificándola por medio de los vehículos tipo y la proporción en que intervienen.

Caso A: Predominan los vehículos ligeros P. Considera el paso eventual de camiones u ómnibus (SU y BUS).

Caso B: La presencia de vehículos tipo SU y BUS es superior al 5%, pero no sobrepasa el 25% del tránsito total. Eventualmente circulan vehículos articulados, en muy baja proporción.

Caso C: Los vehículos tipo SU y BUS son más del 25% tránsito total y/o los vehículos articulados circulan normalmente por el ramal considerado.

La *Tabla 3.1_ 56* resume los anchos que deben adoptarse según sea la hipótesis combinada de tipo de operación y tránsito que corresponda, a partir de los casos antes enumerados. Se considera además el efecto del radio mínimo interior del ramal de giro, con sus velocidades máximas asociadas.

La parte inferior de la *Tabla 3.1_ 56* indica las variaciones que pueden introducirse a los anchos base según sea las características del terreno adyacente al pavimento.

La *Tabla 3.1_ 54* identifica el vehículo tipo y la maniobra que se consideró para la determinación de los anchos de la *Tabla 3.1_ 56*. Estos anchos incluyen los espacios adicionales necesarios para que dichas maniobras puedan realizarse con seguridad. En los casos en que aparecen dos letras, la primera indica el tipo de vehículo que puede adelantar cómodamente a un vehículo estacionado, siendo el tipo de éste el que la segunda letra señala. Ejemplo: en la celda correspondiente a operación tipo II (Caso II) con composición de flujos tipo B, la clave L-C informa que un automóvil puede maniobrar holgadamente adelantando a un camión simple.

Tabla 3.1_54. VEHÍCULO TIPO Y MANIOBRA CONSIDERADA EN LA DETERMINACIÓN DE LOS ANCHOS

	A	B	C
Caso I	L	C	VA1
Caso II	L-L	L-C	C-C
Caso III	L-C	C-C	VA1-VA1

La *Tabla 3.1_55* permite apreciar las maniobras que pueden realizar, en ramales cuyos anchos son los de la *Tabla 3.1_56*, los vehículos tipo que se indican. Estos son casos extremos, que requieren velocidades bajas y conductores experimentados.

Tabla 3.1_55. MANIOBRAS QUE PUEDEN REALIZAR LOS VEHÍCULOS TIPO

	A	B	C
Caso I	WB	WB	WB-D y T
Caso II	P-SU y BUS	P-WB	SU y BUS-WB
Caso III	SU y BUS-WB	WB-WB	WB-D y T-WB-D y T

Ejemplo: en Caso I - A; se lee WB, que quiere decir que en el ancho indicado un tracto camión con semi-remolque corriente puede efectuar el giro sin salirse del carril, pero prácticamente sin huelga alguna entre la trayectoria de las ruedas y el borde del pavimento.

Caso II - B; se lee P - WB. Esto indica que un vehículo tipo P podrá adelantar a un vehículo tipo WB que se encuentre estacionado al borde del carril (o viceversa) siempre con huelga mínima entre un vehículo y otro y entre los bordes del pavimento.

Tabla 3.1_56. ANCHOS DE PAVIMENTO Y BANQUINAS⁽¹⁾ EN RAM

R (m) (Radio interior)	Ancho de pavimento en Ramales, en m para:									
	Caso I			Caso II			Caso III			
	1 carril 1 sentido Sin adelantar			1 carril 1 sentido Con adelantar			2 carriles 1 o 2 sentidos			
	Características del Tránsito									
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
15		5,4	5,4	7,0	7,0	7,5	8,7	9,3	10,5	12,6
25		4,7	5,8	5,7	6,3	7,0	8,0	8,7	9,8	11,0
30		4,5	4,8	5,4	6,0	6,6	7,5	8,4	9,3	10,5
50		4,2	4,8	5,0	5,7	6,3	7,2	8,0	9,0	9,9
75		4,0	4,7	4,8	5,6	6,2	6,8	8,0	8,6	9,2
100		4,0	4,5	4,8	5,4	6,0	6,6	7,8	8,4	9,0
125		4,0	4,5	4,8	5,4	6,0	6,6	7,8	8,4	8,7
150		3,8	4,5	4,5	5,4	6,0	6,6	7,8	8,4	8,7
> 200		3,5	4,5	4,5	5,0	5,7	6,3	7,5	8,0	8,0
Modificación de anchos (m) por efecto de banquina ⁽¹⁾ y cordón										
Banquina sin revestir		Sin modificación			Sin modificación			Sin modificación		
Cordón montable		Sin modificación			Sin modificación			Sin modificación		
Cordón eleva- do	Un lado	Añadir 0,30			Sin modificación			Añadir 0,30		
	Dos lados	Añadir 0,50			Añadir 0,30			Añadir 0,50		

Banquina revestida a uno o ambos lados	En condiciones B y C el ancho en recta puede reducirse a 3,50 m si el ancho de banquina es 1,20 m o más	Deducir ancho de las banquetas. Ancho mínimo como Caso I	Deducir 0,60 donde la banquina sea de 1,20 m como mínimo
--	---	--	--

⁽¹⁾ Cuando existen banquetas pavimentadas en ramales -principalmente en enlaces, éstas deben tener un ancho uniforme en toda su longitud. Si este ancho es inferior al de las banquetas de las calzadas de paso, el ancho de estas últimas debe mantenerse y conseguirse, respectivamente a lo largo de las *cuñas* de salida y entrada, y la transición debe ejecutarse a continuación en una distancia no inferior a 15 m. En ramales de un sentido de circulación la suma de los anchos de las banquetas no debe superar los 3,00 a 3,50 m, de los cuales 0,50 a 1,00 m debieran corresponder a la banquina izquierda. Ramales directos con VP de más de 60 Km/h deben tener banquetas pavimentadas de 2,5 m de ancho mínimo a la derecha y de 0,50 m mínimo a la izquierda. La luz libre lateral a la derecha de un ramal no debe ser inferior a 1,80 m, y a la izquierda no debe ser inferior a 1,00 m.

C.6.3. Banquinas o espacios adyacentes al pavimento del ramal de giro

Dentro de una intersección canalizada no es siempre necesario disponer banquetas a los lados de los ramales de giro: los carriles quedan delimitadas por islas y el trazado de éstas ya considera la necesaria luz libre lateral a la izquierda del pavimento; además, estos ramales son por lo general cortos y no es necesario prever banquetas a lo largo de ellos para estacionamiento temporal de vehículos, sobre todo considerando que los anchos de pavimento especificados en la *Tabla 3.1_ 56* satisfacen la mayoría de las necesidades operacionales de este tipo.

En los ramales de giro a la derecha, el borde izquierdo del pavimento delimita la zona triangular del respectivo cuadrante de la intersección. Esta zona suele llevar una isla. Cuando la isla es de dimensiones reducidas y lo exige la importancia de los movimientos, ésta se delinea con solera montable; si no, puede ser sólo demarcada. En cualquiera de los supuestos, una banquina al lado izquierdo es por lo general innecesaria en ramales de intersecciones. La demarcación de borde de calzada puede ir al pie de la solera respectiva, incluida por lo tanto en el ancho del ramal. Sin embargo, en el sector izquierdo del inicio o entrada del ramal, se debe retranquear el eventual cordón (*Numeral 3.1.1.9.5. (D.4)*) para permitir un posible desplazamiento lateral de los vehículos al iniciar su maniobra de giro. El ensanche resultante en el área de retranqueo configura, con la demarcación pertinente, la "punta" de la isla (*Numeral 3.1.1.9.5, (A)*).

En áreas rurales generalmente se dispone de banquetas a la derecha de estos ramales, aunque también puede usarse un cordón para reducir las operaciones de conservación sobre la zona que puede ser invadida y dañada por los vehículos que salgan de la calzada por el interior de la curva, o por presencia de peatones.

Cuando existe banquina derecha, es preferible que su dimensión y tratamiento sean los mismos que los de la sección normal de la carretera de la que provienen los vehículos. Si hay diferencias de ancho, las transiciones correspondientes deben hacerse después de la *cuña* de salida o antes de la *cuña* de entrada, en una longitud de 15 m.

En grandes intersecciones canalizadas los ramales de giro pueden ser de tal longitud que se consideren como independientes de las carreteras que se cortan, como ocurre en el caso de los enlaces. Bajo este punto de vista, deberán proyectarse con banquetas a ambos lados del pavimento. Los anchos mínimos de éstas serán los correspondientes a ramales de enlace.

En la *Tabla 3.1_56* se resume los valores recomendables para distintas condiciones de los ramales de giro. En estos ramales, si no hay cordones o éstos son montables, la banquina contigua debe ser del mismo tipo y sección de la carretera de acceso, por lo menos a su inicio. Es deseable que las banquina del lado derecho, en caso de existir, tengan un pavimento similar al de la calzada del ramal, y como mínimo un tratamiento superficial o una estabilización en un ancho de 1 m o más si los volúmenes de diseño son inferiores a 200 vehículos por hora.

C7. Carriles de cambio de velocidad

C.7.1. Aspectos generales

Cuando un conductor va a hacer un giro en una intersección, debe modificar su velocidad. Si se propone pasar de una carretera a un ramal de giro, deberá disminuirla para adecuarla a las inferiores condiciones geométricas de este último, y si pretende acceder a una carretera, proveniente de un ramal de giro, deberá aumentarla para hacerla compatible con las condiciones de flujo de aquélla.

Para que estas operaciones inherentes a toda intersección se desarrollen con un mínimo de perturbaciones, se diseñan carriles de cambio de velocidad. Los carriles que auxilian la maniobra de salida de una calzada reciben el nombre de Carriles de Deceleración, y son paralelos o casi al de origen. Los carriles que auxilian la maniobra de entrada a una calzada reciben el nombre de Carriles de Aceleración, y son siempre paralelos al de destino. Ambos permiten acomodar la velocidad según las conveniencias expuestas (*Figura 3.1_57 CARRILES DE CAMBIO DE VELOCIDAD Anexo III*).

A pesar de estas características en común, es necesario abordar el tratamiento de unos y otros con enfoques teóricos distintos, puesto que la conducta del usuario, que es más o menos previsible para el caso de un carril de deceleración, lo es menos para uno de aceleración, al requerir este último una maniobra más compleja y peligrosa, y al estar dicha maniobra condicionada por las características del tránsito en la carretera.

En el caso de los carriles de aceleración, existen criterios diferentes en los E.E.U.U. y en algunos países europeos. AASHTO calcula sus longitudes suponiendo que el vehículo debe acelerar desde la velocidad de circulación del ramal hasta las proximidades de la velocidad de circulación de la carretera. En Alemania y Suiza, en cambio, se pone énfasis en las circunstancias en que se ejecuta la maniobra; esto es, se contempla que el conductor puede acelerar, si las condiciones del flujo se lo permiten, o disminuirla si percibe dificultades para ingresar a la carretera.

Este último criterio hace que para velocidades bajas de diseño los carriles de aceleración sean mayores que los calculados por AASHTO, al considerarse necesario agregar una zona de maniobra a la longitud prevista para aumentar la velocidad. Pero, por otra parte, limita la longitud a valores máximos bastantes inferiores que los prescritos por AASHTO para velocidades altas. Considera que puede ser peligroso dar la posibilidad de acelerar hasta ellas, si el ingreso depende más bien de las posibilidades de espacio en la carretera, y que, si hay tal espacio, no es indispensable que el vehículo ingrese a la carretera a velocidades elevadas.

Por lo anteriormente expuesto, en estas Guías se decidió adoptar, para carreteras con Velocidad de Proyecto > 80 km/h el criterio europeo antes mencionado, el cual, al considerar velocidades de incorporación al flujo menores que las prescritas por AASHTO, permite una maniobra más controlada y segura por parte de los usuarios, a la vez que redundando en un proyecto más económico. Para velocidades de proyecto ≤ 70 km/h rara vez la categoría del camino requerirá de carriles de aceleración y en todo caso se trata de velocidades suficientemente bajas como para adoptar los valores que resultan del criterio AASHTO,

manteniendo un grado de seguridad adecuado si se considera que los conductores que se incorporan al flujo manejan en un estado de atención que reduce los tiempos de percepción y reacción a valores inferiores a los considerados para el caso de carretera propiamente tal. Por lo anterior, si la densidad de flujo no permite la incorporación, el conductor siempre podrá optar por la detención.

En carreteras bidireccionales de dos carriles la experiencia indica que los carriles de aceleración no son aconsejables pues inducen situaciones peligrosas que contrarrestan las ventajas que se pretende obtener. Por tanto, en este caso, los ramales de la intersección que acceden a la carretera deberán proyectarse bajo las condiciones prescritas en el numeral 3.1.1.9.5, (B.2) y sin carriles de aceleración, quedando estas reservadas a las carreteras de tipo unidireccional.

Los carriles de deceleración, en cambio, podrán proyectarse en carreteras bidireccionales cuando la cantidad de vehículos que girarán en el año de inicio de operaciones sea igual o superior a 25 veh/h y su Velocidad de Proyecto sea de 60 km/h o más. Sus dimensiones se obtendrán de considerar una conducta tipo de los usuarios frente a ellos y de aplicar una expresión físico-matemática que dé cuenta del fenómeno de la deceleración de un vehículo operado según dicha conducta.

Desde el punto de vista de sus formas, los carriles de cambio de velocidad podrían agruparse en dos tipos: “en paralelo”, cuando dicho carril discurre junto a la calzada de la carretera, como si fuese un carril más de ella, hasta el momento de su separación o confluencia con la misma (*Figura 3.1_58 CARRILES DE ACELERACIÓN y Figura 3.1_60 CARRILES DE DECELERACIÓN CASO II: EN PARALELO Anexo III*), y “directa” (*Figura 3.1_59 CARRILES DE DECELERACIÓN CASO I: DIRECTA Anexo III*), cuando el carril incide o se desprende desde el borde de la carretera de manera tal que dicho borde forma un ángulo con el borde adyacente del ramal.

En este último caso se forma una cuña de pavimento que forma parte inicial del ramal, cuya longitud puede ser menor que la requerida para conseguir normalmente el cambio de velocidad (*Figura 3.1_59 CARRILES DE DECELERACIÓN CASO I: DIRECTA y Figura 3.1_60 CARRILES DE DECELERACIÓN CASO II: EN PARALELO Anexo III*).

El resto del carril debe desarrollarse entonces en un tramo que ya es independiente de la carretera, situado entre dicha cuña y el inicio de la curvatura limitante del ramal. Estas alternativas presentan ventajas y desventajas según sea el tipo de maniobra que sirvan. En la presente Guía se recomienda criterios unificadores para resolver el paralelismo o no de los carriles de cambio de velocidad.

En efecto, los carriles de tipo paralelo deberán ser elegidos para el caso de la aceleración, porque se desea una óptima retrovisión y la posibilidad de maniobrar (en curva-contracurva) para ingresar a la carretera en cualquier momento en que se produzcan las condiciones adecuadas. Los carriles de tipo directo, en cambio, deberán preferirse en el caso de deceleración, en el cual la maniobra de curva – contracurva no es tan natural, porque interesa clarificar la situación de salida mediante un diseño que “avise” al conductor la función del carril que se le ofrece, que es la de cambiar definitivamente su rumbo. Esto último no será válido en el caso de los carriles de deceleración centrales (*Figura 3.1_63*), o sea, aquellos dispuestos entre los carriles de una carretera, destinados a detener y almacenar a los vehículos que giran a la izquierda. Tales carriles, por su posición, no podrán ser sino paralelos.

No obstante, estas recomendaciones, algunas circunstancias especiales podrían requerir otros diseños. En casos justificados, esto podría ser autorizado por el MOPC, siempre que

estos diseños se ajusten a criterios internacionales sancionados por la práctica. En la *Figura 3.1_57* se muestra los tipos básicos de vías de deceleración y aceleración.

C.7.2. Carriles de aceleración

Estos carriles serán del tipo paralelo, salvo autorización del MOPC en otro sentido. En la *Figura 3.1_58* se muestra un ejemplo de ellos, para el caso de la carretera en recta. Si la carretera va en curva, el caso es idéntico, teniendo en cuenta que podrían ser necesarios sobreechamientos de carril en función del radio de curvatura. No se deben contemplar este tipo de carriles en carreteras bidireccionales.

Su longitud total (LT) es la suma de los largos de las zonas de aceleración propiamente tal y de transición o cuña. LT no superará en ningún caso los 300 m. LT se mide desde el punto de tangencia del borde izquierdo del ramal (en el sentido de avance de los vehículos) con el borde adyacente de la calzada principal (punto A' en la *Figura 3.1_58*), en el caso de no existir curva de transición entre el radio limitante del ramal y el punto A', o sea, un arco de círculo de radio mayor que dicho limitante o una clotoide.

Si existe tal curva de transición, LT se medirá desde el comienzo de la curva de transición, pero con una limitación práctica que surge de los requerimientos de visibilidad: el punto desde el cual se inicia el carril de aceleración no puede quedar más atrás del punto P (véase *Figura 3.1_58*). Este punto es aquél en que la distancia entre los bordes adyacentes de las calzadas del ramal y de la carretera (PP') es de 3 m. Esta disposición permite un ahorro constructivo y se justifica porque el usuario, en esa posición, puede discernir a través del retrovisor, las condiciones de circulación existentes, y, además, está circulando por una curva que ya permite velocidades mayores que las de diseño del ramal.

En la *Figura 3.1_58 CARRILES DE ACELERACIÓN (Anexo III)* se muestra un carril de aceleración para el primero de los casos citados, sin curva de transición, en trazo lleno, y con línea de puntos se muestra la posición del carril para el segundo caso, suponiendo que el arco AP del Gráfico es una curva de transición. Los puntos B y C, fin de la zona de aceleración y de la zona de cuña respectivamente, se desplazan en este último caso hasta B' y C', cumpliéndose que $BB' = CC' = A'P$.

La *Tabla 3.1_57* presenta los valores de LT y LC en función de las velocidades de proyecto de los ramales y de la carretera. Los valores de LC son fijos para velocidades iguales o inferiores a 80 Km/h (50 m) y para velocidades superiores a ésta (75 m).

Tabla 3.1_57. LONGITUDES DE CARRILES DE ACELERACIÓN ENTRE RAMAL Y CARRETERA LT (m) = LA + LC (i = 0)

Vc (km/h)	Lc (m)	Vr = 0 (km/h)	Vr = 30 (km/h)	Vr = 40 (km/h)	Vr = 50 (km/h)	Vr = 60 (km/h)	Vr = 70 (km/h)	Vr = 80 (km/h)	Vr = 90 (km/h)
60	50	100	75	50					
70	50	150	120	100					
80	50	240	200	180	140	100			
90	75	300	275	250	220	170	140		
100	75	300	300	300	275	250	225	200	
110	75	300	300	300	300	300	250	250	250
120	75	300	300	300	300	300	300	300	300

Los valores LT y LA son válidos para inclinaciones longitudinales comprendidas entre +3% y -3%, debiendo corregirse si éstas exceden dichos valores límites. En la *Tabla 3.1_58* se entrega los factores que relacionan la longitud en pendiente (±) con la longitud en horizontal. En el caso de pendientes negativas, las correcciones sólo se hacen cuando se da el raro

caso de una condición de parada previa al inicio del carril de aceleración, puesto que en este caso se supone que el vehículo parte cuando tiene planificada su maniobra, que consiste solamente en acelerar. Si el vehículo marcha a la velocidad V_r se impone el criterio ya expuesto anteriormente, según el cual interesa proveer al conductor de suficiente tiempo para adecuar su marcha a las circunstancias de su ingreso a la carretera, lo cual supone no reducir la longitud de los carriles más allá de lo que ya han sido reducidas mediante la aplicación del criterio descrito en el *Numeral 3.1.1.9.5 (C.7)*.

Tabla 3.1_58. RELACIÓN DE LONGITUD DE CARRILES DE ACELERACIÓN ENTRE VÍAS EN PENDIENTE Y EN HORIZONTAL

Factores de corrección L_t ⁽¹⁾ en Carriles de Aceleración para Velocidad de Proyecto de la Carretera (V_c) de:							
60		70		80		100 ⁽²⁾	
Caso pendiente de subida: (%)							
3 – 4	5 – 6	3 – 4	5 – 6	3 – 4	5 – 6	3 – 4	5 – 6
1,30	1,50	1,30	1,60	1,35	1,70	1,40	1,90
Caso pendiente de bajada, si $V_r = 0$ ⁽³⁾ , de: (%)							
3 – 4	5 – 6	3 – 4	5 – 6	3 – 4	5 – 6	3 – 4	5 – 6
0,50	0,50	0,75	0,65	0,90	0,80	1,00	1,00

⁽¹⁾ Factores se aplican a L_t pero afectan a L_A (L_C – Constante).

⁽²⁾ L_v Máximo – 300 m, V_c -100 sirve para interpolar.

⁽³⁾ Si $V_r > 0$ no hay reducciones.

Las correcciones por pendiente se calculan sobre el total del valor L_T de la *Tabla 3.1_57*, pero la longitud adicional o la que haya que deducir, como resultado de la aplicación de los coeficientes que correspondan al caso, afectan sólo a la dimensión L_A , permaneciendo L_C fijo, aunque eventualmente pudiera resultar un L_T menor que L_C .

En la *Tabla 3.1_59* se entrega las longitudes de L_T resultantes de aplicar los factores de la *Tabla 3.1_58* a las longitudes L_T provenientes de la *Tabla 3.1_57*.

Tabla 3.1_59. LONGITUDES L_T (m) DE CARRILES DE ACELERACIÓN APLICANDO FACTORES DE PENDIENTE

i (%)	VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)															
	60			70			80 ⁽¹⁾						100 ⁽²⁾			
	0	30	40	0	30	40	0	30	40	50	60	0	30	40	50	60
3 a 4	130	98	65	195	156	130	300	270	242	189	135	420	420	420	385	350
5 a 6	150	113	75	240	192	160	300	300	300	238	170	570	570	570	523	475
0	100	75	50	150	120	100	240	200	180	140	100	300	300	300	275	250
-3 a -4	50	38	25	98	78	65	192	160	144	112	80	300	300	300	275	250

⁽¹⁾ L_t Máximo – 300 m. Valores superiores a 300 m han sido reducidos a este mínimo (negrita).

⁽²⁾ Valores calculados para V_C – 100 sirven para interpolar.

En el *Gráfico 57 CARRILES DE CAMBIO DE VELOCIDAD (Anexo III)* se muestra los puntos singulares de los carriles de aceleración en los que se debe tener anchos de pavimentos normalizados. En C se tiene el ancho final de la cuña (c), que deberá ser de 1 m, con el fin de hacer utilizable la zona de cuña en una extensión mayor y para evitar roturas de la misma en pavimentos rígidos debido a su menor sección y circunstancias constructivas desfavorables.

En el punto B, inicio de la cuña, se debe tener el ancho total del carril (b). En recta este ancho es por lo general de 3,5 m, pero puede rebajarse a 3,0 m si el tránsito en el ramal es de poca importancia. Si el carril fuera proyectado en una curva que requiere un sobrecancho e, el ancho b se modifica en igual medida e.

La transición de borde de la cuña, desde $c = 1$ m hasta b se hace mediante una curva de transición. El valor del ancho variable y, en función de la distancia "x" desde el comienzo de la transición (B o B'), se obtiene de la Tabla incluida en el *Gráfico 58 CARRILES DE ACELERACIÓN*, multiplicando la diferencia de anchos (b - c) por el factor F indicado.

En el punto de tangencia A, que puede ser o no el comienzo de la zona de aceleración, según lo ya dicho, se debe tener un ancho a que depende de las características del ramal. Si no existen curvas de acuerdo entre la zona de aceleración y la curva circular propia del ramal (o sea, que en A empalma tangencialmente la curva cuyo radio define la Velocidad de Proyecto del ramal, lo que hace que LT se mida a partir de este punto), entonces a debe ser el ancho de pavimento que corresponde a dicho radio, según la *Tabla 3.1_56*. Si este valor de a es superior a b, la disminución (a - b) se consigue teniendo en cuenta este hecho en el momento de la definición del borde derecho del ramal (en el sentido del avance de los vehículos), e imponiéndose las condiciones de tenerse el ancho a en AA' y el ancho b a una distancia de A que no sea superior a 20 veces el valor (a - b). Si la zona de deceleración fuera de longitud nula dicho trazado del borde derecho empalmaría tangencialmente en A con una separación a de tal modo que la cuña pueda continuarse a partir del mismo punto.

Si en A terminara una curva circular, acuerdo entre la curva característica del ramal y este punto de empalme, a debe ser el ancho que corresponde al valor del radio de curvatura de dicha curva de acuerdo según la referida *Tabla 3.1_56*. Este ancho a será por lo general superior a b, y la transición desde b hasta a se hará igual que en el caso anterior.

Se debe tener en cuenta que puede ser necesaria, además, una transición desde el ancho del ramal, en su zona de curvatura máxima, al ancho de la curva circular de acuerdo, o que, si se estuviere en el Caso II de la *Tabla 3.1_56*, podría precisarse una transición desde su ancho correspondiente hasta el ancho del Caso I.

Si en A termina una clotoide, $a = b$ y el aumento de ancho entre A y el primer punto de curvatura máxima del ramal, que se producirá al comienzo de dicha clotoide, se logra linealmente a lo largo de esta última.

Si $LA = 0$, a coincide con b.

C.7.3. Carriles de deceleración

En el *Gráfico 59 CARRILES DE DECELERACIÓN CASO I: DIRECTA* y *Gráfico 60 CARRILES DE DECELERACIÓN CASO II: EN PARALELO (Anexo III)* se determinan los tipos de carril de deceleración que se contemplan, distinguiéndose dos tratamientos distintos según las características geométricas del ramal.

Caso I: existe curva de acuerdo de longitud \geq que LD.

Este primer caso (*Gráfico 59 CARRILES DE DECELERACIÓN CASO I: DIRECTA Anexo III*) corresponde a la geometría considerada mejor para estos dispositivos, o sea, cuando se puede hacer incidir el ramal sobre la carretera con un ángulo θ que haga claramente perceptible su función.

En este caso, dicho ángulo θ es el subtendido por las tangentes a los bordes de calzada del ramal y de la carretera en su punto común B. Cuando el trazado de los ramales no corresponda al caso de los mínimos absolutos, se debe cuidar que θ no exceda los valores de la *Tabla 3.1_60*.

Tabla 3.1_60. ÁNGULO θ DE INCIDENCIA DE CARRILES DE DECELERACIÓN SEGÚN V

Vc (km/h)	< 60	60	70	80	90	100	110	120
θ (g)	12,0	10,0	8,0	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0

Si el eje de definición geométrica es el borde derecho del ramal (en el sentido de avance de los vehículos), AB' será, en el *Gráfico 59*, parte de una alineación (recta, curva circular o clotoide) que cumpla:

Que $AB \cong AB' = LC$ (largo de la cuña)

Que produzca en B' una separación del borde de la carretera (B'B) igual al ancho a inicial y mínimo del carril de deceleración (3,0 m - 3,5 m)

Que θ sea igual o inferior al valor que le corresponda según la *Tabla 3.1_60*, y que en lo posible se produzca tangencia en A

Si el eje de definición es el borde izquierdo del ramal, se debe cumplir con:

Que θ sea igual o inferior al valor que le corresponda según la *Tabla 3.1_60*

Que el borde derecho, entre B' y A, sea resuelto mediante un trazado continuo que se adapte a la marcha de los vehículos: arco de círculo, recta, clotoide o combinaciones de ellas

Que tal borde, entre B' y A, sea tangente, en B', con una paralela a dicho eje, trazada a 3,0 - 3,5 m a la derecha del mismo, y

Que tal borde, entre B' y A, sea también tangente al borde de la calzada de paso en el punto A, siempre que tal cosa sea posible.

La longitud total de un carril de deceleración (LT) es la suma de dos longitudes: LC y LD. LC es el largo de la cuña o zona de transición ($AB \cong AB'$ en el *Gráfico*), que depende de la Velocidad de Proyecto de la Carretera y cuyos valores son los que aparecen en la *Tabla 3.1_61*.

Tabla 3.1_61. Lc SEGÚN Vc

Vc (km/h)	50	60	70	80	90	100	110	120
Lc	50	55	60	70	80	85	90	100

Para fines del cálculo de la longitud de deceleración LD, se supone que al final de la zona de cuña (BB'), el vehículo que usa este dispositivo de cambio de velocidad ha disminuido la suya hasta una fracción de VC (igual a FV), que aparece, en función de la misma VC, en la *Tabla 3.1_62*.

Los valores de Fv disminuyen a medida que aumenta la velocidad en la carretera; en parte porque LC es mayor y en parte porque cualquier maniobra de deceleración, sea ésta hecha aún dentro de la calzada principal o una vez dentro de la cuña, produce efectos mayores (y no lineales) en la medida que dicha velocidad inicial aumenta.

Tabla 3.1_62. Fv SEGÚN Vc

Vc (km/h)	50	60	70	80	90	100	110	120
Fv	0,70	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61	0,60

LD se calcula a partir de la expresión:

$$L_D = \frac{(F_v \cdot V_c)^2 - V_r^2}{26 (d - i/10)}$$

Donde:

Fv: es el coeficiente de la *Tabla 3.1_62*

Vc y Vr: son las velocidades de proyecto (Km/h) de carretera y ramal, respectivamente

d: es el valor de la deceleración media, que en este caso se hace igual a 2 m/s²

i: es la inclinación del carril en % (positiva de subida y negativa de bajada)

Los valores LD aparecen graficados en los *Gráficos 59 y 60*, para las velocidades específicas de carretera que van desde 60 Km/h hasta 120 Km/h, considerando distintas velocidades de proyecto de los ramales, y para distintas inclinaciones longitudinales de los carriles.

LD, en este caso, se mide desde BB' hasta CC'. Se observa que esta dimensión BC \cong B'C', en el caso más afinado, será igual a BD \cong B'D', que es el largo de la curva de acuerdo; puesto que al final del carril de deceleración (CC') ya se puede tener la velocidad correspondiente a la curvatura limitante del ramal. Se hace notar también que el radio de una curva circular de acuerdo, en caso de ser ésta preferida a una clotoide, debe ser compatible con la velocidad en BB' (F x VC). En el *Gráfico 59* se muestra los puntos singulares de estos carriles en los que se deben tener anchos de pavimentos normalizados:

Si B'C' (o BC) es parte de una clotoide: a = 3,50 m

Si BC es una curva circular de acuerdo que requiere un sobre ancho E1: a = 3,50 m + E1.

En DD' se debe tener el ancho de ramal que corresponda según la *Tabla 3.1_56*. Los aumentos de ancho E2 con respecto al ancho del ramal en a se dan a lo largo de la curva de acuerdo.

Caso II: la curva de acuerdo es menor que LD o no existe.

Este caso obliga a un carril de deceleración en paralelo y se produce frecuentemente por las limitaciones de espacio que condicionan a estos diseños.

Si se proyecta un carril de deceleración de este tipo, $\theta \cong 0$, o sea, el ramal debe empalmar tangencialmente con el borde de la calzada de paso (*punto C en Gráfico 60*).

La cuña es igual que en el Caso I, sólo que ahora se inicia con un ancho de 1 m, con el fin de compensar el efecto de la maniobra de curva - contracurva que por lo general hace desaprovechar la zona de cuña, y para hacer más visible dicho inicio. El borde derecho se

define igual que en el caso del carril de aceleración, según los valores de la Tabla incluida en el *Gráfico 60*, considerando en B un ancho $b = 3,5 \text{ m} + E$. Los valores de LC, así como los de LD, son los que aparecen en la *Tabla 3.1_61* y en los *Gráficos 59 y 60*, respectivamente, pues son los mismos que para el primer caso.

Ahora, la longitud $BC = B'C'$ (o $\cong B'C'$ en caso de curva), que se desarrolla en paralelo a la carretera, será la necesaria para conseguir una longitud LD antes del inicio de la curva limitante del ramal (DD'). Si no existe curva de acuerdo, la totalidad del carril de deceleración transcurrirá en paralelo.

Si C'D' (ó CD) es una clotoide: $a = b = 3,50 \text{ m} (+ E1)$, y la transición de ancho requerida para llegar al valor d, ancho propio de la curvatura del ramal (*Gráfico 60*) se hace a lo largo de dicha clotoide, progresivamente.

Si C'D' (o CD) es una curva circular de acuerdo que requiere un sobreaño E2: $a = b + E2$ y el aumento de ancho se da haciendo las mismas consideraciones expuestas para el caso del carril de aceleración en paralelo.

C.7.4. Carriles centrales de deceleración

Se puede diseñar carriles de deceleración para vehículos que giran a la izquierda desde las carreteras principales. Estos carriles se sitúan, por lo general, en el centro de la carretera, entre los carriles de ella (véase excepción en el numeral 3.1.1.10.4. (C.3.3) y el *Gráfico 47 (inciso C)*). Si el cantero central tiene 4 m ó más de ancho será posible diseñar vías de deceleración aprovechando este espacio sin necesidad de ensanches especiales en la carretera. El ancho mínimo del cantero central será de 6 m.

En el *Gráfico 63 CARRIL DE DECELERACIÓN CENTRAL (Anexo III)* se muestra un carril de este tipo. Las longitudes LC y LD son las de la *Tabla 3.1_61* y las de los *Gráficos 59 y 60*, respectivamente. A LC y LD hay que sumarle una longitud LE, o largo de la zona de espera, que depende del número de vehículos por hora que giran y que debe considerarse si existe condición de parada al final de la zona de deceleración, cosa que generalmente ocurre.

Si existe un semáforo en ese punto (D en el *Gráfico 63*), LE estará determinada por el cálculo del largo de las filas de vehículos que esperan en un ciclo, estimando en 7,5 m el espacio promedio requerido por c/u.

Si existe una señal "PARE": LE tendrá el valor que le corresponda de la *Tabla 3.1_63*.

Tabla 3.1_63. LONGITUD ADICIONAL EN CARRILES DE DECELERACIÓN PARA ALMACENAMIENTO Y ESPERA DE VEHÍCULOS

Nº Vehículos / hora que giran	30	60	100	200	300
Longitud adicional (m)	8	15	30	60	75

La cuña tiene la forma prevista para los casos I y II del Literal c.

El *Gráfico 63*, con la Tabla incluida en el *Gráfico 60* para calcular y en función de x, indica el trazado que debe darse a esta zona de cuña para ganar un carril en base al espacio disponible en el cantero central. En general es conveniente colocar cordones delineando el cantero central en todo el sector afectado por el carril central, de modo que sea evidente el trazado de ésta y se evite movimientos prohibidos, tales como giros en U en zonas en que no están previstos.

En caminos de dos carriles, o de más de dos carriles sin cantero central de dimensiones adecuadas, será necesario proceder a ensanchar la carretera si se desea disponer de un carril central de deceleración.

El *Gráfico 64 TRAZADO MÍNIMO CON CANALIZACIÓN PARA GIROS A LA IZQUIERDA CON ENSANCHE DEL CAMINO Y PINTURA (Anexo III)* muestra un diseño mínimo basándose en islas delineadas mediante pintura en el pavimento. Esta solución requiere un ensanche equivalente al ancho del carril central. Su utilización está supeditada a la seguridad de un buen mantenimiento de las marcas sobre el pavimento.

Una solución similar puede lograrse introduciendo islas delineadas por cordones montables, pero en este caso debe darse al ensanche una mayor dimensión correspondiente al sobrecancho que se requiere por efecto del cordón. En lo posible se dispondrá iluminación y siempre existirá la señalización que indique la existencia de la isla artificial.

C8. Cruces a través del cantero central

C.8.1. Aspectos generales

En carreteras divididas por una faja central o cantero central, las intersecciones obligan a interrumpir la continuidad de ésta para dar paso al tránsito que cruza o que gira a la izquierda, si tales maniobras son posibles. Según sea la importancia de la intersección y del camino de paso, deberá adoptarse distintos diseños que garanticen la fluidez y seguridad de las maniobras.

La pendiente transversal de la zona abierta de un cantero central no debe superar el 5 %.

C.8.2. Abertura mínima del cantero central en zona de cruce

Ya sea que se trata de una intersección de 3 ó 4 ramales, la apertura del cantero central debe ser a lo menos igual al ancho del camino que la cruza (pavimento más banquetas) y en ningún caso menor de 12 m de ancho. Si el camino que cruza no tiene banquetas la apertura del cantero central será igual al ancho del pavimento más 2,5 m y no menor de 12 m.

Si el camino que cruza también es una doble calzada, la apertura mínima será igual al ancho de las dos calzadas más su cantero central, y no menor que el ancho de los pavimentos más el cantero central más 2,5 m en caso de tener las banquetas un ancho inferior.

C.8.3. Trazados alternativos para rematar el cantero central interrumpido

En canteros centrales de menos de 3 m de ancho, el remate se ejecuta trazando un semicírculo, lo que da una solución tan aceptable como la que se obtiene en otros trazados que se detallan a continuación.

Si el ancho del cantero central es mayor de 3 m se preferirá el trazado que llamaremos “punta de bala”. Consiste en dos arcos de círculo que se inician en el mismo punto de donde nacía el semicírculo básico, y que se cortan sobre el eje del cantero central en un ángulo agudo. Este se redondea mediante una curva de radio 0,50 m (*ver Gráfico 65*). Los arcos de círculo de la zona de la “punta de proyectil” son tangentes al cantero central y al eje de la calzada que cruza. Este trazado presenta dos ventajas sobre la forma semicircular en canteros centrales de más de 3 m de ancho.

Requiere menor espacio abierto para acomodar giros o cantero central de igual ancho. Canaliza mejor los movimientos de giro, ya que dirige el tránsito desde su carril al carril correspondiente del camino cruzado, en tanto que el remate en forma de semicírculo permite al tránsito que gira invadir el carril de sentido contrario.

Cuando el cruce es esviado, el remate en forma de proyectil se construye asimétrico, usando un radio de curvatura mayor que el mínimo en los cuadrantes que corresponden al ángulo obtuso que forman los ejes de la carretera. Este trazado da un mejor encauzamiento al tránsito, ya que la prolongación de dicho arco vuelve a ser tangente al eje de la calzada del camino que cruza (*ver Gráfico 65, inciso B*).

En canteros centrales muy anchos, mayores de 20 m, o cuando la abertura necesaria resulta de más de 25 m de largo, es conveniente estudiar un remate en forma de punta de proyectil truncado, tal como se indica en el *Gráfico B, trazo CE*.

C.8.4. Trazados mínimos para giros a la izquierda

Los giros mínimos a la izquierda a través del cantero central de más de tres metros de ancho, se estudian a partir de la trayectoria que sigue el vehículo tipo, tal como en el caso de giros a la derecha.

No existe en este caso la limitación de ancho del ramal de giro, pues la curva debe darse obligatoriamente en la zona abierta del cantero central, que es suficientemente amplia. Sólo es necesario que, al empalmar con el carril correspondiente del camino cruzado, el vehículo se mantenga dentro de ella sin invadir el carril contrario.

Los radios mínimos que a baja velocidad garantizan una trayectoria adecuada, dejando huelgas de al menos 0,50 m entre las ruedas y los bordes de los carriles son:

- Automóviles (P) R = 12 m
- Camiones y Ómnibus (SU y BUS) R = 15 m
- Tracto camión con semi-remolque corriente (WB) R = 18 m
- Tracto camión con semi-remolque especial (WB-D y T) R = 22,5 m

Normalmente un diseño mínimo basándose en el vehículo tipo SU es adecuado a la mayoría de los casos en que los vehículos articulados son escasos. Estos podrán efectuar el giro, aunque sin huelga o eventualmente invadiendo en un corto trecho parte del carril contrario.

Tabla 3.1_64. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA ABIERTA EN EL CANTERO CENTRAL PARA CONDICIONES MÍNIMAS DE GIRO A LA IZQUIERDA

Esviaje grados sexagesimales	Ancho cantero central (m)	Abertura en el cantero central dada normalmente al camino que cruza (m)			R1 Caso C Asimétrico (m)
		Semicírculo A	Punta de proyectil		
			Simétrico B	Asimétrico C	
0°	1,00	29,0	29,0		
	2,00	28,0	23,0		
	2,50	28,0	21,0		
	3,00	27,0	19,0		
	6,00	24,0	13,0		
10°	3,00	32,0	24,5	23,0	21,5
	6,00	28,0	17,5	16,0	18,0
	9,00	24,5	13,5	12,0 min	19,5
	12,00	21,5	12,0 min	12,0 min	19,0
	15,00	18,0	12,0 min	12,0 min	18,5
	18,00	14,0	12,0 min	12,0 min	20,5

Esviaje grados sexagesimales	Ancho cantero central (m)	Abertura en el cantero central dada normalmente al camino que cruza (m)			R1 Caso C Asimétrico (m)
		Semicírculo A	Punta de proyectil		
			Simétrico B	Asimétrico C	
20°	3,00	37,0	29,5	27,5	29,5
	6,00	32,5	22,0	19,5	27,5
	9,00	28,5	18,0	14,5	26,0
	12,00	24,5	14,5	12,0 min	24,5
	15,00	20,5	12,0 min	12,0 min	23,0
	18,00	16,0	12,0 min	12,0 min	21,5
30°	3,00	41,0	35,0	32,0	45,0
	6,00	36,5	27,5	23,0	39,5
	9,00	31,5	22,5	17,5	36,5
	12,00	27,5	18,5	12,5	33,5
	15,00	23,0	15,5	12,0 min	30,5
	18,00	18,0	12,0	12,0 min	27,5
40°	3,00	44,5	38,5	36,0	64,0
	6,00	40,0	32,0	27,5	58,5
	9,00	35,0	27,5	20,5	53,0
	12,00	30,0	23,5	15,5	47,5
	15,00	25,0	19,5	12,0 min	42,0
	18,00	19,5	15,5	12,0 min	36,5

* Esviaje medido como el número de grados sexagesimales que separa el camino secundario de la normal al camino principal.

La *Tabla 3.1_ 59* resume las características que debe darse a la abertura del cantero central para permitir giros a la izquierda en condiciones mínimas, según sea el ancho del cantero central y el tipo de remate que se utilice: semicírculo, punta proyectil simétrica, punta proyectil asimétrica (radio R1, asociado a él), indicando en este último caso el ángulo de esviaje en grados sexagesimales. Esta Tabla está calculada para el vehículo tipo SU y BUS; por lo tanto, en los casos de remate “punta de proyectil” se aconseja un radio mínimo de 15 m.

C.8.5. Trazados por sobre los mínimos para giros a la izquierda

Siempre que sea posible deberá elegirse radios mayores que los mínimos en el diseño de los arcos del remate en “punta de proyectil”. Se logra de esta manera una circulación más fluida, y la parte correspondiente al arco de mayor radio puede recorrerse a mayor velocidad que la impuesta por el diseño mínimo.

El *Gráfico 66 ABERTURA DE CANTERO CENTRAL DE DISEÑO SOBRE LOS MÍNIMOS PARA REMATES EN PUNTO DE PROYECTIL Anexo III* especifica el diseño que debe adoptarse indicando los elementos necesarios para el replanteo.

La abertura del cantero central queda definida en estos casos por el arco de círculo de radio $R = 15$ m que aparece en línea punteada en el Gráfico. Si el camino que cruza es una doble calzada, las aberturas indicadas en el *Gráfico 66* pueden ser estrechas. En ese caso, el diseñador fijará un valor de L adecuado y a partir de ese dato localizará el centro de la curva de radio R_2 . En estas condiciones el radio R queda determinado construyendo una circunferencia tangente al eje de la calzada que cruza y al punto de tangencia de R_2 con el R_2 elegido. Si la intersección presenta esviaje, se requerirá adaptar también los radios R y R_2 para lograr una abertura de ancho adecuado.

C.8.6. Canteros centrales ensanchados para cruces por etapas

En ciertas intersecciones será conveniente que el tránsito del camino secundario pueda cruzar en dos etapas la vía principal. En estos casos el cantero central deberá proveer un ancho suficiente como para servir de refugio. El ancho requerido dependerá del largo del vehículo tipo elegido y por tanto en el sector del cruce será necesario ensanchar el cantero central de acuerdo a los siguientes valores:

- Automóvil: 6,0 m
- Camión u Ómnibus: 13,0 m
- Tracto Camiones: 20,0 m

C.8.7. Giros en U en torno al cantero central

Esta maniobra no es una práctica recomendable. Sin embargo, hay ciertos casos en que su existencia puede considerarse como un mal menor o bien puede aceptarse para volúmenes muy bajos que en otras circunstancias entorpecen el funcionamiento de una intersección.

Los casos en que puede aceptarse este dispositivo son:

En carretera con control total de acceso, cuando se dispone para labores del personal de conservación de la carretera, uso de la policía o como lugar de estacionamiento de los vehículos utilizados por ellos. En tales casos el espacio estará cerrado por una cadena u otro dispositivo fácilmente removible por la autoridad, pero no así por el público en general. Las aberturas se construirán regularmente espaciadas a lo largo de la carretera.

En carreteras con control parcial de accesos, para dar servicio a ciertas áreas de desarrollo marginales a la carretera. Si estas facilidades se dan de acuerdo con un estudio es posible elegir los lugares más adecuados para hacerlo; si esto no se prevé, la presión pública posterior suele obtener aberturas a través del cantero central en mayor número y en peor ubicación.

En relación con cruces a nivel de importancia o enlace, suelen diseñarse aberturas para giros en U a distancias de 400 a 600 m del cruce propiamente tal, ya sea con el objeto de permitir el retorno de aquellos pocos conductores que por desconocimiento de la intersección equivocaron la maniobra, o bien para trasladar algún giro de poca importancia desde el cruce a la abertura para giro en U, eliminándose así algunos puntos de conflicto en el cruce.

Inmediatamente antes de una intersección importante, con el objeto de posibilitar giros en U que de otro modo se darían en la intersección misma, obstaculizando el tránsito que cruza la vía principal. Esta situación es especialmente válida en zonas suburbanas en que el desarrollo lateral es de consideración.

C.8.8. Ancho del cantero central y tipo de maniobra asociada al giro en U

Para que el giro en U no produzca demasiados trastornos, es necesario que el cantero central tenga un ancho lo mayor posible. El *Gráfico 64 TRAZADO MÍNIMO CON CANALIZACIÓN PARA GIROS A LA IZQUIERDA CON ENSANCHE DEL CAMINO Y PINTURA Anexo III* indica los anchos mínimos requeridos según el tipo de maniobra que se esté realizando.

La posibilidad de efectuar las maniobras descritas, con un trazado mínimo según los previstos en el *Gráfico 64*, puede resumirse como sigue:

Tabla 3.1_65. TIPO DE MANIOBRA POSIBLE

Ancho del cantero central (m)	Tipo de maniobra posible en una carretera dividida, de cuatro carriles	Permite refugio mientras se espera en el cantero central para
18	Permite a todos los vehículos girar en U, prácticamente de carril interior a carril interior opuesto	Todos los vehículos
12	Permite a los automóviles girar en U de un carril interior a un carril interior, y a algunos camiones de carril exterior a exterior, los grandes camiones ocupan parcialmente la banquina	P, SU y BUS
9	Permite a los automóviles girar de carril interior a carril exterior, y a los camiones con utilización de ambas banquetas	P, SY y BUS
6	Permite a los automóviles girar de carril exterior a carril exterior o de carril interior a la banquina. Es imposible el giro de camiones	P

Cuando no pueda disponerse del ancho necesario en el cantero central y el giro en U sea importante, se recurre al empleo de otros trazados excepcionales, tales como los indicados en el *Gráfico 67 APERTURAS DE CANTERO CENTRAL, TRAZADOS MÍNIMOS PARA GIROS EN "U" Anexo III*.

C.8.9. Aplicación de los trazados para canteros centrales abiertos a las islas divisorias en intersecciones

Todas las recomendaciones expuestas en los Párrafos anteriores para el trazado de canteros centrales abiertos son de aplicación en el caso de islas de separación de sentidos en carreteras importantes, ya que en definitiva estas últimas pueden considerarse como un cantero central que se introduce con carácter discontinuo en tales carreteras.

D. TRAZADO EN PLANTA DE ISLAS Y CARRILES CANALIZADOS

D1. Aspectos generales

Una isla es una zona bien definida, situada entre los carriles de circulación y destinada a guiar el movimiento de vehículos o a servir de refugio para peatones. Dentro de una intersección un cantero central u otra separación, se considera como una isla. No es necesario que las islas tengan presencia física como tales; pueden ser desde una zona delineada por cordones elevados hasta un área limitada por marcas pintadas sobre el pavimento.

Las islas se Incluyen en el trazado de intersecciones canalizadas por una o más de las siguientes razones:

- Separación de conflictos
- Control del ángulo de conflicto

- Reducción de áreas excesivas pavimentadas
- Regulación del tránsito e indicación del uso debido de la intersección
- Trazado para favorecer los movimientos de giro predominantes
- Protección de peatones. Instalación de señales de tránsito. Necesidad de puntos de referencia
- Prohibición de determinados movimientos
- Control de velocidad

Las islas son generalmente de forma alargada o triangular, y sus dimensiones dependen del trazado particular de cada intersección. Deben situarse y diseñarse de manera que ofrezcan mínimo peligro a los vehículos y sean de construcción y conservación poco costosa.

D2. Tipos de islas

D.2.1. Aspectos generales

Las islas pueden agruparse en tres clases principales, según su función:

- Islas divisorias que sirven para separar sentidos de circulación iguales u opuestos
- Islas de canalización o encauzamiento, diseñadas para controlar y dirigir los movimientos de tránsito, especialmente los de giro
- Islas refugio que sirvan para proporcionar una zona de refugio a los peatones

La mayoría de las islas que se emplean en intersecciones combinan dos o todas estas funciones.

D.2.2.3 Islas divisorias

Este tipo de isla se emplea con frecuencia en carreteras sin división central, para avisar a los conductores de la presencia de un cruce y para regular el tránsito a través de la intersección. Son particularmente ventajosas para facilitar los giros a la izquierda en intersecciones en ángulo oblicuo y en puntos donde existan ramales para giros a la derecha.

Ejemplos de islas de este tipo se indican en el *Gráfico 69 TIPOS Y FORMAS GENERALES DE ISLAS Anexo III*, donde las islas indicadas con las letras c, d, e y f dividen sentidos opuestos de circulación y las indicadas con las letras b y h separan corrientes de tránsito de igual sentido. La isla b separa un carril central especial para giros a la izquierda y la h separa de los carriles normales de tránsito de la vía, un pavimento adyacente para uso de servicios locales.

En carreteras secundarias, aunque sean de tránsito moderado, es conveniente disponer una isla del tipo del *Gráfico 69 TIPOS Y FORMAS GENERALES DE ISLAS Anexo III*. Esta isla evita que los vehículos que cruzan o se incorporan a la carretera principal, utilicen el carril contiguo a la suya o efectúen maniobras falsas en sentido de circulación prohibida, sobre todo en aquellos lugares donde los conductores no están acostumbrados a la presencia de intersecciones canalizadas. Donde haya garantía de un buen funcionamiento, dicha isla puede sustituirse por una línea central continua pintada sobre el pavimento.

Cuando en las proximidades de una intersección se introduce una isla divisoria en la carretera principal, a manera de cantero central, la transición desde la sección normal de la carretera debe hacerse suavemente, sin que obligue a movimientos bruscos de los vehículos. También debe cuidarse la señalización y visibilidad de la isla, sobre todo en la noche, ya que pueden producir accidentes.

Para carreteras con intensidad media diaria superior a 2.000 vehículos, debe dejarse dos carriles de ancho normal, como mínimo, para cada sentido de circulación. Con intensidades menores, los anchos de pavimentación deben ser los del caso II de la *Tabla 3.1_ 56* (1 carril de un solo sentido con previsión para adelantar a un vehículo momentáneamente parado).

Si la isla se introduce en una alineación curva, pueden combinarse distintos radios en los bordes del pavimento para conseguir la transición a la sección deseada. Si es en una alineación recta, la transición puede efectuarse intercalando en el trazado una curva y una contracurva seguidas, sin tramo recto intermedio. Para intensidades medias diarias importantes y Velocidad de Proyecto superior a 80 km/h, los radios de estas curvas deben ser mayores a 1.700 m. Para velocidades más bajas pueden reducirse hasta 850 m, y en casos extremos, hasta 600 m. La fórmula que da la longitud L del tramo de transición desde la sección sin isla hasta la sección con separación igual al ancho deseado de la isla es:

$$L = \sqrt{Y \cdot (4R - Y)}$$

Donde: R es el radio de la curva y de la contracurva, e Y es la ordenada máxima al final de la transición.

D.2.3. Islas de canalización o de encauzamiento

Estas islas determinan el recorrido correcto que debe seguir un conductor para efectuar un movimiento específico dentro de la intersección. Pueden ser de diversas formas y tamaños, según las características y dimensiones de la intersección: triangulares, para separar giros a la derecha (*Gráfico 69 TIPOS Y FORMAS GENERALES DE ISLAS Anexo III, inciso a*), o centrales, alrededor de las cuales los vehículos efectúan sus giros (*Gráfico 69 TIPOS Y FORMAS GENERALES DE ISLAS Anexo III, inciso g*).

Estas islas deben ubicarse de manera que el recorrido correcto sea obvio, fácil de seguir y de continuidad indudable. Deben permitir que las corrientes de tránsito en una misma dirección general converjan en ángulos pequeños y los movimientos de cruce se efectúen en un ángulo cercano al recto.

Las líneas de contorno de estas islas deben ser curvas o rectas aproximadamente paralelas a la trayectoria de los vehículos. Las islas que separan el tránsito que gira del tránsito directo deben tener la parte curva con un radio igual o superior al mínimo que requiere la velocidad de giro deseada. Debe indicarse la presencia de la isla con la debida demarcación en el pavimento, obligando al tránsito que gira a tomar la trayectoria correcta y así evitar maniobras bruscas.

Las intersecciones con múltiples ramales de giro pueden necesitar tres o más islas para canalizar diversos movimientos. Existe una limitación práctica en cuanto al uso de demasiadas islas: un grupo de ellas delineando varios carriles de un solo sentido de circulación puede causar confusión en las trayectorias a seguir. En intersecciones con áreas restringidas puede ser aconsejable, para proveer múltiples ramales canalizados, probar temporalmente diferentes trazados utilizando sacos de arena, para luego elegir aquel que permite una mejor continuidad de flujo de tránsito y proceder a construir las islas definitivas.

El empleo de canalización o encauzamiento es ventajoso donde los movimientos de giro son relativamente importantes, reservándose los trazados sin canalización solamente para intersecciones de carreteras locales de pequeña intensidad de tránsito.

Las islas divisorias en carreteras importantes de alta Velocidad de Proyecto deben tener una longitud mínima de 30 m y preferiblemente de 100 m o más, sobre todo cuando sirven a su vez para la introducción de un carril central de cambio de velocidad y almacena-

miento de vehículos. Si no pudieran tener la longitud recomendada deben ir precedidas de un pavimento rugoso notorio, lomadas sobre la calzada o, al menos, de marcas bien conservadas sobre el pavimento. Cuando coincidan con un punto alto del trazado en perfil o del comienzo de una curva horizontal, la isla debe prolongarse lo necesario para hacerla claramente visible a los conductores que se aproximan.

Las islas deben delimitarse o delimitarse según su tamaño, ubicación y función. En un sentido físico, pueden clasificarse en tres grupos:

Grupo (1): Islas elevadas sobre el pavimento, delimitadas con soleras montables, o elevadas si operan como refugios peatonales

Grupo (2): Islas delineadas por marcas, clavos o barras de resalto sobre el pavimento

Grupo (3): Zonas no pavimentadas que forman los bordes del pavimento de los distintos ramales. Conviene delinear estas islas con postes guías o con un tratamiento de tierra especial en su interior

El Grupo (1) es el más frecuente y de resultados más positivos. En zonas rurales, donde el uso de soleras es poco frecuente, este tratamiento suele limitarse a islas de tamaño pequeño o intermedio.

El Grupo (2) se emplea en zonas urbanas con espacios limitados. En zonas rurales se usan sólo cuando existe garantía de una fácil y buena conservación, o en ciertos casos extremos, cuando la velocidad de acceso a la intersección sea muy alta y la presencia de soleras pueda resultar peligrosa.

El Grupo (3) está reservado a islas grandes en zonas rurales, donde la aplicación de grandes radios supone longitudes excesivas de soleras con el consiguiente encarecimiento del trazado. El interior de las islas debe rellenarse con turba o tierra vegetal. Si es espaciosa, puede plantarse con la condición que no se obstruya la visibilidad.

Cuando las islas son de grandes dimensiones se puede disponer su interior formando una depresión, con el fin de favorecer el drenaje del pavimento, si es que éste presentara dificultades. En islas pequeñas o en zonas poco favorables para el desarrollo de plantas, puede usarse cualquier tipo de tratamiento superficial.

D.2.4. Delineación de las islas

La delineación de las islas pequeñas se efectúa principalmente con cordones. Las grandes pueden quedar suficientemente definidas por su color y configuración: tierra vegetal, tierra estéril, plantaciones, postes, señales o combinación de todos estos elementos. En zonas rurales los cordones deben ser del tipo montable, excepto donde sea necesario disponerlas elevadas para defensas de estructuras, refugio de peatones, etc. Los cordones deben ser fácilmente visibles para evitar situaciones peligrosas, lo que se consigue con el empleo de pintura reflectante, capta luces, etc. Esto debe tenerse más presente cuanto mayor sea la Velocidad de Proyecto de la carretera que se diseñe.

Las narices o vértices de las islas deben redondearse o rebajarse de nivel por razones de visibilidad y sencillez constructiva. Los lados de las islas que quedan contiguos a los carriles utilizados por el tránsito directo, deben desplazarse en una dimensión que depende del contraste de la isla, longitud de la transición o pavimento auxiliar que la precede, velocidad de circulación, etc. No es necesario dicho desplazamiento referido al borde del pavimento de un ramal de giro, excepto en su vértice de entrada. Este debe desplazarse de 0,60 a 1,20 m. Si se emplean cordones elevados éstos deben desplazarse de todos los bordes del pavimento de los carriles. En el *Gráfico 70 TRANSICIONES PARABÓLICAS MAS CORRIENTES PARA EL RETRANQUEO DE VÉRTICES DE ISLAS Anexo III*, se indica normas

útiles para replantear los desplazamientos de los cordones. Cuando exista una banquina a lo largo de carreteras que se cruzan, es preferible colocar cordones en la línea exterior de la banquina, quedando así un desplazamiento con respecto al borde del pavimento igual al ancho de la banquina.

Las islas deben proveerse de toda clase de dispositivos que avisen su presencia a los conductores que se aproximan, tanto de día como de noche. Las marcas sobre el pavimento, y el uso de pavimentos ásperos, ruidosos o molestos precediendo el vértice de la isla, son prácticas ventajosas en el trazado de intersecciones. Puede emplearse otras señalizaciones, tales como soleras de hormigón blanco, cordones reflectantes o señales localizadas cerca de los vértices de las islas que sean reflectantes o iluminadas.

Hay que evitar que el conductor que llega a una intersección se vea confundido por la visión simultánea dos o más vértices de islas. En tales casos es conveniente adelantar o retrasar la posición de ciertas islas.

En carreteras de circulación rápida debe aumentarse aún más las precauciones ante la aproximación de las islas. Esto puede conseguirse mediante el empleo de molduras de hormigón que transforma paulatinamente la línea pintada sobre la calzada en isla, como se detalla en el *Gráfico 71*. La longitud de la transición es función de la velocidad, pudiendo llegar a los 100 m o más.

En el *Gráfico 71 DETALLES DEL TRAZADO PARA ISLAS Anexo III*, se muestra otro ejemplo de un caso típico de transición de una carretera normal con dos carriles de circulación a una sección de dos calzadas separadas con dos carriles en cada sentido.

Todas las precauciones indicadas anteriormente pueden no ser necesarias ante islas secundarias situadas en una intersección con múltiples islas; basta tomarlas únicamente con aquéllas que aparecen primero al tránsito que se aproxima a la intersección.

D3. Diseños para terminales de los ramales de giro

D.3.1. Aspectos generales

Se llama “Terminal” de un ramal de giro a la zona donde éste empalma con la calzada de paso. Se puede considerar dos tipos de terminales: de salida y de entrada.

Se llama terminales de salida a la zona donde un ramal de giro se separa de la calzada de paso por la que circulan los vehículos que han de ingresar al ramal.

Se llama terminales de entrada a la zona donde un ramal de giro se junta con la calzada de paso a la que se dirigen los vehículos provenientes del ramal.

En ambos casos debe diseñarse la nariz de la isla de canalización, que para el caso de terminales de salida se denomina nariz divergente y para el caso de terminales de entrada se denomina nariz convergente. El diseño de las narices de las islas de canalización se lleva a cabo aplicando los principios ya descritos en el diseño de islas, complementados por otros aspectos de diseño y operación de tránsito.

D.3.2. Terminales de salida

La salida desde una carretera, que puede ser auxiliada por un carril de cambio de velocidad, debe tener la nariz divergente retranqueado del borde del pavimento de la vía principal, para evitar que sea golpeada por el tránsito que se aproxima (*Gráfico 72 DISEÑOS PARA TERMINALES DE SALIDA inciso A Anexo III*). Precediendo la nariz, va una zona pavimentada en forma de huso, pintada o con resaltos o lomadas, que permite a los conductores que inadvertidamente entren en esta zona corregir su rumbo y tomar la trayectoria correcta. Se le llama “carril de recuperación”. Es preferible que la nariz divergente esté delineada

con cordones montables para una mejor visibilidad. En caso que esto no se haga, siempre debe hacerse el retranqueo y pavimentar el huso ante ella. La nariz debe redondearse con un radio de 0,6 a 0,9 m.

El retranqueo C en el inciso A del Gráfico 72 DISEÑOS PARA TERMINALES DE SALIDA Anexo III, depende de la longitud y forma del huso pavimentado que la precede. Para el caso de una salida direccional, según se muestra con línea llena, se usa un desplazamiento de 1,2 a 3,6 m. Dentro de este rango, la elección de un retranqueo específico es materia del buen juicio del diseñador, al suponer diferentes trayectorias de los vehículos de un trazado a escala del ramal. En casos donde la canalización tiene limitación de espacio y los radios de curva sólo permiten velocidades bajas, pueden aplicarse retranqueos de 0,6 a 1,2 m. Para el caso eventual de tenerse un carril de deceleración en paralelo, según se muestra en el mismo Gráfico con línea de puntos, el desplazamiento C debe ser igual al ancho de este carril o bien 3,0 a 3,6 m.

Cuando la carretera principal tiene una banquina estabilizada o pavimentada que continúa más allá de la nariz divergente, el retranqueo C corresponde al ancho de la banquina. Las eventuales correcciones de rumbo se llevan a efecto sobre la banquina (*Gráfico 72 inciso B*).

El tratamiento de la nariz divergente, con respecto al borde del pavimento del ramal de giro, consiste en la aplicación de un redondeo circular, con radio de 0,6 a 0,9 m. Esto es satisfactorio para la mayoría de los diseños del tipo indicado en los incisos A, B y C del *Gráfico 72*. A medida que la importancia del ramal de giro aumenta, pueden usarse desplazamientos hasta de 1,8 m o más, según aparece en el diseño del inciso D del mismo Gráfico.

La longitud Z, que se muestra en el Gráfico 72 debe ser suficiente para permitir a un conductor que erróneamente haya desviado a la derecha, corregir su rumbo y volver a la carretera principal. Esta longitud aparece tabulada en la *Tabla 3.1_66* para diferentes velocidades de proyecto de la carretera principal.

Tabla 3.1_66. LONGITUD DE TRANSICION (Z) PARA HACER DESAPARECER EL CARRIL DE RECUPERACIÓN

Velocidad de Proyecto carretera principal (km/h)	Z = Longitud por metro de desplazamiento de la nariz divergente (C)
50	7
60	9
80	11
90	13
110	15
120	16

A lo largo de la distancia Z, la transición desde el desplazamiento C hasta un ancho nulo se hace linealmente con respecto al borde de la calzada.

D.3.3. Terminales de entrada

En terminales de entrada la nariz convergente de la isla de canalización debe ser lo más pequeña posible. En el caso que se empleen cordones, la nariz debe redondearse en un radio de 0,30 a 0,45 m. Cuando no se usan cordones, los correspondientes bordes del pavimento deben converger y cortarse en un ángulo agudo. Siempre que sea posible, el borde del pavimento del ramal debe alinearse casi paralelamente con la carretera principal.

Cuando la canalización tiene limitación de espacio, el largo y radio del ramal de giro pueden no ser suficientes para obtener el “casi paralelismo” con la carretera principal. En estos casos la nariz convergente de la isla de canalización es la simple intersección de los bordes del pavimento, redondeada o cuadrada a una dimensión práctica.

Cuando el tránsito converge hacia la carretera principal a alta velocidad y siempre que sea posible, es deseable realizar ajustes de alineación y/o de ancho en el Terminal de entrada.

El Gráfico 73 inciso A, muestra el trazado típico de una Terminal de entrada con carril de aceleración, de tipo paralelo (línea de trazos). Si el pavimento del ramal corresponde al caso I de la Tabla 3.1_ 56, éste se mantiene uniforme hasta la nariz convergente (en el Gráfico 73 se designa con w1). Si el ancho de pavimento corresponde al caso II de la misma Tabla, (w2 en el Gráfico 73), éste preferiblemente debe estrecharse en la nariz al ancho w1 para evitar que los vehículos entren abiertamente a la carretera, obligándolos así a hacer uso de un solo carril después de la nariz.

Este estrechamiento se lleva a cabo ajustando preferiblemente el borde izquierdo del ramal, pero también puede hacerse ajustando el borde derecho (ver numeral 3.1.1.9.5. (C.7.2).

El estrechamiento de ancho del pavimento debe comenzarse gradualmente con anterioridad a la nariz convergente en una longitud (F) que permita a los conductores acomodar lateralmente su rumbo a medida que se acercan al punto más angosto. En la Tabla 3.1_ 67 se indica las longitudes mínimas en que debe realizarse el estrechamiento del pavimento en terminales de entrada, en función de la Velocidad de Operación y de la reducción de ancho.

Tabla 3.1_67. LONGITUDES PARA REDUCCIÓN DE ANCHO DE PAVIMENTO EN NARICES CONVERGENTES

Condición	Reducción (m) del ancho del pavimento en:				
	1,2	1,8	2,4	3,0	3,6
	Requiere de una longitud (m) de:				
Mínima	120	180	240	300	360
Deseable	180	270	360	450	540

Mínimos corresponden a velocidades de operación de 36 km/h.

Deseables corresponden a velocidades de operación de 48 km/h.

La introducción de un carril adicional en la carretera principal a partir del Terminal de entrada (Gráfico 73 inciso B) se justifica en los siguientes casos:

el volumen de tránsito que se incorpora a la vía principal a través del Terminal de entrada está próximo a la capacidad de un carril

el volumen de tránsito entrante más el directo sobrecargan la capacidad de la vía principal. En el inciso C del Gráfico 73 se muestra el diseño de dos carreteras de dos carriles cada una que converge a una calzada de tres carriles. Debido a la alta velocidad que este diseño implica, las alineaciones deben formar un ángulo muy agudo, de razón aproximada 50:1, para obtener un estrechamiento gradual de cuatro carriles a tres carriles

Cuando existe banquina pavimentada al lado derecho de la vía principal, se emplean los mismos detalles de diseño analizados anteriormente, excepto que se considera el borde exterior de la banquina en lugar del borde del pavimento.

E. DEFINICIÓN EN ELEVACIÓN

E1. Aspectos generales

Ya sea que las carreteras que se interceptan se proyecten conjuntamente con su intersección, o que esta última tenga que adaptarse a una o más vías inalterables, siempre se presentará el problema de cómo resolver la elevación de las distintas superficies que ella genera. Es preciso empalmarlas adecuadamente, respetando lo más posible las normas para peraltes y proveyendo las condiciones mínimas para drenarlas.

El problema tiende a ser menor en la medida que sea posible retocar las vías confluentes, para adecuarlas en su conjunto según algún criterio simplificador. A continuación, se describe las dos maneras en que puede plantearse este asunto, sin perjuicio de su aparición combinada en una misma intersección.

E2. Caso de una plataforma única

E.2.1. Aspectos generales

Cuando la superficie de la intersección es pequeña y sus varios elementos están próximos entre sí, las elevaciones de dichos elementos se condicionan las unas a las otras, a la vez que dependen rígidamente de las características en perfil de las vías que se cruzan. Esto sucede en las intersecciones mínimas, canalizadas o no, y también en aquellas zonas de las intersecciones amplias en las que se utilicen radios pequeños para algunos movimientos.

En estos casos no es posible asociar a los ejes en planta de cada ramal un perfil longitudinal que sea coherente con las normas y recomendaciones aplicables a ejes que tienen un desarrollo libre considerable, ya que los perfiles resultantes generarían una superficie muy irregular, de difícil definición y propiciatoria de problemas de construcción y drenaje. La situación se resuelve inscribiendo la planta de la intersección en un plano único, que se define según las recomendaciones que siguen, distinguiéndose dos planteamientos distintos.

E.2.2. Prolongación de superficies existentes

Cuando ello es posible, es recomendable mantener inalterada la sección transversal de las vías principales, adaptando tanto la intersección como las vías secundarias a la necesidad de empalmar coherentemente con las primeras. Esto implica la prolongación de la superficie de sus carriles, con las inclinaciones que en ese punto tienen, hasta cubrir el área necesaria para la intersección.

Se observará que en estos casos no se puede hablar propiamente de peraltes, puesto que las inclinaciones transversales a la marcha de los vehículos son variables, con un valor máximo posible igual al de la línea de máxima pendiente. Por conveniencias del drenaje, esta línea de máxima pendiente deberá tener una pendiente mínima de 1,5 %.

Si la intersección tuviera ramales independientes que se deseara peraltar, esto es posible de hacer sin alterar la punta que aparece entre dichos ramales y la vía de paso (empalmes). Efectivamente, la superficie predefinida, en este caso, terminaría en los bordes izquierdos (en el sentido de la marcha de los vehículos) de los ramales en cuestión, pudiendo las calzadas de ellos, a partir de ahí, inclinarse lo necesario para conseguir su peralte.

En tal circunstancia se debe tener presente que dichos peraltes deben ajustarse a las características transversales de las calzadas con las que dichos ramales empalman, respetando también las normas contenidas en la Tabla 3.1_68. Además, debe respetarse las

normas relativas a la arista común de la calzada del ramal con la punta de los empalmes (Tabla 3.1_ 69).

Para una mejor comprensión de este tema, debe estudiarse atentamente el ejemplo del *Gráfico 74*, donde aparece una intersección tipo “T”. Allí se abunda sobre los modos de prolongar las superficies de calzada y se da recomendaciones al respecto.

E.2.3. Recrecimientos

Cuando no se desea modificar las vías existentes, pero se requiere ampliar la zona de intersección para brindar un mejor servicio, se puede efectuar un recrecimiento de los pavimentos en aquellos puntos en los que se desea ampliar los radios de giro.

Tales ampliaciones serán permitidas, sin una adaptación mayor de la superficie afectada, sólo para conseguir una intersección mínima sin canalizar, en los casos en que tal mínimo no se cumpla. Si estuviese implicada la aparición de islas y canalizaciones deberá procederse según lo especificado en el literal anterior para plataformas únicas.

La elevación de estos recrecimientos se definirá como superficie reglada entre los bordes de los carriles que delimitan la zona a pavimentar. En el caso que dichos bordes no tuviesen pendiente uniforme, pudiendo por lo tanto existir más de una solución a tal superficie, el reglado deberá hacerse perpendicularmente a una línea próxima a la bisectriz del ángulo que forman los bordes.

Las superficies así generadas deben ser analizadas para asegurar un drenaje conveniente. En caso de producirse pendientes máximas inferiores a 1,5% o en caso de escurrir las aguas hacia la calzada de manera contraproducente, se podrá deprimir dicha bisectriz. Los dos planos que así se generan en el recrecimiento deben encontrarse en una arista redondeada y sus diferencias de pendientes no debería superar el 5%. Como método general se recomienda hacer un plano de la intersección con curvas de nivel cada 0,25 m o menos, para detectar depresiones que puedan dar origen a charcos de agua, con el consiguiente riesgo de accidentes debidos al “planeo” de los vehículos a altas velocidades.

E3. Caso de eje independiente

E.3.1. Aspectos generales

Cuando en la intersección están previstos ramales de gran desarrollo, o con velocidades de proyecto superiores a 40 km/h, es conveniente definir ejes longitudinales independientes para dichos ramales. Por una parte, porque las grandes superficies comprometidas pueden no ser susceptibles de ser prefijadas sin considerables movimientos de tierras, y por otra, porque dichas velocidades requieren un perfil longitudinal homogéneo y normalizado.

Además, esta definición es casi siempre posible cuando un ramal tiene un desarrollo importante y no es paralelo y próximo a alguna otra calzada existente, ya que su perfil longitudinal se independiza rápidamente de los condicionamientos que le impone su proximidad inicial a otros elementos del trazado.

De esto se infiere que el perfil longitudinal de un eje de un ramal largo de una intersección, así como los de ramales de enlace, pueden dividirse en partes que requieren un modo de definición distinto.

En efecto, en la zona de los empalmes de un eje con algún otro elemento geoméricamente definible de la intersección (bordes de calzada preferentemente), el perfil longitudinal deberá definirse en función de algunos parámetros propios de dichos elementos del empalme.

Una vez fuera de la zona de empalme, o sea, cuando el eje en planta del ramal se encuentra lo suficientemente alejado del carril al que llega o del que sale, el perfil longitudinal se puede definir según sus conveniencias aisladas, respetando los valores pertinentes de esta Guía.

A continuación, se dará los valores y las recomendaciones para la ejecución de ambas partes de un eje longitudinal.

E.3.2. Zonas de empalmes

En el numeral 3.1.1.9.5 (D.3), se ha tratado el tema de la definición en planta de los terminales de entrada y salida. Allí se presentan normas para el diseño de las zonas involucradas en las maniobras correspondientes, de modo que las singularidades que ellas constituyen no signifiquen un peligro para los usuarios.

Estas disposiciones definen las zonas triangulares que se producen entre las vías y/o ramales que convergen o divergen, previéndose algunos desplazamientos mínimos de la nariz desde los bordes de los carriles principales y del pavimento de las referidas superficies triangulares o “puntas”, que son previas a dichas narices.

Así el perfil longitudinal de un ramal queda condicionado, en la zona de empalme, por las características transversales de la punta y de la calzada de la cual se desprende o a la cual llega, y por las dimensiones de las banquetas correspondientes, si existen.

No es conveniente, por lo tanto, definir dicho perfil en forma independiente de los elementos citados. Si así se hiciera, la zona de la punta podría resultar con desniveles transversales inadmisibles. Las pendientes transversales de la punta no deben ser superiores al 8%, y la diferencia algebraica de las inclinaciones en las aristas que ella puede generar en sus empalmes con las vías y con los ramales deberá estar limitada por los valores de la Tabla 3.1_69. No se permitirá escalones, ni cordones, ni muros de retención que puedan significar un peligro para los vehículos que puedan haber equivocado su maniobra.

En suma, el perfil longitudinal de un ramal en la zona de empalme, o sea, desde que los carriles se empiezan a separar hasta que distan entre sí los anchos dispuestos en el numeral 3.1.1.9.5 (D.3) para empalmes, deberá deducirse del de la vía predefinida, considerando las pendientes transversales de los carriles involucrados y de la punta adyacente.

En el Gráfico 75 se ejemplifica una situación de este tipo, para un caso en que existen banquetas tanto en la vía principal como en el lado izquierdo del ramal, y con una vía de deceleración directa. El eje de replanteo del ramal será, en esta oportunidad, el borde izquierdo de su calzada (en el sentido de la marcha de los vehículos) y empalmará con el borde correspondiente de la calzada de la vía principal.

F. DEFINICIÓN DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES

F1. Aspectos generales

Una vez definida la planta de la intersección y su elevación, corresponde tratar aquellos aspectos del diseño que tienen relación con las inclinaciones transversales de los elementos dispuestos, respetando las condiciones surgidas de la aplicación de criterios para resolver la elevación de las plataformas, o de los empalmes en caso de ramales.

F2. Relación entre radios y peraltes en función de la Velocidad de Proyecto

Los peraltes en las intersecciones están condicionados, como ya se ha descrito en el Numeral 3.1.1.9.5. (E), por las características de su trazado en planta (tamaño de la intersección, desarrollo de los ejes, etc.). Existen casos en los que sencillamente no se puede siquiera hablar de peraltes en ella (intersecciones mínimas), porque las inclinaciones de toda la superficie en la

que la intersección se inscribe quedan determinadas a priori por criterios que atienden a la realidad dimensional del dispositivo.

Cuando el trazado en planta lo permite, esto es, cuando un ramal de giro es tal que la inclinación de su superficie no afecta negativamente a otras superficies de rodadura, y además se tiene desarrollos compatibles con las exigencias para transición de peraltes, se debe proveer a dicho ramal de una inclinación transversal que se relacione adecuadamente con su radio de curvatura y con la Velocidad de Proyecto asociada. Esto se consigue aplicando la expresión $R = V^2 / 127 (e + f)$ como se instruye en el *Numeral 3.1.1.9.5 (C.4)*. Los valores de “e” y “f” aplicados son distintos según sea el caso analizado. En la *Tabla 3.1_ 51* se tabula los valores que resultan para condiciones de peraltes mínimos y máximos.

Cuando la geometría de la intersección lo permite, los peraltes asignados a las distintas velocidades de proyecto, con sus radios de curvatura asociados, serán los que resultan de considerar que el peralte absorberá 1/4 de la fuerza centrífuga y el factor de rozamiento los 3/4 restantes. Con ello, los peraltes que se puede disponer quedan determinados ($f = 3e = 0,197 V^2/R$), con un valor máximo de 8%.

En el *Gráfico 76* se grafica los valores de la Velocidad de Proyecto, del radio de curvatura, del peralte y del factor de rozamiento que cumplen las condiciones:

F3. Transición de peralte

El desarrollo del peralte debe iniciarse cuando el ramal de giro haya adquirido un ancho mínimo de 0,5 m. Preferiblemente 1,0 m en los casos en que existe longitud suficiente para lograr el desarrollo total. Con anchos menores el proceso constructivo es engorroso y casi no existe ventaja para la operación, pues los conductores no utilizan este primer tramo del ramal.

Las mismas razones de comodidad y efecto estético que valen para carreteras rigen en el caso de ramales en intersecciones en cuanto al desarrollo del peralte se refiere. No obstante, lo anterior, se puede aceptar pendientes longitudinales del borde peraltado, referida al eje (Δ), normalmente mayores que en el caso de carreteras.

La *Tabla 3.1_ 68* recomienda las pendientes longitudinales aceptables del borde del ramal respecto a su eje de replanteo, en función de la Velocidad de Proyecto. El *Gráfico 77* ilustra cuatro ejemplos de cómo desarrollar el peralte en un ramal de giro según sea el trazado del camino de paso. En cada una de ellas puede observarse que entre los puntos a y b se mantiene en el ramal de giro el bombeo propio del carril de paso y de allí en adelante se desarrolla el peralte deseado. Los cortos espacios disponibles para el desarrollo del peralte, así como la limitación impuesta por la condición que debe cumplir la arista común, obliga a desarrollar parte del peralte en plena curva, aún en los casos que exista carril de cambio de velocidad. Debe sin embargo alcanzarse prácticamente el valor total del peralte elegido alrededor del punto e de los Gráficos en estudio.

Tabla 3.1_68. VALORES ADMISIBLES PENDIENTE RELATIVA DE BORDE (Δ %)

Velocidad de Proyecto (km/h)	25 – 30	40	50	60
Pendiente longitudinal normal del borde, referida al eje (Δ %)	1,0	0,8	0,7	0,6
Pendiente longitudinal máxima absoluta del borde, referida al eje (Δ %)	1,5	1,5	1,5	1,5

F4. Condiciones de la arista común a la carretera de paso y al ramal de giro

La segunda limitación importante que debe tenerse presente al elegir un peralte dado para el ramal de giro se refiere al ángulo que forman los planos del carril del camino de paso y del carril

del ramal. Cuando esta discontinuidad es importante, los vehículos que cruzan la arista en un ángulo muy agudo acusan un efecto desagradable. En el caso de los camiones con carga alta puede eventualmente producirse el vuelco.

La situación descrita se supera manteniendo la diferencia algebraica de las pendientes de cada carril, dentro de los límites indicados por la *Tabla 3.1_69*.

Tabla 3.1_69. MÁXIMA DIFERENCIA ALGEBRAICA ACEPTABLE ENTRE LA PENDIENTE TRANSVERSAL DEL CARRIL DEL CAMINO DE PASO Y EL PERALTE DEL RAMAL DE GIRO EN SU ARISTA COMÚN

Vp Ramal (km/h)	Diferencia Algebraica
25 – 30	5 – 8
40 – 50	5 – 6
60 o más	4 – 5

G. INTERSECCIONES ROTATORIAS O ROTONDAS

G1. Aspectos generales

La intersección rotatoria a nivel, llamada rotonda o glorieta, se distingue porque los flujos vehiculares que acceden a ella por sus ramas maniobran al interior de un anillo vial que las conecta. Las trayectorias de los vehículos en el anillo son similares a los entrecruzamientos, razón por la cual el número de puntos de conflicto es menor que en otros tipos de intersecciones.

La operación de una rotonda se basa en la prioridad de paso de los vehículos que circulan por el anillo. Los vehículos que ingresan al anillo lo hacen cuando juzgan que los espacios entre vehículos son suficientes para ello. Esto hace que dicho anillo no opere como una sucesión de zonas de trenzado, de la manera en que se entiende tales zonas, lo que explica que el cálculo de la capacidad de las mismas no pueda ser abordado como se hace con éstas, sino como se indica en el numeral 3.1.1.9.5 (G.6).

Las rotondas son especialmente ventajosas si los volúmenes de tránsito de las ramas de acceso son del mismo orden de magnitud, o si los movimientos de giro predominan sobre los de paso. Esto es particularmente así en las rotondas de tres ramas. En el *Gráfico 78* se muestra, para este último caso, combinaciones de demandas en la carretera primaria y en la carretera secundaria (la que empalma con el itinerario principal), expresada como Intensidad Media Diaria IMD (Mveh/día). Estas combinaciones aparecen relacionadas con el tipo de diseño más conveniente. El predominio de alguno de los flujos de paso anula tales ventajas, por las demoras que a éste impone la rotonda. En tal caso debe analizarse otra solución.

Hay tres tipos principales de rotondas: normal, mini y doble. Las demás son variantes de este tipo básico: intersección anular, desnivelada o semaforizada.

La rotonda normal tiene una isla central delimitada por cordones y de diámetro superior a 4 m (*Gráfico 79 inciso A*). Sus entradas son generalmente ensanchadas para permitir la entrada de vehículos por múltiples carriles. El número de ramas recomendado es tres o cuatro. Si el número de ramas es mayor que cuatro, pueden ser mejores las rotondas dobles (*inciso D y E del mismo Gráfico*).

La mini rotonda tiene una isla central de diámetro entre 1 y 4 m, a nivel o abombada, y sus ramas pueden presentar o no ensanchamientos en sus entradas al anillo. Sólo deben usarse cuando todas las vías confluentes tienen velocidad limitada a 50 km/h. Si la actividad ciclística es intensa, no son recomendables (*ver incisos B y C del Gráfico 79*).

Las rotondas dobles son dispositivos compuestos por dos rotondas normales o dos mini rotondas, contiguas o conectadas por un tramo de unión o por una isla alargada delimitada por cordones.

Son útiles para acondicionar intersecciones existentes separando giros a la izquierda opuestos “a la indonesia”; para resolver intersecciones asimétricas o de planta muy esviada, en las que intersecciones convencionales generan desvíos importantes para los accesos y las rotondas normales una excesiva ocupación (*ver figuras D y E del Gráfico 79*). También son útiles, con desnivelaciones, para unir carreteras separadas por obstáculos lineales, como ríos, ferrocarriles o autopistas.

Las rotondas a distinto nivel son las que al menos una de sus ramas se conecta con una carretera que pasa a distinto nivel. Las más habituales son las de dos puentes y las de tipo “pesa” o “mancuerna” (*ver figuras A y B del Gráfico 80*).

Las intersecciones anulares son rotondas en la que la circulación normal, en sentido único en torno a la isla central, ha sido reemplazada por una circulación en doble sentido, con mini rotondas de tres ramas en cada acceso. Se requiere que los conductores que están en la rotonda cedan el paso a los que entran, contrariamente a lo habitual. La conversión de rotondas muy grandes en intersecciones anulares resuelve eficazmente problemas de congestión sin reducir la seguridad (*ver figura C del Gráfico 80*).

Las rotondas semaforizadas alivian disfunciones de rotondas con exceso de flujos o reparto desequilibrado de la demanda por rama. Los semáforos pueden colocarse en alguna de sus entradas o en todas ellas, y pueden funcionar continuamente o en los períodos donde ellos mejor sirvan a la regulación del dispositivo (*ver inciso D del Gráfico 80*).

G2. Ventajas y desventajas

Las principales ventajas de las rotondas se encuentran entre las siguientes:

- Cuando están bien proyectadas y se aplican a los casos donde estén indicadas, hacen que el tránsito circule en forma ordenada y continua, con pocas demoras y gran seguridad
- Su sencillez y simplicidad de funcionamiento facilitan su comprensión por parte de los usuarios
- Los conflictos no son tan agudos y los accidentes que puedan ocurrir no resultan tan severos
- Los giros a la izquierda se facilitan mediante maniobras de convergencia y divergencia, aunque las distancias a recorrer sean mayores
- Son la única solución para intersecciones con cinco o más ramas
- Tienen un menor costo que las intersecciones con paso a desnivel que realicen funciones equivalentes, y generan menores costos de mantenimiento que intersecciones semaforizadas
- En carreteras de calzada bidireccional, cuando las posibilidades de adelantamiento son limitadas, una acertada implantación de rotondas puede mejorar la proporción de alineaciones rectas propicias para adelantamientos sin que aumente excesivamente la velocidad
- Es un elemento útil para señalar cambios de funcionalidad o categoría de la carretera, como cambios importantes de sección y capacidad, o el paso de una carretera con enlaces a otra con intersecciones, o el paso de una zona urbana a otra suburbana

- Permite efectuar cambios de alineación bruscos que no podrían lograrse con radios mínimos
- Permiten, en algunos casos, agregar nuevas ramas, y con ello resolver situaciones que de otro modo requerirían soluciones de mayor complejidad
- La forma y dimensiones del terreno ocupado favorece la evolución de la rotonda a enlace
- el impacto ambiental de una rotonda, especialmente intrusión visual y ruido, suele ser menor que el de otros dispositivos, especialmente los enlaces. La isla central es susceptible a proyectos de paisajismo de impacto favorable significativo
- Por otra parte, sus principales desventajas son:
 - No siempre tienen mayor capacidad que las intersecciones a nivel bien proyectadas y reguladas
 - Necesitan más espacio y son generalmente más costosas que las intersecciones a nivel con función equivalente
 - No son apropiadas cuando el volumen de peatones o la actividad de transporte colectivo son significativos
 - Aumentan las distancias recorridas por los vehículos, aunque pueden disminuir sus tiempos de recorrido
 - Hacen perder la prioridad a todas las ramas y por lo tanto la jerarquía vial a carreteras principales, e impone demoras a todos los usuarios
 - No se puede ampliar con facilidad y por lo tanto no se adaptan a planes de construcción por etapas

G3. Elementos de diseño de rotondas

G.3.1. Trazado en planta

El *Gráfico 81* muestra un trazado en planta de una rotonda normal. Se destaca allí los factores más relevantes en el diseño de estos dispositivos:

Trayectoria de los vehículos a través de la rotonda y curvatura de la trayectoria de entrada. Radio mínimo del borde externo a la entrada, entre 6 y 100 m, con un mínimo de 20 m si se prevé vehículos largos.

El ángulo de entrada a la rotonda, que debe estar en el rango de 20g (18°) a 60g (54°).

Radio mínimo de salida, del orden de 40 m pero no inferior a 20 m.

Ensanchamiento de las ramas de entrada para proporcionar carriles adicionales

Anchos de los carriles de las ramas de entrada y del anillo

G.3.2. Trazado de los accesos

La trayectoria de los vehículos a la entrada es uno de los factores más importantes para la seguridad de la circulación, que depende de la inflexión dada a la misma. Un giro inicial de unos 15g (13,5°) basta para advertir la presencia de la entrada, mientras que una limitación del radio de curvatura de la trayectoria a la entrada a un máximo de 100 m asegura una velocidad razonable de ingreso. Contribuye decisivamente al mismo fin el diseño de islas deflectoras en cada acceso, así como también es útil desalinear los accesos hacia la

izquierda del centro de la isla central, dejando a dichas islas deflectoras enfrentando el hemisferio izquierdo de la isla central.

Se recomienda añadir al menos un carril adicional en las ramas de entrada, pero no más de dos en accesos de dos carriles y doble sentido de circulación, ni más de cuatro en accesos de más de un carril por sentido. La longitud mínima de estos carriles adicionales debe ser de 25 m en zonas rurales (5 m en ciudad). Los carriles adicionales deben distinguirse, con una anchura mínima de 2,0 m a partir de la mitad de la longitud total del ensanchamiento, la cual no deberá superar los 100 m.

La anchura mínima de los carriles a la entrada debe ser de 2,5 m, pero son preferibles anchos mayores. Tres carriles de 3,33 m son mejores que 4 de 2,5 m.

Las salidas deben tener al menos el mismo número de carriles que las ramas de las carreteras a las que desembocan. Donde sea posible debe proveerse de un carril adicional, que desaparezca por la derecha con un bisel de 1:15 a 1:20. Si la salida tiene pendiente de subida, este bisel debe prolongarse para evitar el efecto de los vehículos lentos en la operación de la rama.

En salidas de un solo carril el ancho mínimo de éstas es de 6,0 m junto a las islas deflectoras, de modo que sea posible adelantar a un vehículo momentáneamente detenido.

Para que la salida resulte fácil, se recomienda que el radio mínimo de su cordón interior sea igual o superior a 40 m (20 m mínimo absoluto, preferible cuando hay peatones).

Las banquetas pavimentadas deben terminar antes del ensanchamiento, para lo cual los cordones propios de las rotondas pueden aparecer antes de las entradas, por fuera de la banquina y reducirse éstas a cero con una transición corta y suave.

G.3.3. Calzada circular o anillo de la rotonda

Los anillos de las rotondas deben ser de preferencia circulares. El diámetro del borde interior depende del diámetro del borde exterior y del ancho del anillo. Este último debe ser constante y estar comprendido entre el 100% y el 120% del ancho de la entrada más amplia; salvo que el diámetro del borde exterior sea inferior a 36 m, en cuyo caso rigen las dimensiones de la *Tabla 3.1_70*.

Tabla 3.1_70. ANCHOS REQUERIDOS PARA EL GIRO DE VEHÍCULOS VA1 EN ROTONDAS NORMALES PEQUEÑAS

Diámetro de la Isla Central (m)	Borde Exterior (m)
4,0	28,0
6,0	28,8
8,0	29,8
10,0	30,8
12,0	32,0
14,0	33,20
16,0	34,60
18,0	36,00

G.3.4. Carriles segregados para giros a la derecha

Si más del 50% de los flujos que ingresan a una rotonda por una de sus ramas sale por la siguiente, o si ello ocurre con más de 300 vehículos por hora en los períodos punta, se debe plantear el diseño de un carril segregado que permita a dichos vehículos obviar el trámite

de ingreso a la rotonda. Esto no debe hacerse si la rama de entrada tiene menos de tres carriles, ni donde existan accesos a la propiedad a lo largo de tales carriles segregados.

El ancho de estos carriles debe mantenerse entre 3,0 m y 3,5 m.

La convergencia entre los vehículos procedentes de un carril segregado para giro a la derecha y los demás que abandonan la rotonda por la rama de salida normal equivalente debe hacerse dentro de los 50 m siguientes a dicha salida, cuando las velocidades aún son bajas, en una longitud mínima de 10 m.

La segregación puede materializarse mediante demarcación, con bloque discontinuos de ancho mínimo de 1,0 m, o físicamente mediante cordones montables o islas.

G.3.5. Pendiente longitudinal

Las rotondas deben situarse en planos con pendientes no superiores al 3%. Mejor aún en acuerdos convexos. Las pendientes longitudinales deben combinarse con las transversales para asegurar el drenaje superficial de la calzada. Los bordes de la rotonda deben tener, como mínimo, una pendiente longitudinal de 0,65% (mínimo absoluto: 0,5%).

G.3.6. Pendiente transversal

La pendiente transversal en la calzada anular de una rotonda debe ser mínimo 2%, para asegurar el drenaje superficial. En las entradas puede intentarse peraltes favorables a las maniobras respectivas, pero en el anillo sólo se dispone de una limatesa redondeada uniendo los extremos de las islas deflectoras, o también una que divida el anillo en la proporción 2:1 (con la parte más ancha adyacente a la isla central), o dos limatesas que lo dividan en tres anillos concéntricos de igual ancho.

En el caso de los anillos de rotondas no es aplicable la prohibición de usar contraperaltes para Velocidades de Proyecto inferiores a 60 Km/h. En efecto, considerando que la inclinación transversal del anillo se define por lo general de modo que la evacuación de las aguas lluvias se haga hacia su exterior, se aceptarán los radios límites con un contraperalte de 2% que se citan en la *Tabla 3.1_71*, para los que no se supera los valores aceptados para el coeficiente de fricción transversal.

Tabla 3.1_71. : RADIOS LÍMITES EN CONTRAPERALTE PARA ANILLOS DE ROTONDAS

Vp (km/h)	25	30	35	40	45	50	55
RLC (m)	30	50	75	110	160	220	290

G4. Aspecto estético del trazado

Un buen aspecto estético de la rotonda debe formar parte del proyecto de trazado de la misma, ya que ayuda al conductor a apreciar la existencia de la intersección y por consiguiente a ajustar su velocidad y trayectoria. Por ejemplo, un contraste en color y configuración con islas cubiertas de hierbas o con plantaciones de grupos de arbustos que destaquen a distancia, avisa al conductor que se aproxima a la rotonda y que necesita reducir la velocidad. La única precaución que hay que tener es que las plantaciones no reduzcan la visibilidad necesaria.

En zonas rurales es ventajoso disponer la isla central como montículo, ya que resulta una manera clara de avisar a los conductores la presencia de una intersección rotatoria, y además, si se sitúa una banquina a la izquierda del pavimento, permite evitar el empleo de soleras en la isla, que a veces suponen un costo excesivo.

G5. Señalización, demarcación de pavimento e iluminación

Las rotondas requieren señales informativas y preventivas, etc., reflectantes o preferiblemente iluminadas. Ellas desempeñan un papel preponderante en la seguridad del tránsito, en especial cuando es necesaria una reducción de velocidad en los accesos.

El empleo de líneas pintadas sobre el pavimento de la rotonda no es conveniente. La superficie pavimentada entre las islas de encauzamiento y los accesos adyacentes, así como las maniobras de convergencia y divergencia funcionan mejor sin los carriles marcados. Estas son muy útiles en los accesos, complementadas con flechas indicadoras, pero deben terminar al final de la isla correspondiente.

Por último, es muy importante que las rotondas estén provistas de iluminación, aunque a veces es muy difícil de proveer por encontrarse distantes de una fuente de energía.

G6. Capacidad en rotondas

La capacidad de una rotonda se define para cada rama de entrada. La capacidad de entrada en una rama es el máximo flujo que puede ingresar al anillo de la rotonda desde esa entrada cuando en ella existe una demanda suficiente para causar una cola continua en la rama.

La ecuación recomendada en el apéndice 1 del “Design Manual for Road and Bridges: Volumen 6. Road Geometry, Section 2” (Department of Transport of the United Kingdom, England, 1.992) para predecir la capacidad de una entrada de rotonda, y que es utilizada en el programa “ARC-ADY” es la siguiente:

$$Q_E = k (F - f_c Q_C)$$

Donde:

Q_E = Flujo de entrada en veq (vehículos equivalentes: 1 vehículo pesado = 2 vehículos livianos).

Q_C = Flujo en el anillo que cruza la entrada (veq).

k = $1 - 0,00347 (F - 30) - 0,978 (1/r - 0,05)$

F = $300 x_2$ (en rotondas con desnivelaciones se usa $F = 336 x_2$)

f_c = $0,21 t_d (1 + 0,2 x_2)$ (en rotondas con desnivelaciones se usa $f_c = 0,294 t_d (1 + 0,2 x_2)$)

t_d = $1 + 0,5 / (1 + M)$

M = $\exp \{(D - 60) / 10F\}$

X_2 = $v + (e - v) / (1 + 2S)$

S = $1,6 (e - v) / L'$

E, v, L', S, D, F, r son parámetros geométricos cuyos rangos de validez y definiciones son:

$3,6 \text{ m} \leq e \leq 16,5 \text{ m}$: ancho de entrada. Se mide desde el punto A en sentido perpendicular al cordón vecino (figura I en Gráfico 82)

$1,9 \text{ m} \leq v \leq 12,5 \text{ m}$: semi-ancho de la rama del caso. Se mide antes del inicio del ensanche, desde la línea central de la calzada (o desde el borde interior de la calzada correspondiente si se tiene doble calzada) hasta el cordón exterior, en sentido perpendicular (figura I de el Gráfico 82)

$1,0 \text{ m} \leq L' \leq \infty \text{ m}$: largo promedio de ensanche efectivo. Se determina como se muestra en la figura II del Gráfico 82: La línea GFD es una paralela a la línea central HA (o borde de calzada) a la distancia v de ésta; BA es la línea a lo largo de la cual e es medido, perpendicular a GBJ y por lo

tanto a la distancia $(e - v)$ de B. La línea CF es paralela a BG (cordón vecino) y a una distancia $(e - v) / 2$ de ella. Normalmente la línea CF es curva y su longitud (L') se mide a lo largo de esa curva

$0,0 \leq S \leq 2,9$: agudeza del ensanche. Es medida de la tasa a la cual el ancho extra se desarrolla en el ensanchamiento de la entrada.

$13,5 \text{ m} \leq D \leq 171,6 \text{ m}$: diámetro del círculo más grande que pueda inscribirse dentro de la rotonda (*figura I del Gráfico 82*). Si el trazado es asimétrico se toma el valor local en la región de la rama analizada.

En el caso de una doble rotonda se procede como señala la *figura III del Gráfico 82*.

$0,0^\circ \leq \phi \leq 77^\circ$: ángulo de entrada. En rotondas con distancias entre ingresos y salidas sucesivas de unos 30 metros, este ángulo se determina según lo señalado en las *figuras IV y V del Gráfico 82*. La *figura IV del Gráfico 82* muestra el caso en que el tramo del anillo entre ramas es aproximadamente recto: AD es paralela a los bordes de este tramo, "A" es el mismo de la *figura I del Gráfico 82* y "D" es el punto más cercano a "A" de la isla (elevada o pintada) de la siguiente rama. La *figura V del Gráfico 82* muestra el caso en que el tramo entre ramas es curvo o claramente no paralelo: A'D' reemplaza en este caso a la recta o casi recta AD. En ambos casos la línea BC es tangente a la línea EF (línea medianera entre la solera exterior y el borde opuesto de la entrada, que para este efecto continúa por el borde de la isla de la misma rama, sea ésta elevada o pintada), en el punto en que ésta corta la línea de cesión de paso en la entrada. El ángulo ϕ es el ángulo agudo entre las líneas BC y AD de la *figura IV del Gráfico 82*, y en la *figura V del Gráfico 82* es el ángulo agudo entre las líneas BC y la tangente a A'D' en el punto en que BC y A'D' se cortan.

Para toda otra rotonda ϕ se determina de la manera que se muestra en la *figura VI del Gráfico 82*. La línea BC es la misma de las figuras IV y V. La línea GH es la tangente a la línea JK (línea medianera, en la salida siguiente, entre la solera exterior y el borde opuesto de la entrada, que para este efecto continúa por el borde de la isla de la misma rama, sea ésta elevada o pintada), en el punto donde esta línea corta el borde exterior del anillo. BC y GH se interceptan en L. El ángulo ϕ queda definido entonces como $\phi = 90^\circ$ (ángulo GLB)/2, cuando este último término es positivo, y $\phi = 0^\circ$ cuando es negativo. El ángulo GLB se mide por el exterior de la rotonda: por el lado que se opone a la isla central.

$3,4 \text{ m} \leq r \leq \infty \text{ m}$: radio de entrada. Es el radio de curvatura mínimo de la solera próxima a la entrada, como se muestra en la *figura I del Gráfico 82*. En algunos diseños el arco de radio mínimo se extiende hasta la salida siguiente, pero esto no es relevante mientras la mitad o más de la longitud del arco se encuentre en la región de la entrada.

3.1.1.9.6. ENLACES

A. ASPECTOS GENERALES

A1. Definición de enlace

Se llama enlace a un dispositivo vial que resuelve el encuentro o cruce de dos o más vías mediante el paso a distinto nivel del tronco central de algunas de las vías confluyentes.

Se distinguen dos grupos principales:

Sin solución de parada o enlaces puros, cuando resuelven el encuentro y cruce de vías a distinto nivel sin que se produzcan cruces de trayectorias ni puntos de parada de alguna de las corrientes de tráfico rodado.

Con solución de parada o enlaces parciales, cuando disponiendo de elementos a más de un nivel, exigen la solución a nivel de algunos cruces entre trayectorias vehiculares, lo que puede exigir la parada de alguna corriente circulatoria.

Dentro de cada uno de estos dos grandes grupos, se distinguen muy diversos tipos, en función del número de ramales confluyentes, 3 o 4 generalmente, la morfología utilizada, el número y niveles de las estructuras, la regulación, etc.

Dentro de los enlaces puros, los tipos más frecuentes son:

Entre los de cuatro ramales: trébol, trébol parcial, niveles múltiples, omnidireccionales, etc.

Entre los de tres ramales, destacan los de tipo trompeta y los de tipo T direccional

Dentro de los enlaces con alguna condición de parada, los tipos más frecuentes son:

Entre los de cuatro ramales, los de tipo diamante, a los que se puede agregar estructuras adicionales. Los puntos de parada pueden regularse mediante intersecciones convencionales, rotondas desniveladas, dobles rotondas o semáforos, dependiendo de las intensidades de tráfico y el suelo disponible

Los enlaces de tres ramales con condición de parada son poco frecuentes, pero, pueden ser necesarios en condiciones de sección muy restringida

Los enlaces se encuentran compuestos por estructuras desniveladoras y ramales de interconexión, llamadas también ramales de enlace, que permite el intercambio de vehículos entre dos o más vías. La característica principal de un enlace es que no se dan en conflictos de cruce franco entre los tránsitos de paso directo de una y otra carretera.

Para ello, en la zona de enlace existe una serie de elementos que pueden dar servicio a parte o a la totalidad de los movimientos de cambio de dirección, encauzándolos y dirigiéndolos en forma segura, limitando lo menos posible la capacidad de las vías en los sectores involucrados.

Los conflictos previstos en un enlace, descartando dicho cruce franco, son:

El inherente a las maniobras de trenzado entre vehículos con orígenes y destinos distintos.

El de ingreso a una calzada principal, desde un ramal, cediendo el paso.

El de ingreso a una calzada principal desde un ramal con acceso controlado por señal “pare”.

En el caso de enlaces tipo diamante y de uno o más cuadrantes (*Gráfico 90 y Gráfico 91 incisos A, B y C*), se producen conflictos de cruce franco en las maniobras de ingreso a la carretera secundaria, mediante giro a la izquierda desde un ramal originado en la calzada principal, y en las maniobras inversas que corresponden a la salida con viraje a la izquierda desde dicha carretera secundaria hacia un ramal conducente a la carretera primaria.

Cuando el intercambio se realiza fluidamente, sin controles de tránsito y sin conflictos distintos que el de trenzado y el de ingreso normal con carriles de aceleración desde un ramal a calzada de paso, el enlace es de libre circulación. Cuando alguno de los movimientos está restringido por señales de parada, como pueden ser las existentes en una intersección a nivel (para giros fuera del camino principal), se dice que el enlace tiene condición de parada.

Cuando hay cruce de carreteras a distinto nivel sin dispositivos para el intercambio de vehículos, no es aplicable el término enlace. A tales cruces se les llama “paso a desnivel”, “paso desnivelado” o “viaducto”

A2. El problema de diseñar un enlace

A.2.1. Aspectos generales

Las ventajas operativas que presentan los enlaces con respecto a las intersecciones a nivel, mayor capacidad, eficiencia y seguridad se traducen en diferencias de costos privados y sociales, que son favorables a la operación desnivelada. Que dichos beneficios (ahorros) justifiquen invertir en un enlace es materia de evaluaciones económicas en las que estos ahorros, expresados principalmente en disminuciones de tiempo de viaje, de costos de operación y de accidentes, son comparados con los costos sociales asociados a la materialización de la inversión, incluyendo en estos costos los de construcción y mantenimiento. El marco teórico para tal comparación está definido, en el caso de inversiones públicas, por el Estado.

Al análisis técnico del problema se incorpora, en forma cada vez más convincente, la valoración de aspectos de tipo urbanístico y ambiental que antes concurrían sólo externamente a las decisiones de inversión. Asimismo, en las comunidades crece la conciencia con respecto a los valores pertenecientes a este último ámbito, como son los paisajes no obstruidos, los espacios no segregados y la higiene en general, incluida la auditiva y la atmosférica. Esto ha hecho más complejos y onerosos los estudios que asisten dicha toma de decisiones, pero la consideración de estos aspectos tiene consecuencias positivas que compensan holgadamente tal encarecimiento.

Las evaluaciones pueden ser de índole o ámbito local, entendiendo por tal el análisis de factibilidad económica de enlaces aislados, cuya construcción afecta sólo marginalmente la demanda en el sistema al que las intersecciones tratadas pertenecen, o pueden tener como objeto aumentos de la oferta vial que afectan dicha demanda.

El segundo caso se da generalmente cuando se planea la construcción o ampliación significativa de ejes viales inmersos en una red saturada o cercana a la saturación. Un buen ejemplo de esto último es una vía Multicarril.

Como la evaluación económica se aplica a proposiciones físicas surgidas del proceso del diseño, ya en éste se debe considerar las combinaciones de factores que gravitan sobre la decisión de desnivelar una intersección, y preevaluar de manera experta las soluciones posibles, que suelen ser numerosas, para que dicha evaluación ayude a despejar dudas o a confirmar las bondades previstas por el experto.

A.2.2. Justificación para la separación de niveles y/o la construcción de enlaces

» i Carreteras con control de acceso

Si se desea construir una carretera con carácter de Autopista o Multicarril, vale decir, con control total de acceso, es condición indispensable proveer separación de niveles o un enlace para todo camino que la cruce y cuya interrupción o desvío hacia una alternativa de cruce cercana sea imposible o inconveniente.

» ii Insuficiente capacidad de intersecciones a nivel

Cuando se cruzan dos carreteras y una o ambas tienen un alto volumen de tránsito, compartir el espacio de cruce origina aumento de los tiempos de viaje y de los costos de operación. Cuando estos aumentos no pueden ser aminorados convenientemente mejorando el cruce a nivel, como ocurre en las intersecciones espacialmente constreñidas y próximas a la congestión, se justifica la desnivelación.

En estos casos los métodos de la ingeniería de tránsito, modelación y simulación operativas de la infraestructura vial proyectada, son eficaces para valorar dichos aumentos de costos y demostrar económicamente que la decisión de desnivelar es acertada.

» *iii Condiciones topográficas del lugar de intersección*

Ciertos puntos obligados de cruce pueden tener visibilidad inconveniente o pendientes fuertes que aumenten la peligrosidad, los tiempos de viaje y los costos de operación hasta niveles propios de intersecciones fuertemente demandadas. Ello puede justificar la separación de niveles.

» *iv Alta tasa de accidentes en intersecciones existentes*

Suele existir cruces a nivel en los que el número de accidentes es desproporcionado con respecto a la demanda e insensible a las mejoras que puedan haberse introducido para remediar tal condición. En estos casos la única solución la provee el enlace que permite los mismos movimientos sin cruces francos.

A.2.3. Estructura del proyecto de un enlace

En el *Gráfico 83 (Estructura del Proyecto de un Enlace) (Anexo III)* se presenta un esquema de organización del proyecto de un enlace. No todo proyecto seguirá estrictamente la secuencia allí planteada ni contemplará todas o las mismas instancias consideradas; sin embargo, tal esquema es útil con fines informativos y para insertar el problema de la definición geométrica de un enlace en su contexto general.

Entre todos los antecedentes necesarios para el diseño de un enlace, destacan algunos de ellos que se agrupan en este primer nivel en cuatro títulos y que suelen ser mutuamente dependientes. El análisis de estos aspectos es materia del *numeral 3.1.1.9.6. (B)*.

El diseño geométrico es una tarea a través de la cual se define espacialmente el enlace; o sea, se define plantas, perfiles longitudinales, perfiles transversales y detalles de todas las partes de la obra relacionada con movimientos de tierras y pavimentos, considerando la geometría externa de todas y cada una de las obras de arte, de reposición de pasos y servicios, y de cualquiera otra obra complementaria. En el *numeral 3.1.1.10.6. (D.1.2)*, se amplía la definición de esta actividad, que es el asunto principal de la presente Sección.

El trazado geométrico es la actividad central y coordinadora de un conjunto de otras tareas que se imbrican con ella, ya sea para definir algunas partes de la obra o para aportar datos y criterios imprescindibles para un adecuado diseño del conjunto. Estas otras actividades se han agrupado de la siguiente manera:

» *i Geología y geotecnia*

Disciplinas que intervienen en la obtención de información relativa, en lo principal, a la capacidad de soporte de suelos y a la estabilidad de las obras de tierra proyectadas.

» *ii Hidrología y drenaje*

Disciplinas involucradas principalmente en el diseño de desagües y drenajes, obras que persiguen impedir o minimizar la acción de las aguas sobre la obra proyectada mediante encauzamientos y evacuación inocua de las mismas, que pueden provenir directamente de la lluvia caída sobre las superficies expuestas o de las infiltraciones y escurrimientos subterráneos del caso.

» *iii Modificaciones de servicio*

Es necesario reponer los servicios afectados, tales como los de paso, de aguas (servidas, riego y potable), de líneas (telefónicas, eléctricas, etc.), según proyectos específicos.

» *iv Tránsito*

Actividades relativas a la cuantificación y caracterización de las demandas actuales y futuras sobre el dispositivo. Diseño de pavimentos: de acuerdo con una serie de antecedentes de tráfico, de disponibilidades de materiales, climáticos y económicos, se diseñan las sub-bases, bases y pavimentos adecuados.

» *v Seguridad y señalética*

Se refiere al conjunto de actividades que definen la señalización horizontal o demarcación; la señalización vertical reglamentaria, preventiva e informativa, y las obras de protección y balizamiento que sea necesario proveer para minimizar los riesgos en la operación.

» *vi Iluminación, arquitectura y paisajismo*

Disciplinas que deben ser considerados como complementos del proyecto cuando corresponda. Casos especiales son las autopistas, donde suele existir instalaciones para cobro de peajes, para mantenimiento y para descanso.

» *vii Electrónica y sistemas*

Disciplinas que intervienen en la definición de los dispositivos de control en general, incluyendo principalmente semáforos, estaciones de control de peajes, etc.

» *viii Obras de arte*

Las actividades anteriores pueden dar lugar a la necesidad de proyectar una serie de obras peculiares (túneles, puentes, alcantarillas, ductos, zanjas, torres, etc.).

» *ix Afectaciones a la propiedad y al ambiente*

Son tareas relativas a la definición y valoración de las propiedades y derechos afectados, y de las obras y medidas de mitigación de las afectaciones al ambiente que las obras pudiesen generar.

La demanda, las obras de arte, las modificaciones de servicios, los pavimentos, las estructuras y las áreas especiales condicionan activamente las características geométricas del trazado, al imponer dimensiones y gálibos que pueden ser limitantes drásticas en algunos casos.

El proyecto se completa con las cubicaciones o metrado de las obras, las especificaciones generales y especiales de construcción, los planos definitivos y los presupuestos parciales y generales de la obra. Todo lo anterior queda reflejado en la memoria final del proyecto.

B. ANTECEDENTES PARA ABORDAR EL DISEÑO DE UN ENLACE

B1. Aspectos generales

Para pensar una o más soluciones tipo, para planear los elementos que las constituyen y, por último, para decidir una disposición definitiva y diseñar cada parte de ella en detalle, se requiere tener en cuenta una serie de antecedentes, de los cuales se expondrán aquí los más significativos, según la clasificación presentada en el numeral 3.1.1.10.6. (A.2.3). Se reitera que cada proyecto es único, que por lo tanto estos antecedentes y sus interdependencias deben ser estudiados en cada caso, y que es preciso estar alerta a singularidades que puedan añadir condicionantes no consignados aquí.

B2. Antecedentes físicos

B.2.1. Paisaje y topografía

Entre los propósitos de un buen diseño están los de realizar un enlace con el mínimo movimiento de tierras, tratando de integrar sus elementos al paisaje de la zona en que éste se enclavará.

A diferencia del caso de las intersecciones, las topografías llanas no siempre son las mejores para lograr esto. En terrenos ondulados los enlaces suelen acomodarse bien al terreno y los caminos transversales pueden ser diseñados con un estándar superior que el que puede resultar en un terreno plano.

Por lo general algunos ramales podrán desarrollarse con pendientes moderadas y poco movimiento de tierra en tanto que otros requerirán lo contrario.

En terreno plano el diseño del enlace resulta simple, pero la separación de niveles implica que uno de los caminos y los ramales del enlace resulten con pendientes importantes, con los consecuentes quiebres en su perfil.

Los cortes de gran superficie afean el paisaje, del mismo modo que los terraplenes aislados. Cuando el trazado se adapta a la topografía, se produce una mejor armonía entre ésta y los elementos viales.

En el *Gráfico 84 (Distancias Requeridas para Desnivelaciones en Terreno Horizontal) (Anexo III)* se muestra la distancia horizontal (L) requerida, en terreno plano, para desnivelar dos carreteras, en función de la Velocidad adoptada en la zona del Enlace para la vía que se desnivela (VO) y del desnivel (H) requerido. El Gráfico muestra las distancias requeridas para velocidades entre 50 y 110 Km/h y para pendientes entre 2% y 7% simétricas a ambos lados del obstáculo, pero puede servir de guía también para combinaciones de pendientes desiguales.

El valor L corresponde a la longitud del acuerdo vertical inicial, más la mitad del acuerdo vertical central, más la longitud de la tangente entre ambas. L está calculada con curvas de acuerdo mínimas, que deben ser evitadas en lo posible. Se puede considerar como guía tanto para pasos superiores como para inferiores, y para acuerdos centrales cóncavos o convexos, a pesar de que los desarrollos de dicha curva central pueden ser algo distintos. Por último, se hace notar que para VO y H dados, L se reduce poco al aumentar la pendiente sobre 4% para VO = 80 Km/h y sobre 5% para VO = 50 y 60 Km/h.

En general $V_o = V_p$, de la vía que se desnivela, pero en casos obligados V_o podrá ser menor que V_p , en particular si se desnivela la vía secundaria; situación que deberá estar debidamente señalizada.

Un estudio requiere planos completos de la zona afectada por el enlace, así como de las vías involucradas (plantas y perfiles). Por lo general, las restituciones aerofotogramétricas bien ejecutadas otorgan precisión suficiente para el diseño, pero éstas deben ser complementadas con datos obtenidos in situ de los elementos de borde que condicionan el trazado (caminos en zonas de empalme con el proyecto, obras de arte, límites de propiedad, conflictivos, etc).

B.2.2. Hidrológicos

Las características hidrológicas de la zona pueden ser determinantes del trazado de un enlace, porque la evacuación de las aguas interceptadas puede llegar a requerir obras especiales cuyo costo haría inconvenientes ciertas soluciones.

B.2.3. Climatológicos

En zonas de formación de heladas, es preciso modificar algunos parámetros relativos a las inclinaciones de las calzadas y banquetas, para contrarrestar las dificultades derivadas de la modificación de los coeficientes de roce.

B.2.4. Geológicos

Las características geológicas de la zona son importantes pues condicionan aspectos tales como la cimentación de las obras de arte, la inclinación de los taludes de corte y eventualmente de rellenos, las excavaciones en túnel y el eventual tratamiento de los suelos. También influye en la planificación de los movimientos de tierra, porque las calidades y ubicaciones de los materiales a emplear y transportar son factores que inciden en dicha planificación.

B.2.5. Ecológicos

Un enlace, al cubrir una gran zona que debe ser despejada de obstáculos en una parte significativa de su superficie, puede tener un efecto significativo sobre el área, en términos ecológicos. El proyectista debe tomar las precauciones tendientes a minimizar el daño que pudiera significar su materialización y a mitigar los efectos negativos de la obra, tanto en la etapa de construcción como en la operación durante su vida útil.

B.2.6. Las vías a enlazar

» i. Aspectos generales

Los enlaces, o la simple separación de niveles, son un complemento esencial de las autopistas y caminos primarios en que se consulte control total de acceso. Según sea el desarrollo existente en los márgenes de las carreteras pueden ser necesarios los caminos laterales o calles de servicio, los que determinarán en cierto grado el tipo de enlace a proyectar.

Del mismo modo, la importancia y ubicación de las vías exige o permite elementos de enlace de ciertas características mínimas, al mismo tiempo que la categoría del enlace puede recomendar su emplazamiento en zonas en las que dichas vías presenten condiciones geométricas favorables.

» ii. Características de la carretera principal

Específicamente, cuando la carretera principal cruza un paso superior, las pendientes de acceso no deberán superar el 3% para no inducir bajas velocidades en los vehículos pesados. Esto incita a maniobras de pasada que son peligrosas en las proximidades de los empalmes, o a ingresos y salidas de la carretera aprovechando los espacios que parecen ofrecer, por delante de ellos, dichos vehículos pesados.

» iii. Características de la carretera secundaria o transversal

La carretera transversal o secundaria es aquella que cruza la carretera principal a través de un enlace y que en algunos casos puede ser de importancia igual o similar que la principal. Generalmente se tratará de caminos primarios o colectores. El proyecto de la carretera transversal también estará regido por las normas expuestas en el presente manual en las secciones correspondientes. Si dicha carretera es de igual importancia que la principal, debe hacerse las consideraciones expresadas en inciso ii anterior.

Aunque es posible un enlace entre más de dos carreteras, este caso deberá ser evitado, ya que su solución suele resultar complicada en términos de diseño y de difícil lectura para el usuario.

B3. Antecedentes funcionales

B.3.1. Aspectos generales

Se engloba bajo este título aquellos antecedentes relacionados con las características del tránsito en las vías que se han de enlazar y con las capacidades de ellas y de los elementos del enlace, que son fundamentales en la elección de la solución y en su dimensionamiento.

B.3.2. Tránsito

En los *numerales 3.1.1.9.3, (C.1 y C.2)* se resume los aspectos del tránsito que intervienen en el diseño de una intersección y los vehículos tipo que influyen en el momento de definir el ancho de las calzadas; estos aspectos, y los estudios citados en el *numeral 3.1.1.9.3, (C.5.2)* son válidos también para el caso de los enlaces.

B.3.3. Capacidad

No es propio hablar de la “capacidad de un enlace” pues en él participan numerosos elementos sometidos a diferentes demandas de tránsito, las que además pueden experimentar variaciones temporales diferentes en las vías que participan. En efecto, se tiene una carretera principal que normalmente estará compuesta por calzadas de tránsito unidireccional, una carretera secundaria que puede tener calzadas unidireccionales o sólo una calzada bidireccional y los ramales de enlace que conectan a ambas.

No obstante, lo anterior, las zonas críticas en cuanto a capacidad se producirán en los ramales del enlace y su punto de conexión con las vías enlazadas, y ya dentro de estas, en las zonas de trenzado o entrecruzamiento, que deben compartir los vehículos que se están incorporando a una de las vías y los que están saliendo de ella.

En el *numeral 3.1.1.4.2 (I)* se presenta un resumen conceptual de la teoría de Capacidad, en particular en lo relativo a las carreteras o caminos, en el *numeral 3.1.1.10.3. (C.5.2)*, se ilustran las situaciones relativas a los tramos de trenzado. El inciso iii de esta Sección entrega criterios adicionales al respecto.

Los cálculos de capacidad en estas zonas críticas, deberán abordarse recurriendo al Manual de Capacidad de Carreteras (Highway Capacity Manual del Transportation Research Board de los Estados Unidos de Norteamérica, que se actualiza cada tres o cuatro años). Existe una versión en español publicada por la Asociación Técnica de Carreteras, Comité Español de la AIPCR en 1.995.

En la bibliografía mencionada, los capítulos que tratan estas materias en particular son:

Parte II: Autopistas.

Capítulo 4: Tramos de Trenzado.

Capítulo 5: Ramales y Uniones de Ramales.

Los ramales de un enlace están compuestos por sus puntos de inicio y término en las carreteras que une y de una sección intermedia o ramal propiamente tal. El punto crítico en lo que a capacidad se refiere se produce justamente en el inicio y término del ramal. Si el volumen de la demanda es superior al volumen admisible para el nivel de servicio deseado, las condiciones de operación serán inferiores a las presupuestadas, afectando el tránsito directo que circula por las carreteras.

Normalmente los ramales de enlace serán de una sola pista, salvo que el volumen de demanda sea superior al volumen de servicio deseado, en cuyo caso deberá proyectarse de dos pistas.

Por otra parte, si el ramal tiene una longitud mayor de 300 metros y el tránsito previsto es elevado y con un alto porcentaje de camiones, es recomendable proyectarlo de dos carriles, aunque esto no sea imperativo desde el punto de vista de capacidad. En estos casos las conexiones con las carreteras que se cruzan deberán reducirse a un solo carril, para encauzar mejor el tránsito de entrada o salida.

La aplicación de los parámetros de diseño normativos no garantiza que los distintos elementos de los enlaces provean la capacidad suficiente a los mismos. Es responsabilidad del diseñador proveer una geometría vial acorde con la demanda que se debe satisfacer.

Una vez establecido el diseño geométrico de un enlace, es posible evaluar la calidad de la solución adoptada mediante Programas Computacionales de Simulación, los que alimentados con la geometría del enlace y con los flujos de demanda, simulan en tiempo real el comportamiento del enlace, detectando si se producen “colas” en los ramales, interfe-

cias severas en los tramos de trenzado, etc. Ello permite actuar sobre la geometría de las zonas deficitarias y así, por iteración, resolver el problema.

B4. Antecedentes económicos

Un enlace es una obra de costo muy superior a una intersección a nivel. Su factibilidad debe ser demostrada mediante un estudio técnico-económico que compare esta solución con otras de menor costo.

Por otra parte, en algunos casos muy especiales, estos dispositivos pueden ser construidos por etapas, cuando el tránsito provisto para algunos ramales no justifica su realización inmediata. Cuando las estructuras de separación de niveles se proyectan independientes, una para cada calzada, la construcción por etapas permite postergar la construcción de una de ellas hasta que los volúmenes así lo justifiquen. Si la estructura proyectada es única, su construcción por etapas no suele resultar conveniente en términos económicos; sin embargo, las rampas asociadas a ella pueden ser construidas de acuerdo a las necesidades.

Siempre que se decide ejecutar un enlace por etapas, será necesario proceder a expropiar, desde el primer momento, el espacio total requerido para evitar futuras interferencias.

B5. Antecedentes humanos

Existen, como ya se ha apuntado anteriormente, una serie de factores que influyen en el diseño de un enlace y que pueden ser llamados así, aunque sea reduciendo el sentido del término. Hasta aquí estos factores han estado presentes en forma tácita cuando se considera los hábitos humanos, sus capacidades de reacción, los tiempos empleados para tomar decisiones, las limitaciones económicas que impone la necesidad de asignar recursos según prioridades que ellos determinan, etc.

La interconsulta entre ingenieros, urbanistas y ecólogos debiera ser una práctica corriente. A veces, con muy poco costo adicional, o ninguno, es posible transformar una obra dañina al paisaje en una obra que concilie la presencia del hombre con la belleza del medio. Esto es particularmente importante en el caso de los enlaces, en los que se cubre áreas importantes y se altera la naturaleza y topografía del terreno, con la consiguiente notoriedad de la obra.

Por último, debe decirse que el aspecto humano fundamental a ser considerado es el de la seguridad. En una intersección a nivel puede producirse toda la gama de accidentes de tránsito y nunca será posible eliminarlos del todo, por bueno y completo que sea el diseño. La separación de niveles elimina toda posibilidad de accidente entre los tránsitos directos que se cruzan. Eventualmente pueden producirse algunos choques con las estructuras de separación de niveles, pero estos son mínimos en comparación con los accidentes que ocurren en una intersección a nivel, tendiendo a desaparecer cuando se mantienen luces libres laterales como las que se recomiendan más adelante.

C. ELECCION DE LA SOLUCIÓN TIPO

C1. Aspectos generales

El diseño de un enlace en una ubicación dada está regido por cuatro variables fundamentales: definición funcional de las carreteras que se cruzan, condiciones de tránsito, características topográficas y análisis de costos, incluyendo entre estos últimos los sociales y ambientales. Como es muy difícil que estas cuatro variables coincidan para dos situaciones distintas, raramente el diseño apropiado para un enlace va a poder ser adaptado en otro lugar. El diseñador no debe tener una idea preconcebida que lo limite a la aplicación de un determinado patrón de solución antes de haber analizado el conjunto de soluciones posibles.

Siendo el enlace la forma más completa y evolucionada de diseño de una intersección, el diseñador debería dominar la materia referente al diseño de intersecciones (*Sección 801*) para abordar con éxito el diseño de un enlace.

La presente sección de este Volumen presenta una clasificación general de los patrones clásicos de solución, indicando los conceptos relevantes de cada uno de ellos, para que el diseñador esté familiarizado con estas soluciones y con las denominaciones que se aplican a sus elementos constitutivos.

C2. Denominación y clasificación de enlaces

Los enlaces, al igual que las intersecciones, se clasificarán de acuerdo con el número de ramas que a él concurren. Así, los enlaces pueden clasificarse como de tres, cuatro o más ramas.

- Enlaces de tres ramas
- Enlaces de tipo trompeta “T”
- Enlaces direccionales en “T”
- Enlaces direccionales en “Y”
- Enlaces de cuatro ramas con condición de parada
- Enlace tipo diamante - clásico
- Enlace tipo diamante - partido
- Enlace tipo trébol parcial (2 cuadrantes)
- Enlaces de cuatro ramas de libre circulación
- Enlace tipo trébol completo (4 cuadrantes)
- Enlaces rotatorios
- Enlaces omnidireccionales
- Enlaces de tipo turbina

Estos tipos aparecen esquematizados en forma general en el *Gráfico 85 ENLACES TIPO Anexo III*.

C3. Denominación y clasificación de ramales

C.3.1. Aspectos generales

Los ramales son los elementos fundamentales de los enlaces. Ellos conectan las vías que se cruzan, pudiendo adoptar una gran variedad de formas, ser unidireccionales o bidireccionales, empalmar por uno u otro lado de las calzadas, tener o no condición de parada y servir giros a la izquierda o a la derecha.

A pesar de la gran variedad de tipos de ramales que resultan de la combinación de estos aspectos, ellos serán agrupados en tres grandes categorías, atendiendo principalmente a sus formas, y serán descritos para una posterior definición de los tipos más frecuentes de enlaces.

C.3.2. Ramales directos

Son aquellos que mantienen el mismo sentido de curvatura a lo largo de su desarrollo. Pueden atender giros a la izquierda o a la derecha, y sus empalmes, de salida en la carretera de origen y de entrada en la carretera de destino, están situados ambos a la derecha o a la izquierda en una y otra carretera. Los ramales directos, por su breve desarrollo y la simplicidad de su forma, son deseables para movimientos mayoritarios, debiendo procu-

rarse un trazado que permita velocidades del orden de aquellas correspondientes a las carreteras enlazadas.

En todo caso, las circunstancias particulares de cada enlace pueden requerir ramales directos para flujos minoritarios.

En el *Gráfico 86 RAMALES DE ENLACE Anexo III* se muestra los casos posibles de ramales directos: el caso a) es el de giro a la derecha, con salida y entrada por la derecha de las calzadas de origen y destino respectivamente, y el caso b) es el de giro a la izquierda, con salida y entrada por la izquierda. Este último caso debe evitarse siempre que sea posible, ya que las maniobras se desarrollan en la pista de mayor velocidad.

No serán considerados directos, para fines de diseño, aquellos ramales que, aun cumpliendo con lo anterior, tengan condición de parada en algún punto de su desarrollo, o permitan giros a la izquierda en la carretera de destino, o desarrollen un giro superior a los 200° ($= 180^\circ$).

C.3.3. Ramales semidirectos

Son aquellos en los que se produce, a lo largo de su desarrollo, al menos un cambio del sentido de curvatura. Para efectos de diseño serán considerados semidirectos también aquellos con la fisonomía de los directos, pero con alguna condición de parada o con giros a la izquierda en la carretera de destino. Los ramales semidirectos, que por lo general tienen un desarrollo mayor que los directos y trazados más complejos, son preferibles para volúmenes intermedios a los que se puede disminuir la velocidad sin grandes inconvenientes, aunque su uso, una vez más, estará también regido por las demás circunstancias del proyecto.

Así definidos, estos ramales pueden servir giros a la izquierda o a la derecha, con salida y entradas también por la izquierda o la derecha indistintamente. Se debe considerar las mismas prevenciones aplicables a los ramales directos en lo que respecta a salidas o entradas por la izquierda.

En el *Gráfico 86 RAMALES DE ENLACE Anexo III inciso c*, se muestra un tramo de ramal semidirecto con salida por la derecha. Esta configuración es típica de los enlaces tipo trompeta, cuando se completa con un ramal como el indicado con el inciso d.

En el *Gráfico 87 RAMALES DE ENLACE Anexo III incisos a y b*, se ilustran dos casos de ramales semidirectos para giros a la izquierda, el primero con salida por la izquierda y entrada por la derecha y el segundo con la salida por la derecha y entrada por la izquierda. En el mismo *Gráfico 87 inciso c*, se indica un ramal semidirecto, propio de los enlaces tipo diamante, que presenta condición de parada en la carretera de destino. Estos también son llamados “ramales diagonales”.

C.3.4. Lazos

Son aquellos ramales utilizados para dirigirse a la izquierda, mediante una curva cerrada hacia la derecha que se desarrolla en más de 200° (180°), unos 300° (270°), como se aprecia en el *Gráfico 87 RAMALES DE ENLACE Anexo III*.

Frecuentemente se da el caso de unión de un lazo con un ramal semidirecto, lo que produce configuraciones como indicada el inciso “e” *Gráfico 87 RAMALES DE ENLACE* o como la llamada “trompeta”, parte de la cual aparece en el *Gráfico 86 RAMALES DE ENLACE Anexo III inciso d*.

Por las características geométricas de los lazos, que generalmente obligan a velocidades de proyecto bajas, éstos deben preferirse para volúmenes reducidos, debiendo recurrirse

a los otros tipos de ramales si los volúmenes son importantes y no es factible el uso de curvas amplias en el lazo.

C.3.5. Otras unidades en enlaces

» i. Carriles auxiliares

Se denomina así, en el contexto de un enlace, a los carriles adicionales y adyacentes a una carretera que proveen espacio y oportunidades adicionales para maniobras de trenzado en dicha carretera, de ingreso a ella y de salida desde la misma. El ancho de estos carriles debe ser igual a los que constituyen la sección tipo de la carretera en el punto donde los carriles auxiliares se agregan.

La eficiencia operacional en un enlace puede ser mejorada usando un carril auxiliar continuo entre un terminal de entrada a una carretera y uno de salida de ella cuando los enlaces están próximos, cuando la distancia entre el final de una cuña de entrada y el inicio de una cuña de salida es corta, y cuando no existe calzada colectora distribuidora que ayude a la operación vehicular en tal circunstancia.

Un carril auxiliar puede generarse de manera simple, manteniendo la configuración determinada por el empalme del carril que converge (ramal) a la calzada principal, o en conjunto con un empalme de dos carriles. La desaparición de un carril auxiliar puede conseguirse de varias maneras:

- Mediante una salida de dos carriles, como se esquematiza en el *inciso A del Gráfico 88 FORMAS DE DESAPARICIÓN DE CARRILES AUXILIARES Anexo III*. Esta solución cumple con el principio de equilibrio de carriles (*ver el numeral numeral 3.1.1.9.6, (C.5.2)*).
- Mediante una salida de un solo carril, como se esquematiza en el *inciso B del Gráfico 88 FORMAS DE DESAPARICIÓN DE CARRILES AUXILIARES Anexo III*. Esta solución está de acuerdo con las excepciones a dicho principio de equilibrio de carriles
- Manteniendo el carril auxiliar hasta la nariz de la salida y luego haciéndolo desaparecer mediante cuña normalizada (*numeral 3.1.1.9.5. (C.7)*), como se esquematiza en el *inciso C del Gráfico 88*. Este esquema provee una zona de recuperación a quienes inadvertidamente se mantienen en el carril interrumpido

Cuando se aplica estos métodos para hacer desaparecer un carril auxiliar se debe asegurar que la zona de la nariz sea visible desde cualquier punto de dicho carril auxiliar.

Si las maniobras de reingreso a los carriles de paso son recurrentes, la zona de recuperación puede extenderse entre 150 y 300 m después de la nariz, antes de hacerla desaparecer mediante cuña normalizada (*inciso D del Gráfico 88 FORMAS DE DESAPARICIÓN DE CARRILES AUXILIARES Anexo III*). En grandes enlaces, esta longitud puede aumentar hasta 450 m.

Cuando un carril auxiliar se mantiene a través de varios enlaces, puede desaparecer según las especificaciones anteriores o puede desaparecer unos 750 m después de concluida la influencia del último de dichos enlaces (*inciso E de el Gráfico 88 FORMAS DE DESAPARICIÓN DE CARRILES AUXILIARES Anexo III*).

» ii. Calzadas colectoras-distribuidoras

Se denomina así, en el contexto de un enlace, a las calzadas adicionales adyacentes pero separadas de las calzadas principales, con igual sentido de tránsito que éstas, que sirven para conectar dichas calzadas principales a la red local cuando las distancias entre conexiones sucesivas no son suficientes para realizarlas directamente. El trébol completo o con

lazos en cuadrantes contiguos son los ejemplos típicos en los cuales se debe analizar la implantación de tales calzadas, cuyas principales ventajas son:

- Transfiere a ella las maniobras de trenzado, donde éstas se pueden realizar a velocidades reducidas.
- Permite unificar las salidas en un solo dispositivo de egreso de alta velocidad, uniformar los diseños y otorgar mejor visibilidad para todo el tránsito saliente.
- Simplifica la señalización y los procesos de toma de decisiones.
- Permite localizar la salida antes de la estructura desniveladora, lo cual se acomoda mejor a las expectativas de los usuarios.

Estas calzadas pueden estar constituidas por uno o dos carriles, dependiendo de la demanda que sobre ellos se prevé. El equilibrio de carriles (*numeral 3.1.1.9.6. (C.5.2)*) debe mantenerse en las entradas y salidas a y desde la calzada principal, pero no necesariamente en la colectoras-distribuidoras, puesto que las maniobras de trenzado se dan en ella a velocidades reducidas. Las velocidades de proyecto para estas calzadas varían entre 50 y 80 Km/h, pero no deberían ser inferiores en más de 10 y excepcionalmente en más de 20 Km/h a la de la carretera principal. También es necesario, para que estas carreteras colectoras-distribuidoras operen bien, que la señalización en ellas sea clara y oportuna, especialmente cuando ellas sirven a más de un enlace.

Como orientación general, se puede decir que para volúmenes de trenzado superiores a 1.000 veh./h las calzadas colectoras-distribuidoras son recomendables.

» iii. Tramos de trenzado

Se denomina así a tramos de carretera en los que se produce entrecruzamiento de las trayectorias de los vehículos provenientes de accesos que convergen en el inicio del tramo de trenzado y que se dirigen a salidas también contiguas entre sí al final del mismo tramo; esto cuando se tiene orígenes y destinos distintos para dichas trayectorias vehiculares. Esto ocurre entre entradas y salidas sucesivas en enlaces y en segmentos de carreteras que se yuxtaponen.

Es deseable eliminar la ocurrencia de entrecruzamientos, por la pérdida de eficiencia que tales maniobras imponen a la operación de la carretera en los tramos donde estos se producen. Para conseguirlo se puede recurrir a diseños de enlace en los cuales no se genera trenzados, o trasladarlos a una carretera colectoras-distribuidoras paralela a la carretera principal. Lo primero presenta como inconveniente los costos generalmente más elevados, producto de la multiplicación de las estructuras. Excepción a esto se tiene en el caso del trébol parcial en cuadrantes opuestos (*incisos superiores e inferiores en Gráfico 93 ENLACES TIPO TRÉBOL PARCIAL Anexo III*), por lo que éstos son recomendables cuando la estructura de la demanda es coherente con la particular geometría que dichos enlaces ofrecen a cada movimiento.

Cuando se contempla la implantación de enlaces tipo trébol, completos o con lazos en cuadrantes contiguos, se debe considerar la inclusión de tramos colectores distribuidores en la carretera principal (*inciso B en Gráfico 90 ENLACES DE CUATRO RAMAS Anexo III*), e incluso en ambas si ello se justificara. Como se dijo, flujos de trenzado del orden de 1.000 veh./h suelen justificar tales dispositivos.

La longitud de los tramos de trenzado y el número de carriles requerido para satisfacer la demanda en uno de estos tramos dentro de los niveles de servicio deseados son materia de estudios especiales de capacidad. La forma de hacer este análisis es materia del *numeral 3.1.1.9.3. (C.5.2)*. Para abordar casos más complejos se recomienda acudir al Capítulo 4 del "Highway Capacity Manual", 3ª edición Reporte Especial 209 (Transportation Research Board; National Research Council; Washington DC, 1.998).

C4. Tipos de enlaces

C.4.1. Enlaces de tres ramas

Un enlace de tres ramas es característico de las situaciones en las que una carretera se incorpora a otra, perdiendo en ese punto su continuidad.

Si los giros, que son sólo cuatro, se resuelven mediante ramales directos o semidirectos, se tiene el caso de los Enlaces Direccionales. Si se utilizan lazos se tiene el tipo trompeta.

En el *Gráfico 89*, se muestra ejemplos de cada caso.

El tipo de ramal usado para cada movimiento dependerá del espacio disponible, de la compatibilidad de los ramales con la altimetría de las vías y del terreno (grandes variaciones de cotas necesitan desarrollos más amplios) y de las condiciones del tránsito, como se apuntó en el momento de describir los tipos de ramal.

C.4.2. Enlaces de cuatro ramas

» i. Aspectos generales

Al tratar los enlaces de cuatro ramas se debe hacer una necesaria clasificación funcional. Se debe distinguir entre los enlaces con condición de parada, o sea aquellos que implican una detención en algunos de los flujos de tránsito, y los enlaces que tienen libre circulación de todos los flujos. En el *Gráfico 90 ENLACES DE CUATRO RAMAS Anexo III*, se presentan los dos tipos más característicos, con y sin condición de parada: el enlace Tipo Diamante y el enlace Tipo Trébol.

» ii. Enlaces con condición de parada

En estos enlaces todos los giros a la izquierda, o al menos parte de ellos, se resuelven con intersecciones a nivel en la carretera secundaria y, por consiguiente, requieren la detención del tránsito antes de su incorporación o salida a un flujo de paso.

C.4.3. Enlaces tipo diamantes

Son aquellos en los que todos los giros a la izquierda tienen condición de parada. Un diamante clásico es un enlace completo que permite ocho movimientos de giro posible. Está formado por cuatro ramales del tipo semidirecto, cada uno de los cuales permite un giro a la izquierda y un giro a la derecha. Los giros a la izquierda se desarrollan a nivel a través de los flujos de paso por la vía secundaria.

Ver en la presente sección lo referente a intersecciones a nivel para lo tocante a los cruces en los caminos secundarios.

En el *Gráfico 91 ENLACES TIPO DIAMANTE CLÁSICO Anexo III*, se presenta tres esquemas de soluciones tipo diamante clásico en los que todos los giros a la izquierda se resuelven mediante intersecciones completas. En el inciso "b" se ha agregado al esquema básico presentado en "a" el caso con vías colectoras-distribuidoras (C-D). Los ramales semidirectos se conectan con éstas y se producen los giros en la intersección con el camino secundario.

En el *Gráfico "c"* dichos ramales no permiten el acceso al camino secundario del mismo enlace. Esto implica que la salida debe efectuarse en el enlace anterior y llegar a la intersección por la vía de servicio, a la vez que la entrada tampoco es permitida en el mismo enlace sino que en los adyacentes. Esta solución es adecuada en casos de varios enlaces cercanos, como ocurre cuando una vía principal pasa por un poblado en que las transferencias se pueden hacer en la red urbana.

En el *Gráfico 92 MODIFICACIONES DE ENLACE TIPO DIAMANTE Anexo III*, se muestra algunos arreglos para reducir conflicto en las intersecciones.

En un enlace tipo diamante partido se separa los giros de entrada y de salida desde la carretera principal. Una solución de este tipo se justifica cuando hay posibilidades de tener dos enlaces sobre dos vías secundarias paralelas y a poca distancia. Es más recomendable aun cuando ambas vías secundarias son unidireccionales.

C.4.4. Enlace tipo trébol parcial

Son aquellos en los que algunos giros a la izquierda tienen movimiento continuo. Un trébol parcial se justifica cuando los movimientos que tienen condición de parada son minoritarios y las intersecciones en la carretera secundaria no presentan problemas. Dos ramales en lazo eliminan los movimientos mayoritarios de giro a la izquierda, a la vez que en esos mismos lazos se da servicio a los giros a la derecha que no se desarrollan en los otros dos cuadrantes. En ramales semidirectos exteriores a los lazos se realizan los cuatro movimientos de giro que quedan por resolver. Se debe proveer en estos casos la visibilidad conveniente para permitir intersecciones seguras en el camino secundario.

En el *Gráfico 93 ENLACES TIPO TRÉBOL PARCIAL Anexo III*, se indica algunas de las posibles combinaciones. Se deja establecido que son equivalentes las soluciones en que se mejora uno u otro giro, independiente del cuadrante en que se realice. Sin embargo, los tréboles parciales en cuadrantes opuestos presentan la ventaja de eliminar los tramos de trenzado.

» i. Enlaces de libre circulación

En estos enlaces todos los giros se resuelven sin intersecciones a nivel. El número de combinaciones posibles de realizar en un diseño de enlace de este tipo es tan grande que para establecer criterios generales se debe suponer simetría en la solución de los cuatro cuadrantes.

En el *Gráfico 94 ENLACES SIMÉTRICOS DE LIBRE CIRCULACIÓN Anexo III*, se indica en forma descriptiva algunos casos concretos de solución. Salvo el trébol completo o la rotonda de 2, 3 ó 5 puentes, es muy difícil que estos casos se produzcan en nuestro medio.

El trébol completo o trébol de cuatro cuadrantes es un enlace cuya mayor ventaja consiste en que elimina todos los conflictos de giro a la izquierda. Requiere una estructura única ya que estos giros se resuelven mediante 4 lazos. Los giros a la derecha se resuelven mediante ramales directos (eventualmente semidirectos) en los cuatro cuadrantes, exteriores a cada uno de los lazos.

Cuando se traslapan las vías de aceleración y deceleración de los lazos, se puede hacer necesario proveer al camino principal de un elemento colector-distribuidor (*ver numeral 3.1.1.9.6. (C.3.5)*)

En el *Gráfico 90 inciso b*, se presentó un diseño de trébol completo. Este Gráfico sirve para ilustrar los elementos básicos de un diseño de trébol. En la práctica no va a interesar obtener un diseño simétrico, sino que el diseño de cada elemento se adaptará a las circunstancias del proyecto.

Para ilustrar el diseño de este elemento, se incluye en el trébol una pista C-D cuya disposición se deberá analizar en cada caso particular.

C.4.5. Enlaces de más de cuatro ramas

Estos enlaces resultan de tal complejidad que deben evitarse. Se deben preferir soluciones que enlacen sucesivamente a las vías involucradas. Su improbable ocurrencia en nuestro medio hace innecesario extenderse sobre el particular.

C.4.6. Rotondas desniveladas

Las formas más comunes de rotondas desniveladas son las de dos puentes (*inciso A Gráfico 95 ROTONDAS DESNIVELADAS Anexo III*) y la de tipo “pesa” o “mancuerna” (*inciso B Gráfico 95*), esta última puede ser adoptada para reemplazar esquemas de trébol parcial o diamante. Cuando se tiene el cruce de dos vías importantes y los enlaces de otro tipo no es económicamente conveniente o el suelo necesario no está disponible, podría considerarse una rotonda de tres niveles (*inciso C Gráfico 95 ROTONDAS DESNIVELADAS Anexo III*), en la que los movimientos de giro utilizan el anillo para ejecutar las maniobras del caso.

No se recomienda el diseño de grandes rotondas de este tipo, por los problemas de acceso que se generan debido a las altas velocidades de los vehículos que circulan por dicho anillo.

C5. Número y equilibrio de carriles

C.5.1. Número básico de carriles

Las carreteras deben mantener un número constante de carriles en tramos tan largos como sea posible, excluyendo de la contabilidad los carriles auxiliares que puedan ser necesarios ocasionalmente. Este número constante de carriles es denominado “básico”. Esto significa que no se debe reducir el número de carriles en forma ocasional por reducciones locales de la demanda. En cuanto a la ampliación del número de carriles por aumentos puntuales de la demanda, éstos deben ser resueltos con carriles auxiliares. (*Numeral 3.1.1.9.6. (C.3.5)*).

C.5.2. Equilibrio de carriles

Para que la operación vehicular sea eficiente en la zona del enlace y posteriormente a él, debe existir un adecuado equilibrio entre el número de carriles de los ramales y de las carreteras de paso. Los volúmenes de diseño y el análisis de capacidad respectivo determinan el número básico de carriles en la carretera y el número de carriles de los ramales.

Se reitera la conveniencia de mantener la continuidad del número básico de carriles en zonas de entradas y salidas, aunque entre enlaces puedan aparecer disminuciones locales de flujos y recurrir a carriles auxiliares para resolver demandas puntuales superiores. Una vez determinado el número básico de carriles en cada carretera, el equilibrio entre los carriles debe ser comprobado sobre la base de los siguientes principios:

En las entradas, el número de carriles que debe existir más allá del ingreso no debe ser inferior a la suma de todos los carriles convergentes menos uno.

En las salidas, el número de los carriles de la carretera previos a la salida debe ser igual al número de los carriles de la carretera posteriores a la salida más el número de carriles de salida, menos uno.

Excepción a esta regla es el caso de tramos con carriles auxiliares entre ingresos y salidas sucesivas distantes menos de 450 m, como ocurre por ejemplo en los tréboles entre lazos en cuadrantes contiguos. En tales casos, el carril auxiliar puede desaparecer tras la última salida (de un carril), y se tendría que el número de carriles de llegada al dispositivo de salida sería igual al número de carriles posteriores a dicha salida más el carril de salida, ver casos señalados con (2) en el *Gráfico 96 EJEMPLOS DE EQUILIBRIO DE CARRILES Anexo III* se ilustra estos principios.

D. DISEÑO GEOMÉTRICO DE UN ENLACE

D1. Aspectos generales

D.1.1. El enlace: una unidad de diseño

Las variables que condicionan el proyecto de un enlace serán más mientras mayor sea el número de las vías a enlazar y mientras mayores sean las posibilidades de modificar o proyectar totalmente el trazado de dichas vías. En todo caso, suceda esto o lo contrario, que sería tener que adecuar el enlace a una vialidad existente e inmutable, para una eficiente solución del problema es fundamental abordarlo entendiendo que su diseño abarca toda el área de la construcción, en vez de limitarlo a la definición de cada uno de sus elementos.

No obstante, lo anterior, se puede distinguir en un enlace el tronco de la vía, cuya definición geométrica se rige por las normas contenidas en las Secciones anteriores del presente Volumen de Diseño Geométrico, y los ramales del mismo, para cuyo trazado en planta y elevación se aplica estrictamente la Velocidad de Proyecto.

Para el diseño en planta de ramales de enlace, al igual que en el caso de intersecciones, no se considera la dispersión de las velocidades de operación evidenciadas en la práctica, cuyo análisis condujo a definir la velocidad V85% (Sección 101). En efecto, en los ramales de enlaces, cuyas longitudes son generalmente cortas y cuyas condiciones geométricas inducen comportamientos conservadores, no son aplicables los criterios que respaldan dicha definición. Consecuentemente, tampoco se adopta las relaciones radio-peralte definidas para el caso del diseño del tronco del camino o carretera, sino que se mantiene el criterio antiguo, que recomienda que la aceleración transversal generada por el desplazamiento de un móvil según una trayectoria circular será compensada en un 25% por el peralte y en un el 75% por la fricción transversal, lo cual genera dinámicas de desplazamiento que no incentivan velocidades superiores a las reglamentarias. Esto sin perjuicio de permitir radios mínimos absolutos calculados con valores máximos de f y $e=8\%$ en la expresión $R_{MIN} = Vp^2/127(f + e)$ para velocidades inferiores a 70 Km/h.

Tampoco se aplica para el diseño de ramales de enlace el criterio que llevó a considerar la velocidad V^* para la definición de los parámetros de diseño vertical. La velocidad que debe asumirse para dichos parámetros son los correspondientes a la Velocidad de Proyecto.

D.1.2. Esquema del proceso de definición geométrica de un enlace

En el *Gráfico 97 ESQUEMA DEL PROCESO DE DEFINICIÓN GEOMÉTRICA DE UN ENLACE Anexo III* se presenta una posible secuencia para el conjunto de actividades principales y centrales del diseño geométrico de un enlace. En la práctica, este esquema responderá, a grandes rasgos, a la mayoría de las situaciones que se planteen, aun cuando puedan surgir leves variaciones para cada caso especial.

Las seis etapas en que se ha estructurado el diagrama básico (columna de la izquierda) serán detalladas brevemente a continuación. En concordancia con la intención de no aislar el trazado geométrico del contexto general del proyecto de un enlace, en este diagrama se presenta en otra columna (derecha), el conjunto de actividades que, sin corresponder exactamente al trazado, interactúan con él y entre sí durante la confección del proyecto. Las flechas que aparecen entre una y otra columna serán explicadas, en cada caso, dentro del referido detalle de las seis etapas contempladas.

A una adecuada definición geométrica de un enlace se llega, rápida o afanosamente, tras una serie de adaptaciones sucesivas de los elementos y variables que en su conjunto configuran el problema.

De aquí en adelante se supondrá adoptado un tipo de enlace, resuelto su emplazamiento y determinada la disposición general de los ramales, con el fin de mostrar el proceso de definición geométrica propiamente tal.

Cabe hacer notar que aunque se tenga resuelto el tipo y el emplazamiento de un enlace, siempre se pueden tener varias alternativas de trazado de los ramales o de las carreteras

comprometidas, puesto que existen esquemas que permiten distintas orientaciones de sus elementos y todos ellos pueden ser dimensionados según criterios diversos.

Si se desea, el proceso descrito en el Gráfico 97 se puede repetir para cada alternativa con precisión y detalles que dependen de las circunstancias del proyecto para el propósito de evaluarlos y decidir la geometría definitiva.

Se ejecutan esquemas preliminares en planta utilizando levantamientos a escala 1:500 ó 1:1000; se establecen los elementos que coincidirán con los ejes de replanteo de cada uno de los elementos del enlace (ejes de simetría o bordes de calzada) y, muy especialmente, de las carreteras a enlazar, vayan a ser éstas modificadas o no, puesto que con ellas han de empalmar todos los ramales en la mayoría de los casos. Si estas vías no son modificadas, es necesaria una definición taquimétrica de aquellos elementos (eje de simetría o bordes) que serán utilizados como punto de partida de la definición en planta de los ramales.

También es necesario definir, en este momento, los anchos de los carriles de las calzadas asociados a cada uno de los ramales del enlace, puesto que en algunos casos será necesario saber a qué distancia de los ejes analíticamente prefijados han de llegar otros ejes que no empalman directamente sobre ellos, sino que lo hacen sobre una línea de la vía predefinida distinta de su eje de replanteo.

La flecha que aparece en el diagrama, dirigida hacia la columna de la derecha, indica que si existe separación de trabajos por especialidades y los especialistas ya han empezado a desarrollar tareas tales como diseños de pavimentos y de estructuras, es oportuno que ellos obtengan estos datos. La flecha apunta en un solo sentido porque rara vez surgen, en esta etapa, proveniente de alguna otra actividad, condicionamientos para el ancho de calzada, y casi nunca para la elección de ejes. Especial mención merece el caso de la Topografía adicional, que en este momento puede ser requerida para las mediciones de las vías existentes y de las singularidades del terreno que afecten el diseño de las obras de arte.

Se definen analíticamente los ejes en planta de las carreteras, si éstas fueran objeto de trazado y de los ramales del enlace, cuidando la coherencia de los empalmes entre ellos según los anchos asignados en la etapa anterior. Se pueden hacer ya los diagramas de curvatura de los ramales (y de las carreteras) y sus diagramas de peraltes. Estos últimos deberán resolver las inclinaciones transversales de las puntas entre dos calzadas que se empalman, considerando su influencia sobre la definición en elevación, que posteriormente puede obligar a retocar dicha inclinación.

La flecha, también dirigida sólo hacia la derecha, ilustra que estos datos también son requeridos para avanzar en el diseño de las estructuras, de los drenajes transversales y de las reposiciones de servicios. En caso de ser necesaria la reposición de caminos o la previsión de caminos de servicio, sus definiciones en planta pueden ser abordadas en esta etapa.

Es el momento de ejecutar los perfiles longitudinales de los ramales y carreteras ya definidos en planta. Ahora la flecha es doble, lo que indica que en este momento la interconsulta entre el proyectista y los especialistas es necesaria, puesto que es muy posible que existan condicionamientos, provenientes principalmente de los requerimientos de cotas para las obras de arte en general, que afectan el trazado en elevación. Si no hay separación de especialidades, conviene desarrollar los proyectos de dichas obras de arte, por lo menos en los aspectos relativos al trazado, antes de proceder a definir los perfiles longitudinales.

Se ejecutan los perfiles transversales, de los cuales se desprenden los límites de explanación y de expropiación. La flecha doble indica que existen interdependencias importantes entre ambas columnas, en aspectos tales como geotecnia (definición de taludes y cunetas), drenajes y desagüe (cunetas), estructuras (muros de contención) y expropiaciones.

Resueltas todas las facetas del diseño, se ejecutan las cubicaciones y los presupuestos, con todos los proyectos anexos que provienen de la columna de la derecha.

D.1.3. Interdependencia de los trazados en planta y elevación

En el caso de un enlace, la planta y la elevación del mismo se condicionan mutuamente en mayor grado que en el caso de las intersecciones a nivel, en las que no existen grandes diferencias de cota a resolver.

Esto dificulta, aunque no imposibilita, la pretensión de estructurar la presente Sección según un proceso lineal esquemático. Se hará necesario tener en cuenta, desde el inicio del trazado en planta de los ejes de las carreteras y/o ramales, las características en elevación que habrá que dar a la configuración que se proponga.

Esta interdependencia se manifiesta inicialmente en el momento de la elección de cuál(es) carretera(s) y/o ramal(es) discurrirá(n) por el nivel inferior y cuál(es) por el superior. Esta decisión es importante, puesto que tiene gran influencia tanto en los costos de construcción como en el funcionamiento del dispositivo.

La respuesta a este problema suele estar dada por las características de la topografía, por el tipo de enlace, por las importancias relativas de las carreteras, que pueden ser tales que sea preciso subordinar por completo una de ellas a los mejoramientos de la otra, aún en contra de las conveniencias dictadas por el relieve del terreno. Esto último sólo será permisible cuando la preponderancia de una de las vías haga antieconómica la aparición de cambios de cota significativos en ella y cuando esto no signifique un deterioro notable del paisaje.

En todo caso, cuando proceda, se debe estudiar este asunto considerando los siguientes conceptos.

La mayor parte de los diseños quedan determinados por la economía que significa la adaptación al terreno, no sólo del trazado de las vías, sino que, del trazado del conjunto del enlace, puesto que no considerar oportunamente los ramales puede llevar a éstos a ser delineados inadecuadamente.

El paso inferior de la carretera más importante supone ventajas para la visibilidad de sus usuarios, puesto que la estructura les avisa anticipadamente la proximidad de una singularidad del trayecto. Esto también ocurre cuando dicha carretera se eleva ostensiblemente sobre un terreno natural relativamente llano para salvar superiormente el obstáculo. Si ésta se hunde bajo un camino que cruza al nivel del horizonte, la ventaja en cuestión es mínima.

El paso superior de la vía más importante favorece estéticamente a los usuarios de ésta, al prodigar una mejor visión de la zona desde una cierta altura libre de obstáculos.

Cuando el tránsito que gira es importante, el paso inferior de la carretera principal favorece las maniobras de cambio de velocidad, al proveer pendientes en subida para la deceleración y en bajada para la aceleración a los vehículos que salen y entran a ella, respectivamente.

Si no existen conveniencias determinantes para una u otra solución deberá preferirse aquélla que confiera mejor distancia de visibilidad a la carretera principal.

Un paso superior permite a veces su construcción por etapas, pudiéndose materializar parte de su sección (o una sola estructura si la carretera tiene calzadas separadas) y postergar su ampliación hasta la construcción definitiva.

En zonas de drenaje problemático, el diseño se resuelve mejor para la carretera principal si ésta se eleva sobre la secundaria, no alterando el trazado de esta última.

El costo de las estructuras, que suelen ser diferentes para uno y otro caso. Cuando se pueda, se deben preferir las soluciones con luces menores para la carretera principal.

En general, cuando la carretera principal, con su sección tipo más amplia y sus parámetros de diseño más exigentes puede ser adaptada al terreno, y la otra vía supeditada a este esquema, los movimientos de tierra son mínimos.

La elección del nivel de cruce en un punto puede depender no tanto de las condiciones locales como de la planificación del conjunto de la obra. Ejemplo de esto es el caso de vías próximas a ciudades en las que su condición de deprimidas o elevadas es producto de una decisión que no permite excepciones.

Se debe tener en cuenta que la construcción del enlace altera el tránsito durante las Obras, y que estas alteraciones afectan mucho menos a la vía a la cual no se le modifica el trazado.

El paso superior de la carretera principal no limita el gálibo a sus usuarios, quedando ésta apta para carga especiales.

D.1.4. Distancias de visibilidad

Los valores mínimos de distancia de visibilidad son los mismos que se aplican en intersecciones, que corresponden a las Distancias Mínimas de Frenado.

Distancias mayores que éstas deben ser provistas cuando ello sea posible. Para el caso de la comprobación de la distancia mínima de visibilidad por efecto de la estructura en acuerdos verticales cóncavos, úsense los criterios de parámetros mínimos por visibilidad de frenado y las fórmulas correspondientes si se desea proveer distancias de visibilidad de adelantamiento en carreteras bidireccionales de dos carriles.

Las limitaciones de visibilidad horizontal producida por pilares, estribos y barandas (en pasos superiores) suelen ser más importantes que las que se originan por las características en elevación, lo que refuerza lo dicho en relación a la conveniencia de trazados más amplios en estas zonas.

D2. Trazado en planta

D.2.1. Aspectos generales

Como en todo trazado vial, la planta de un ramal es el resultado del calce sucesivo de alineaciones rectas y curvas, acordadas entre sí por otras curvas circulares de radio más amplio o por clotoides de transición. Tal sucesión debe constituir un eje cuya tangente sea una función continua de su desarrollo. A continuación, se describirá los aspectos normativos que deben regir dichos trazados de las carreteras en la zona de enlace, de los ramales y de sus empalmes con otros elementos del diseño.

D.2.2. Ajuste de las carreteras que se enlazan

Con la excepción del caso en que se proyecta enlazar carreteras que no se cruzan, todos los tipos de enlace requieren modificar o rediseñar una de ellas o ambas en la zona del dispositivo a diseñar.

La aparición de pilares, estribos, barreras de protección, cunetas especiales, cordones y otras protuberancias, supone un aumento de los riesgos para los usuarios con respecto a las secciones normales de las carreteras que acceden al enlace. Esto hace que sea necesario respetar los estándares de dichas carreteras en la zona del enlace y, si es posible, mejorarlos.

Se debe evitar las curvaturas horizontales que se inician o terminan cerca de un vértice cóncavo o convexo con pendientes de acceso acusadas.

En un enlace, una carretera de cuatro carriles debe ser de calzadas separadas. Muchas veces es preciso desdoblar una carretera bidireccional de dos carriles para evitar giros indebidos a la izquierda y para permitir la incorporación de carriles de aceleración que no estén permitidas en carreteras bidireccionales. Esto aumenta la capacidad en la zona del enlace, afectada por los empalmes de entrada principalmente. También puede servir para ubicar pilares intermedios de la estructura.

Los ensanches del cantero central se consiguen de la misma manera establecida para Intersecciones (*Numeral 3.1.1.9.5. (D.2.2.3)*).

D.2.3. Trazado de los ramales

» i. Aspectos generales

Un ramal consta de dos terminales o empalmes y de un tramo de vía entre ambos o brazo. El terminal que empalma con una carretera secundaria puede contemplar giros a la izquierda con condición de parada. En tal caso tendríamos una intersección a nivel en un extremo del ramal.

En cambio, el empalme sobre la vía principal siempre será unidireccional y con las pistas de cambio de velocidad que correspondan al caso proyectado, pudiendo los vehículos acceder o salir de ellas por sus lados izquierdo o derecho, evitando siempre que sea posible la primera alternativa.

El tramo del ramal entre los empalmes, o brazo, puede estar formado por cualquier combinación de alineaciones que sirvan razonablemente al propósito de hacer cambiar de dirección a los vehículos. Estas alineaciones quedan condicionadas por la elección de una Velocidad de Proyecto para el ramal, la que a su vez depende del conjunto de circunstancias del proyecto.

A continuación, se presentará los criterios que se debe aplicar para dicha elección y se describirá las características de las alineaciones utilizables.

» ii. Velocidad de proyecto en ramales

Cualquier operación de giro en un enlace supone inconvenientes para el usuario: aquellos derivados de la necesidad de prever las maniobras de salida de una vía y entrada a la otra, que dependen tanto de una adecuada señalización como de un trazado conveniente; el que el conductor tenga que reducir su velocidad por la existencia de ramales con características geométricas inferiores a la de la carretera por la que circulaba; ver alargado su trayecto por los desarrollos de dichos ramales, o todos ellos a la vez.

En todo caso, estas dificultades, inherentes a prácticamente todos los dispositivos que permiten cambios de dirección quedan compensados en un enlace bien planificado por la eliminación de riesgos, por los aumentos de la capacidad, por una mayor eficiencia en la operación y, por consiguiente, por los beneficios económicos que resultan para los usuarios.

El diseño ideal de un ramal, desde el punto de vista de la operación, será aquel que permita mantener la velocidad a los vehículos que se intercambian, en el caso de hacerlo entre dos carreteras de velocidades de proyecto iguales, y aumentarla o disminuirla de acuerdo a los valores de dichas velocidades de proyecto si ellas son distintas entre sí. Todo esto con un mínimo de aumento del recorrido.

Evidentemente, esto es rara vez posible, principalmente por las grandes extensiones que serían necesarias para desarrollar ramales con velocidades de proyecto altas, las que por otra parte podrían significar incrementos de recorridos que no justifiquen operacionalmente tales diseños.

En atención a las mencionadas limitaciones, es práctica habitual permitir una Velocidad de Proyecto de ramales reducida con respecto a los valores ideales.

Existen diversas maneras de abordar este asunto. Por ejemplo, considerar la Velocidad de Proyecto de la carretera principal y permitir reducciones de ésta según algún criterio normalizador, como lo establece AASHTO en “A Policy on Geometric Design of Highways and Streets”, o considerar la Velocidad de Proyecto promedio de ambas carreteras y el tipo de ramal, y sobre ese valor aplicar reducciones, como lo especifica el Ministerio de Obras Públicas, España, en sus “Recomendaciones para el Proyecto de Enlaces”.

En ninguno de estos casos se contempla las diferencias operacionales que presentan entre sí los casos de los ramales de salida y de entrada desde ya carreteras con diversas velocidades de proyecto.

Estas simplificaciones son válidas, pero si se pretende permitir trazados de menor costo que en los países con mayores medios, se hace preciso aplicar algún criterio que permita afinar la elección de la Velocidad de Proyecto de los ramales.

El presente Volumen mantiene velocidades de proyecto en función del tipo de ramal, de las velocidades específicas de las carreteras y, muy importante, atendiendo a si éste es de salida o entrada respecto de la carretera principal. Esto último se toma en cuenta porque el caso de un ramal de salida desde una carretera de velocidad mayor hacia otra vía o punto de velocidad inferior, no es igual al caso inverso.

Efectivamente, al usuario que circula a baja velocidad no le significa molestia ni peligro entrar a un ramal de velocidad igual o inferior a la suya, estando dispuesto a incrementarla en el momento oportuno para ingresar a la vía más rápida. En cambio, al vehículo rápido que sale le resulta mucho más notorio el cambio de velocidad impuesto por un ramal de baja Velocidad de Proyecto, pudiéndose dar el caso de desacato a la señalización o de mal uso de los carriles de deceleración.

Por esto la *Tabla 3.1_ 72* contiene valores para las velocidades de proyecto de ramales distintos para cada par de velocidades específicas de las vías, según sea el sentido del ramal. Esto permite trazados de menor costo en los ramales que discurren desde V_p bajas hacia V_p altas y trazados que son los habituales en otros países para el caso opuesto.

Ejemplo de utilización (con interpolaciones): sea un ramal semidirecto que sale desde una carretera con $V_p = 90$ Km/h y llega a una de 70 Km/h.

En la columna de la izquierda (ORIGEN) aparecen los valores 80 y 100 y en la fila superior (DESTINO), para el caso de ramales semidirectos, aparecen 60 y 80. Los valores de V_p Ramal (Velocidad de Proyecto del Ramal) entre los que hay que interpolar son: 45, 50, 60 y 60, que aparecen en el recuadro segmentado de la *Tabla 3.1_ 72*. La V_p Ramal mínima deseable será $(45 + 50 + 60 + 60) / 4 = 55$ Km/h, debiendo usarse valores mayores siempre que sea posible. Nótese que el caso contrario, o sea, un ramal que va desde $V_p = 70$ Km/h a $V_p = 90$ Km/h resulta de V_p Ramal = 45 Km/h.

Si el ramal fuera de doble sentido, se consideraría el sentido 90 - 70 que es el más exigente.

Por último, cabe hacer notar que en ramales largos, en los que se pueda efectuar un trazado con distintas curvas, la velocidad V_p Ramal puede ser menor, siempre que en la zona

próxima a la salida desde la carretera más importante (o de enlace a ella) se respete el trazado mínimo impuesto por esta norma. Esto es particularmente aplicable al caso de un ramal que accede a una intersección a nivel con condición de parada, donde V_p Ramal es nula.

En ramales cortos con condición de parada, se utilizan los valores correspondientes a $V_p = 40$ de la fila superior, proveyendo de la distancia suficiente para detenerse en el punto requerido.

Tabla 3.1_72. VELOCIDADES DE PROYECTO MÍNIMAS EN RAMALES DE ENLACE

Vp carretera de Destino (km/h)	Directos Import. Entre Autopistas			Directos					Semidirectos				Lazos			
	100	120	40	60	80	100	120	40	60	80	100	120	40	100		
800													40	100		
													80	120		
Vp carretera de origen (km/h)	40	---	---	---	---	30	30	35	40	---	30	30	35	40	25	30
	60	---	---	---	30	35	40	45	50	30	35	40		45	30	35
	80	60	65	70	45		50	55	60	40	45	50			35	
	100	70		80	70					60					40	
	120	80	90	100	80					70					50	

Nota 1: Si el ramal es de doble sentido, se aplica el valor que corresponde al sentido más exigente.

Nota 2: Los valores usados en el ejemplo del texto, están con negrita.

Los valores de la *Tabla 3.1_72* son valores mínimos que no deben utilizarse en forma independiente de la demanda que se ejercerá sobre los ramales. No considerar en la selección de una Velocidad de Proyecto para un ramal la cantidad y tipo de vehículos que lo solicitarán puede conducir a graves situaciones de congestión. Por ello, se podría exigir un análisis de capacidad cuando se estime que las características de la demanda, combinada con la geometría en planta y elevación del ramal, hagan temer la saturación del mismo.

» *iii. Alineaciones en ramales*

El eje en planta de un ramal de enlace, al igual que un ramal de intersección o de una carretera, estará constituido por una secuencia de alineaciones rectas y curvas, empalmadas tangencialmente entre sí mediante curvas de acuerdo circulares de radios intermedios o mediante clotoides.

El trazado en planta de un ramal de enlace se puede asimilar al de un ramal largo de una intersección, puesto que ambos implican trazados en elevación independientes y, por lo tanto, es preciso compatibilizar sus empalmes con las vías de origen o destino atendiendo a sus características individuales.

La *Tabla 3.1_73*, resume los valores mínimos absolutos de radios de curvatura de arcos circulares en ramales de enlace para velocidades de proyecto desde 25 Km/h hasta 100 Km/h. Estos valores provienen de las *Tabla 3.1_51*, siendo estos últimos los correspondientes a caminos y carreteras en campo abierto, habiéndose adoptado en este caso un peralte de 8% para $V_p = 70$ Km/h y la expresión $R_{MIN} = (V_p)^2 / (127 (f_{max} + e_{max}))$.

Tabla 3.1_73. RADIOS MÍNIMOS ABSOLUTOS CON PERALTES MÁXIMOS EN RAMALES DE ENLACE

Vp ramal (km/h)	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	90	100
f max %	31,0	28,0	25,0	23,0	21,0	19,0	18,0	17,0	16,0	14,9	12,2	11,4	10,5
E max %	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
R min adoptado (m)	15	20	30	40	55	75	90	120	140	170	250	330	425

Toda vez que sea posible, resulta conveniente emplear los radios y peraltes deseables que se entregan en el *Gráfico 74* para velocidades menores o iguales que 65 Km/h y los conceptos expuestos en la Sección correspondiente a “Curvas Horizontales con Radios sobre los Mínimos” para $V_p \geq 70$ km/h.

» *iv. Curvas de acuerdo*

Como se dijo, las alineaciones sucesivas, con distintos radios de curvaturas, deberán ser empalmadas mediante curvas de acuerdo, que podrán ser arcos circulares o clotoides.

Es aplicable, en el caso de ramales de enlace, todo lo dicho en el numeral 3.1.1.9.5 (C.5), relativo a este tema para el caso de las intersecciones. Sin embargo, al no existir limitaciones prácticas para el uso de clotoides, éstas deberán preferirse a las curvas de acuerdo circulares, por motivos funcionales.

A continuación, en la *Tabla 3.1_74*, se resumen los valores de los parámetros mínimos (A_{min}) de las clotoides de transición según sea el caso de su utilización.

Tabla 3.1_74. PARÁMETROS MÍNIMOS DE CLOTOIDES (A_{min} - $V_p \leq 60$ km/h) Y (A_{NORMAL} - $V_p \geq 70$ km/h)

Vp ramal (km/h)	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	100
Rmin (m)	25	35	45	60	75	90	120	170	250	330	425
Amin (m)	20	30	35	40	50	60	70	100	130	150	175

D.2.4. Anchos de calzadas y banquetas

Los anchos de calzada para ramales de enlace son los mismos que para ramales de intersecciones.

Sin embargo, por ser los primeros de longitudes generalmente mayores, es conveniente prever banquetas que faciliten detenciones ocasionales o resguardo a los conductores vacilantes que reducen sus velocidades por efecto de cualquier desorientación que les produzca la mayor complejidad del dispositivo que están usando. En la *Tabla 3.1_75* se dan los anchos mínimos de banquina izquierda y derecha para calzadas de uno y dos carriles, según sea la Velocidad de Proyecto de los mismos.

Si los terraplenes son altos y/o las lluvias abundantes, el tratamiento de las banquetas y la colocación de cordones en sus márgenes externas son recomendables. En general, si el tránsito es importante o la Velocidad de Proyecto elevada, las banquetas deberán ser tratadas superficialmente o pavimentadas.

Tabla 3.1_75. BANQUINAS MÍNIMAS EN RAMALES DE ENLACE

	ANCHO MÍNIMO (m) EN RAMALES DE 1 CARRIL		ANCHO MÍNIMO (m) EN RAMALES DE 2 CARRILES		
	Vp ≤ 70 km/h	Vp > 70 km/h	1 sentido (ramales entre autopistas)	Vp ≤ 70 km/h	Vp > 70 km/h
Derecha	1,50 (1,20)	2,00 (1,20)	2,00 (1,20)	1,50 (1,20)	2,00 (1,20)
Izquierda	0,60	1,00 (0,60)	1,00 (0,60)		

(1) Al existir siempre una banquina, no rigen las limitaciones.

(2) Los valores entre paréntesis corresponden a los anchos de banquetas mínimos cuando no se prevén detenciones y se utilizan soleras.

(3) Estos valores no incluyen SAP mínimo de 0,5 m.

D.2.5. Transiciones de ancho

Es frecuente, dentro de un mismo ramal de enlace, encontrar alineaciones que requieran distintos anchos de pavimento. Cuando esto ocurre, la transición de un ancho a otro se resuelve a lo largo de la curva de acuerdo, en forma lineal.

En caso de presentarse transiciones de ancho correspondiente al paso del caso II ó III de la Tabla 3.1_54 al caso I de la misma, éstas se realizan en distancias que aparecen en la Tabla 3.1_57.

Las transiciones de anchos en las zonas de empalmes y en las pistas de cambio de velocidad fueron abordadas en los numerales 3.1.1.9.5 (C.7.2 y C.7.3).

Cuando existe una transición de ancho de calzada conjuntamente con una transición de peraltes, los bordes alejados del eje de giro de peraltes configuran, en elevación, una curva parabólica. Se acepta aproximar esta curva a una recta entre sus valores extremos.

D.2.6. Empalmes de ramales y carriles de cambio de velocidad

Los carriles de aceleración y deceleración en enlaces presentan las mismas características ya anotadas para intersecciones, en el numeral 3.1.1.9.5. (C.7).

A continuación, se resume las referencias más útiles:

- Formas básicas. *Gráfico 57.*
- Carril de Aceleración Tipo. *Gráfico 58.*
- Longitudes de Carriles de Aceleración. *Gráfico 58.*
- Correcciones por pendiente para carriles de aceleración. *Tabla 3.1_56.*
- Carril de Deceleración Tipo Directa. *Gráfico 59.*
- Carril de Deceleración Tipo en Paralelo. *Gráfico 60.*
- Ángulo de Incidencia de Carril de Deceleración Directa. *Tabla 3.1_60.*
- Largos de Cuña de Carriles de Deceleración. *Tabla 3.1_61.*

- Longitudes de Zona Deceleración; valores para $i = 0$. *Gráfico 59, Gráfico 60 y Gráfico 61.*

Cabe agregar, sin embargo, algunas recomendaciones especialmente válidas para los empalmes y carriles de cambio de velocidad de los enlaces, que por lo general aparecen asociados a las estructuras de cruce de las carreteras. Es frecuente que existan empalmes de ramales, ya sea de salida o entrada, situados en las proximidades de las estructuras, lo cual produce dos inconvenientes: la visibilidad de los usuarios puede ser limitada por los estribos, pilares y protecciones de las estructuras, o éstas pueden necesitar ampliaciones, en ancho o luz, para prolongar sobre o bajo ellas los carriles de aceleración o deceleración.

Por otra parte, alejar los empalmes de las estructuras para no tener estos inconvenientes resulta frecuentemente antieconómico o antifuncional, al aumentar las superficies involucradas por el trazado de los ramales y aumentar el recorrido de los vehículos.

En los empalmes posteriores a las estructuras se recomienda dejar una distancia suficiente para que los conductores que pretenden salir de la carretera de paso puedan percibir la singularidad con antelación e iniciar las maniobras pertinentes, o para que los que entran a ella puedan tener suficiente retrovisión para la operación de ingreso.

Las distancias mínimas que se recomiendan son de 80 metros para velocidades de proyecto de la carretera entre 60 y 80 Km/h y 120 metros para velocidades entre 90 y 120 Km/h.

Los empalmes anteriores a las estructuras no tienen que estar tan distantes de ellas, ya que la situación, por lo general, no lesiona la visibilidad. En este caso, la separación se elige según las características del proyecto.

D.2.7. Terminales sucesivos

Cuando son necesarias entradas y salidas sucesivas en un tramo de carretera se generan interferencias entre los sucesivos carriles de cambio de velocidad y/o dificultades de maniobra tanto para el tránsito de paso como para el que gira. Además, se generan problemas de señalización en el caso de empalmes de salida que se suceden.

En el Gráfico 98 TERMINALES SUCESIVOS Anexo III se muestra distintas soluciones para el proyecto de empalmes sucesivos. Son preferibles aquellas configuraciones en las que salidas y entradas aparecen en este mismo orden (Gráfico A). Sin embargo, cuando es necesario lo contrario aparecen una serie de posibilidades para el tratamiento de la situación.

En el Gráfico B se muestra el caso relativo a los tramos de trenzado; aquí los carriles de cambio de velocidad empalman entre sí, generando un tramo de ese tipo.

En el Gráfico C se muestra una solución cuando la entrada es seguida por una salida muy próxima, al punto que sus carriles de cambio de velocidad deben extenderse hacia cada lado de los empalmes. La isla divisoria dispuesta pretende minimizar las interferencias que produce el insuficiente tramo de trenzado en los carriles de paso. En el ejemplo, la isla (de preferencia con cordones) está separada del carril de paso por una distancia equivalente a las banquetas, que es lo deseable, y también está distante del carril auxiliar. Esta última distancia no debe ser inferior a 0,60 m.

En el Gráfico D se muestra una sucesión de empalmes (entrada-salida-entrada-salida) en que se han unido los carriles de cambio de velocidad (trenzado) para constituir un carril continuo.

Por último, en el Gráfico E, se muestra la solución ideal a estos problemas, cual es la provisión de una calzada Colectora-Distribuidora (C-D), a la que se debe acudir cuando grandes volúmenes de tránsito son esperados y no se desea afectar la operación en la calzada principal.

Las dificultades mencionadas anteriormente, presentes en estos esquemas en mayor o menor grado, así como en otros no detallados en el Gráfico 98 deben ser limitadas mediante una separación mínima entre los empalmes sucesivos. En el Gráfico 99 se diagrama los casos más posibles de terminales combinados y se define las longitudes mínimas entre sus narices.

D3. Definición de la elevación

El trazado en elevación de los ramales de un enlace es similar al de los ramales largos de una intersección, tratados en el numeral 3.1.1.9.5. (E.3) y ejemplificados, en lo relativo a sus empalmes, en Gráfico 75.

Cabe hacer notar que en los enlaces, por lo general, es preciso resolver diferencias de cota importantes, muchas veces en desarrollos relativamente cortos, cosa que no ocurre normalmente en las intersecciones.

En la Tabla 3.1_76 se encuentran los valores mínimos de los parámetros de las curvas de acuerdo vertical cóncavas y convexas y sus longitudes mínimas. Asimismo, se da los máximos valores de la pendiente i (+ y -) en ramales de enlace. Todo ello en función de la Velocidad de Proyecto.

Tabla 3.1_76. PARÁMETROS MÍNIMOS ABSOLUTOS PARA EL PROYECTO EN ELEVACIÓN DE RAMALES

Vp (km/h)	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	90	100
Distancia (m) de Visibilidad de Frenado	20	25	31	38	44	52	60	70	80	90	115	145	175
Kv (m) Convexo*	300	300	300	400	525	700	900	1200	1500	1800	3000	4700	6850
Kc (m) Cóncavo	300	400	450	500	800	1000	1200	1400	1600	1900	2600	3400	4200
L (m) mínimo	15	20	20	22	25	28	32	35	40	50	60	80	100
Inclinaciones Máximas de Rasantante (%)	±8,0	±8,0	±8,0	±7,0	±7,0	±7,0	±6,5	±6,0	±6,0	±5,5	±5,0	±4,5	±4,0

* Para los acuerdos vecinos a los empalmes se debe usar los valores correspondientes a Vp 10 Km/h superiores.

Nota 1: Los parámetros mínimos recomendables para una Vp dada son aquellos correspondientes a Vp 10 Km/h superiores.

Nota 2: En lugares donde se prevean formaciones de heladas, las pendientes no deberán exceder el 6%.

Nota 3: En ramales Vp < 40 Km./h, en bajada, se aceptará excepcionalmente pendientes de -10% si no es zona de heladas.

Es conveniente evitar los mínimos absolutos y recurrir a los mínimos recomendados (los valores correspondientes a la Vp 10 Km/h superior) siempre que se pueda, especialmente en los ramales directos o semidirectos, cuyo desarrollo suele permitirlo.

Se recalca que los parámetros mínimos absolutos para los acuerdos verticales vecinos a los empalmes de salida y entrada son aquellos tabulados para las velocidades de proyecto 10 Km/h superiores. Esta exigencia también es válida para las longitudes mínimas absolutas de dichos acuerdos. Con respecto a la visibilidad, es importante que la distancia de visibilidad, hasta la nariz del empalme de salida y desde la nariz del empalme de entrada, sea igual o superior a

1,2 veces la Distancia de Visibilidad de Frenado correspondiente a la Velocidad de Proyecto del ramal.

También se insiste que estos valores mínimos absolutos deben ser justificados, y que el número de carriles de los ramales afectados por tales mínimos debe ser analizado desde el punto de vista de la capacidad.

D4. Definición de las secciones transversales

D.4.1. Aspectos generales

Calzadas, banquetas, cunetas, cordones y protecciones son los elementos principales que se unen a las condiciones del terreno (taludes de corte y terraplén) para definir las secciones transversales de un ramal. Ocasionalmente pueden aparecer canchales centrales que serán tratados como islas divisorias (numeral 3.1.1.9.5. (D)).

De estos elementos, hay que definir las formas, dimensiones, inclinaciones o ubicaciones que se ajusten a los antecedentes del proyecto.

Cunetas y taludes no serán abordados en la presente Sección, por quedar fuera de su ámbito de competencia; los anchos de calzada y banquetas han sido expuestos en los numerales 3.1.1.9.6. (D.2.4 y D.2.5), por ser necesarios para la definición en planta del enlace.

Por consiguiente, en el presente Tópico se verá aquellos asuntos no tratados anteriormente y se hará las oportunas referencias a otras partes de este Volumen.

D.4.2. Peraltes, sus transiciones y aristas entre superficies

Los peraltes deseables que van asociados a radios de curvaturas y velocidades específicas resultan de las mismas teorías y consideraciones planteadas para ramales de intersecciones.

Las transiciones de peraltes en los ramales de enlace se abordan igual que en el caso de las intersecciones, por lo que los valores de la Tabla 3.1_ 68 son válidos para las pendientes longitudinales aceptables de bordes de calzadas con respecto a la del eje de replanteo.

De igual manera, rigen para estos ramales los valores de la Tabla 3.1_ 69 relativos a la máxima diferencia algebraica entre pendientes transversales de superficies adyacentes, medidas en su arista común.

En los ramales de enlace, al igual que en los de intersecciones, se recomienda que las superficies pavimentadas que anteceden a la nariz de los empalmes (puntas) tengan una inclinación transversal igual a la calzada de paso, constituyendo con ella una plataforma continua y de más fácil materialización.

Sin embargo, en estos ramales se puede presentar, con mayor frecuencia que en los de intersecciones, la necesidad de adecuar esta inclinación para mejorar el trazado de los perfiles longitudinales, cuyas pendientes en sus extremos iniciales y finales dependen en alguna medida del tratamiento que se dé a la punta en cuestión.

Cuando esto se haga, será preciso tener en cuenta, además de los imperativos que se desprenden de las necesidades de pendiente mínima de drenaje (1% en cualquier dirección), que esta zona puede ser invadida por algunos vehículos, lo que obliga a limitar su pendiente a un 8% y a no exceder los valores de la Tabla 3.1_ 69 para las aristas entre ella y los carriles adyacentes.

Si la pendiente transversal de la punta no continúa la de la calzada de paso, puede acompañar a la del ramal, o mantener la de alguna de las banquetas que llegan a ella. En todo

caso, la transición de la pendiente de estas últimas debe hacerse en un mínimo de veinte metros.

En el caso de ramales semidirectos, puede convenir utilizar contraperaltes por razones de drenaje superficial. En tal caso, pueden usarse las relaciones entre V_p y Radios Límite en Contraperalte (RLC) de la *Tabla 3.1_69* para velocidades.

D.4.3. Secciones transversales tipo en ramales

En el Gráfico 100 se muestra el tratamiento recomendado para combinar los peraltes de calzada y de las banquetas en los distintos tipos de ramales.

Estas secciones son válidas, con los valores de peralte igual a 2% para tramos en recta. No es conveniente usar bombeos, salvo en el caso de un ramal muy largo en el que ello signifique una economía computable, o en el caso de paso por sobre una estructura cuyo tablero deba ser diseñado de tal manera. Por ser raro el caso de tramos rectos de longitudes significativas en los ramales de enlace, es generalmente más práctico continuar con la inclinación única de una sección a otra, según las normas de transiciones de peralte ya enunciadas.

La sección tipo de un ramal puede contemplar la existencia de cordones y/o barreras de seguridad, a uno o ambos lados exteriores de las banquetas. Los anchos de la calzada y banquetas según el radio de las curvas y tipo de maniobra prevista, se ajustarán a lo establecido en el numeral 3.1.1.9.5. (C.6).

Los Cordones son recomendables cuando la zona es lluviosa y el ramal discurre en un terraplén susceptible a daños provocados por el derrame libre del agua por sus taludes. En este caso, ellos conducen las aguas que escurren de la plataforma hacia bajantes especiales, lo cual disminuye la erosión de los taludes y minimiza los gastos de mantenimiento. En tal caso, la banquina deberá ser tratada convenientemente. Los Taludes de los Terraplenes y la oportunidad de uso de Barreras de Contención se regirán por lo establecido en el presente manual en cuanto a la temática. También son necesarios allí donde se desee proteger elementos externos al ramal. Estas barreras siempre deben ubicarse al exterior de la banquina.

SECCION 3.1.1.10.

CRITERIOS DE DISEÑO PARA TRAVESÍAS URBANAS

3.1.1.10.1. INTRODUCCIÓN

Los sectores urbanos adenaños a las carreteras generan serios conflictos de seguridad de tránsito, originados por los diferentes usos que se espera que tenga la carretera. Por un lado, los peatones tienden a percibir la carretera como una vía local, atravesándola sin percibir que la Velocidad de Operación a la que viajan los vehículos supera ampliamente las velocidades por ellos estimadas. Producto de lo anterior en las carreteras que acceden o salen de nuestras ciudades o atraviesan pueblos o sectores con características urbanas tenemos los más altos índices de atropellamiento con resultados de víctimas fatales.

Un segundo aspecto relacionado con estos sectores tiene relación con los conductores. En este caso hay conductores que utilizan la carretera como vía local, deteniéndose, ingresando o realizando arriesgadas maniobras en la carretera, generando serios conflictos con los usuarios de paso, que desde su punto de vista circulan por una vía “rápida” o interurbana.

En ambas situaciones, el problema se basa en la percepción que tienen los usuarios del medio por el cual se desplazan. Cuando los usuarios perciben diferentes usos para un mismo medio, se generan los conflictos y confusiones, que en el caso de la vialidad tienen como resultado accidentes de tránsito

Para evitar lo antes expresado, el mensaje debe ser claro para todos los usuarios. Si la ruta es una carretera que ingresa a un sector con presencia de peatones, comercio y accesos particulares directo a la calzada, entonces la carretera ha cambiado de hecho su jerarquía y deben generarse las medidas de diseño que transmitan a los conductores que deben bajar su velocidad, pues ya no se encuentran en una carretera. Lo anterior da entrada a una gran variedad de medidas de control de tráfico tendientes a que los conductores perciban el cambio de estándar de la ruta y se vean incentivados a desacelerar, lo cual se puede reforzar con señales de límite de velocidad máxima de 50 km/h. Se debe tener presente que la sola instalación de señales no logra modificar las velocidades de operación, dado que el conductor no percibe la necesidad ni el riesgo de seguir transitando a la velocidad que llevaba durante su viaje en la zona interurbana.

3.1.1.10.2. ESTUDIO DE VELOCIDADES

A. ASPECTOS GENERALES

A1. Condiciones de ejecución

Toda proposición de cambio o definición de velocidad de una vía o tramo de vía, deberá ir acompañado de un estudio de velocidades que justifique, desde un punto de vista técnico, la modificación que se pretende introducir.

El estudio servirá también para sintetizar de manera adecuada los datos, argumentos técnicos y modificaciones de diseño que requiere la gestión de la velocidad y de la seguridad vial. Este deberá constar de dos partes; un “Diagnóstico” y un “Proyecto de Ingeniería” que sinteticen los aspectos técnicos definidos

El desarrollo de un Estudio de Velocidad, se requerirá en Autopistas, Multicarriles, Carreteras Primarias y Caminos Colectores, debido a que un cambio o definición de una velocidad máxima

tendrá un impacto en la operación del tránsito en toda el área afectada. Se excluyen de esta necesidad los caminos locales y de desarrollo.

A2. Definiciones

A.2.1. Velocidad de Operación

Corresponde a la indicada en el numeral 3.1.1.6.2. (D.4), definida como la Velocidad del Percentil 85%.

A su vez, procedimientos para estimar velocidades de operación, se establecen en el numeral 3.1.1.10.2. (C) de esta Sección.

A.2.2. Velocidad de Proyecto

Corresponde a la definida en el numeral 3.1.1.10.2. (D.1).

Para efectos de los estudios de velocidad, la Velocidad de Proyecto asociada a las condiciones viales prevalecientes en el sector en análisis, se obtendrá a partir del análisis de los parámetros de diseño obtenidos en terreno.

Por otra parte, en caso que el proyecto vial del sector sujeto a estudio de velocidad esté disponible, la Velocidad de Proyecto será obtenida a partir de éste.

La Velocidad de Proyecto obtenida en un tramo de vía, se debe diferenciar por sentido de tránsito. Además, cada tramo definido tiene implícito que sus condiciones de operación son homogéneas, en lo relativo a: volumen de tránsito, capacidad de la vía, fricción lateral, etc.

A.2.3. Velocidad Equivalente

Se entenderá que dos velocidades son equivalentes, cuando difieren en +20% ó -10%, de la velocidad de referencia.

En la *Tabla 3.1_77* se ilustra la equivalencia de las velocidades.

Tabla 3.1_77. RANGO DE VELOCIDADES EQUIVALENTES

Velocidad Km/h	Velocidad equivalente (Km/h)	
	Menor	Mayor
50	40	60
60	50	70
70	60	80
80	70	100
90	80	110
100	90	120
110	100	130

B. CONTENIDOS DE UN ESTUDIO DE VELOCIDAD

Ante la necesidad de desarrollar un Estudio de Velocidad, éste debe contar con 2 partes claramente diferenciadas. La primera de ellas es el Diagnóstico y Proposición, cuyos elementos centrales se mencionan en el siguiente numeral y tiene como objetivo definir el problema e indicar cuál es la solución al mismo. La segunda parte se refiere a cómo implementar la solución adoptada a través de un Estudio de Ingeniería.

A continuación, se indican los aspectos más relevantes de cada una de estas etapas:

B1. Parte 1 Diagnóstico y Proposición

Se deben considerar las siguientes etapas:

- Presentación del problema
- Datos de terreno
- Diagnóstico y definición del problema
- Determinación de la velocidad propuesta

A su vez para hacer el diagnóstico deben considerarse los siguientes aspectos:

- Velocidades de operación
- Distancias de visibilidad de frenado
- Jerarquía de la vía
- Velocidad límite
- Accidentes

El diagnóstico concluye con la identificación de las medidas de modificación correspondientes a la velocidad a señalizar, las medidas de seguridad vial asociadas a la solución adoptada y las condiciones de segregación requeridas, todas las cuales deben ser determinadas y definidas en detalle en el Proyecto de Ingeniería.

B2. Parte 2 Proyecto de Ingeniería

Corresponde efectuar un proyecto de ingeniería vial, que defina el diseño, ubicación, tipo, materiales, etc., de todas las obras, dispositivos y elementos identificados en la Parte 1.

Se debe considerar el diseño geométrico, operativo y ubicación de todos los elementos físicos y de señalización adecuados a la definición de velocidad límite en el tramo de vía en estudio.

Las modificaciones deben resumirse en un plano a escala apropiada del tramo.

En general, los diseños físicos deben ceñirse a lo dispuesto en las diferentes Secciones de este volumen.

C. MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE VELOCIDADES DE OPERACIÓN

C1. Tipos de velocidad a determinar

Se pueden distinguir al menos tres tipos de velocidad que representan fenómenos diferentes:

- Instantánea, asociada a un punto.
- De recorrido, asociada a un tramo excluyendo las detenciones.
- De viaje, asociada a un tramo incluyendo tiempos de detención.

Las velocidades de recorrido y de viaje son variables agregadas; la primera desde el punto de vista de la circulación, la segunda desde el punto de vista del usuario.

C2. Aspectos temporales en la medición de velocidad

Las mediciones de velocidades de circulación vehicular, deben realizarse en momentos del año que representen las condiciones de operaciones normales habituales o más representativas del tramo de vía en estudio.

A su vez, se registran diferencias entre las características de operación de sectores urbanos y rurales, principalmente por el efecto de los períodos punta. De esta forma, los períodos hora-

rios del día en que es factible realizar la medición de velocidad, serán distintos según si la ruta es rural o urbana.

Por otra parte, la medición de Velocidad de Operación se debe efectuar con una duración horaria tal que evite distorsiones puntuales que se puedan producir durante el día. Dado que los períodos factibles de efectuar la medición de velocidades son distintos entre los casos urbano y rural, lo mismo se aplica para la duración horaria mínima de la medición.

El periodo horario de medición de velocidad en zonas urbanas se debe determinar en función de los horarios de actividad en las distintas ciudades. En las zonas rurales se puede adoptar un horario para todo el territorio nacional, de las 07:00 a las 20:00, dado que no existen variaciones tan marcadas de flujo vehicular. En la siguiente tabla se propone la duración de las mediciones en función de la zona en que se medirá.

Tabla 3.1_78. ASPECTOS TEMPORALES MEDICIÓN DE VELOCIDADES

Tipo de ruta	Duración mínima de la medición (h) (hr)	Duración Máxima de la Medición (h)
Urbana	6	9
Rural	8	12

C3. Métodos de medición de velocidad

La utilización de cada uno de los métodos que se describen a continuación, depende más de los recursos disponibles que del objetivo: si se cuenta con un radar o un detector de velocidad, lo lógico es medir velocidades instantáneas; en cambio, si se dispone sólo de un vehículo, conviene su uso como vehículo flotante. Lo que interesa, en definitiva, es tener una estimación razonable de la Velocidad de Operación.

C.3.1. Velocidad instantánea

En estos casos, las velocidades individuales de los vehículos (V_i) se obtienen directamente de la lectura del instrumento o equipo. Es importante al definir el método a utilizar, que los usuarios no perciban que se les está midiendo la velocidad, ya que podría distorsionar los valores que se obtienen. Los métodos más usuales son:

Radar

Usado para control de límite de velocidad (desviación estándar ± 2 Km/h). Este método presenta limitaciones en condiciones de circulación intensa, pues se dificulta la medición de un vehículo determinado. Es especialmente apto para vías interurbanas, cuando se desea determinar velocidades de aproximación a puntos singulares o cuando las velocidades observadas son homogéneas.

Existen sistemas de radar aptos para cualquier condición de operación, pero de preferencia se deberán utilizar los que se instalan sobre un vehículo en forma paralela a la calzada. Estos instrumentos miden en base a dos haces de láser en forma perpendicular a la vía, los que determinan la velocidad instantánea. Este método permite efectuar la medición sin que los usuarios perciban que están siendo observados.

Sensores triboeléctricos

Son sensores puestos bajo el pavimento. Al pasar un vehículo produce una deformación que se transmite a un sensor, el que genera una carga eléctrica. Dos sensores ubicados a cierta distancia producirán dos cargas eléctricas en un intervalo de tiempo.

Sensores de microondas

Este equipo se instala de forma transversal a la vía en análisis. Al pasar un vehículo interceptando el haz de la microonda detecta la velocidad de éste. El equipo es de tamaño reducido y se instala en la parte superior de un poste emplazado al costado de la vía.

C.3.2. Velocidad de recorrido y de viaje

En estos casos se determinan tiempos de viaje (T_i) para un cierto tramo de longitud (L) de la vía. Normalmente se trabaja con muestra (subconjunto de vehículos observados). Los métodos de medición más usuales son:

Medición directa

Un observador con cronómetro determina la diferencia de tiempo de viaje ΔT entre dos marcas separadas a una distancia ΔL . La velocidad individual (V_i) de cada vehículo será el cociente entre ΔL y ΔT . Es un método simple, pero sólo aplicable a tramos cortos ya que un error en la obtención de ΔT implica velocidades diferentes. Existen problemas de paralelismo y el proceso es lento, lo que implica considerar tamaños muestrales pequeños.

Método de las patentes

Este método consiste básicamente en ubicar observadores a la orilla de la vía, a fin de que anoten el número de la patente y el tiempo de pasada entre dos puntos de cada vehículo motorizado, identificando su categoría (vehículo liviano, ómnibus, camión de dos ejes, etc.). La gran desventaja de esta técnica es el requerimiento computacional posterior para el análisis y procesamiento de la información.

Para situaciones de alto flujo vehicular, normalmente se anotan las patentes de algunos dígitos en particular; por ejemplo, los dígitos pares. Este método permite obtener tiempos de viaje o velocidades conocidas y la distancia recorrida, para cada vehículo registrado. Se requiere que los cronómetros estén sincronizados. Su limitación radica en la dificultad de lectura de la patente al oscurecer.

Método del vehículo flotante

Este método consiste en utilizar un vehículo que circule dentro de un pelotón de vehículos en períodos sin congestión, registrando el tiempo empleado en recorrer un tramo de vía de longitud determinada. Los inconvenientes principales consisten en que los resultados obtenidos estarán estrechamente ligados a la forma de conducción del vehículo y el número de observaciones normalmente es pequeño en comparación con otros métodos

Método del seguimiento

Este método consiste en utilizar un vehículo que, a diferencia del caso anterior, está equipado con un registrador de eventos, de modo que registre, cada cierto intervalo de tiempo predefinido, la distancia recorrida y el tiempo empleado. Con esto, la información posible de obtener es el tiempo de viaje del pelotón para cada tramo recorrido. Las limitaciones del método son similares a las del vehículo flotante

Filmación del flujo

Método apto para tamaños muestrales grandes. Es similar al método de medición directa y su principal limitación es que el procesamiento de la información es lento y normalmen-

te existen problemas para determinar los puntos que definen ΔL . Las velocidades individuales se estiman como el cociente entre ΔL y ΔT .

C4. Determinación del tamaño de la muestra

El tamaño de muestra para la medición puede estimarse de la siguiente ecuación

$$n = \left(\frac{S \cdot Z_{\alpha}}{e} \right)^2$$

Donde:

S: desviación estándar de las mediciones (ver ecuación inferior)

e: error aceptable para toda la medición (entre 2 y 10 Km/h)

Z α : parámetro para un nivel de confianza de $\alpha\%$ en la estimación de la velocidad (para un 95% de confianza Z₉₅ = 1,96; para un 90% de confianza Z₉₀ = 1,65)

$$S = \sqrt{\frac{\sum(\bar{v} - v_j)^2}{n - 1}}$$

Donde:

\bar{v} = velocidad media

v_j = velocidad medición j-ésima

Dado que S depende del tamaño de muestra n que se está tratando de determinar, una primera aproximación es considerar un valor promedio de S = 8 Km/h (Cal y Mayor y Cárdenas, 1.994, Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y Aplicaciones). Esto da un tamaño de muestra entre 3 y 60 vehículos para un 95% de confianza y errores aceptables de 10 y 2 Km/h, respectivamente. Por lo tanto, se recomienda tomar n = 30. Calcular S y volver a estimar n.

A su vez, el horario en que se efectúen estas mediciones, debe cumplir con lo especificado en la *Tabla 3.1_78*.

C5. Velocidad de Operación

Una vez obtenidas los V_i de la muestra n, se ordenan de menor a mayor hasta alcanzar el 85% de la muestra. La velocidad que completa el 85% de las observaciones, se define como la Velocidad de Operación.

C6. Formularios de datos

En los *Gráficos 101 y 102* se presentan los Formularios de Datos propuestos para la información relevante en la elaboración de los estudios de velocidades, en tramos de vías de la Red Vial de nuestro País.

D. DEFINICIÓN DE VELOCIDADES MÁXIMAS

D1. Velocidad límite legal máxima

Corresponde a las establecidas en las leyes de Tránsito. Para el caso de vías en zona rurales, la velocidad máxima se define según lo indicado en la *Tabla 3.1_79*. En cualquier caso, primará la Ley de Tránsito vigente a la fecha de su utilización.

Tabla 3.1_79. VELOCIDAD LÍMITE LEGAL MÁXIMA EN VÍAS INTERURBANAS

Tipo de Vehículo	Máxima Velocidad Límite Legal
Vehículos livianos de menos de 3.860 Kg, de peso bruto	Vías unidireccionales 100 Km/h
	Vías Bidireccionales 100 Km/h
Ómnibus Interurbanos	Vías unidireccionales 100 Km/h
	Vías Bidireccionales 100 Km/h
Vehículo de Transporte Escolar	Vías unidireccionales 90 Km/h
	Vías Bidireccionales 90 Km/h
Camiones 2 ejes y buses no interurbanos de más de 3.860 Kg.	Vías unidireccionales 90 Km/h
	Vías Bidireccionales 90 Km/h
Camiones de más de 2 ejes	Vías unidireccionales 90 Km/h
	Vías Bidireccionales 90 Km/h

Para el caso de vías urbanas, el límite de velocidad es de 50 km/h para vehículos livianos y para vehículos de transporte escolar, ómnibus y camiones.

Estas velocidades límites legales, se asumen válidas en todos aquellos sectores de las vías donde no existe señalización explícita que indique lo contrario.

VER: Gráfico 101 (FORMULARIO DE DATOS ESTUDIO DE VELOCIDADES (1)) (Ver Anexo IV) Gráfico 102 (FORMULARIO DE DATOS ESTUDIO DE VELOCIDADES (2)) (Ver Anexo IV).

D2. Velocidad límite legal señalizada

Corresponde a la señal vertical reglamentaria, instalada en un camino o carretera, que indica al conductor la velocidad máxima permitida para circular. Como regla general la Velocidad Límite Legal Señalizada es la Velocidad Límite Legal Máxima, salvo en aquellos sectores en que ha sido modificada por aspectos de operación o diseño, y respaldada mediante los estudios de velocidad contemplados en la normativa vigente, según corresponda.

D3. Modificaciones de velocidad máxima

De ser necesario introducir modificaciones al diseño vial de la infraestructura existente, de manera que la Velocidad de Operación y la Velocidad de Proyecto sean equivalentes, se debe evaluar el tipo de modificación más adecuado de acuerdo a las características de la vía, de los sectores próximos al tramo en estudio, de los volúmenes de tránsito y de su composición, de su régimen de operación relevante (de paso o de accesibilidad), de su entorno (netamente interurbano, semi urbano, urbano) y del uso de suelo.

Se tienen dos tipos de modificación posibles:

- Mejoramiento del diseño vial de manera de aumentar la Velocidad de Proyecto y hacerla equivalente con la Velocidad de Operación
- Cambios en el diseño vial de manera de disminuir la Velocidad de Operación y hacerla equivalente con la Velocidad de Proyecto

D.3.1. Rediseño vial para aumentar la velocidad

Se entienden como medidas de mejoramiento del diseño vial, a todas aquellas modificaciones tendientes a mejorar los parámetros de diseño geométrico, de pavimentos, de iluminación u otros; que de acuerdo con las instrucciones de diseño contenidas en el *Capítulo 1 (Geometría Vial) Secciones 201 y 301*, resulten en un aumento de la Velocidad de Proyecto.

Se tomarán medidas técnica y económicamente factibles de mejoramiento del diseño vial, en alguna de las siguientes situaciones:

- Cuando el tramo de vía en estudio represente una restricción de diseño geométrico, en relación con los sectores próximos a éste. Es decir, una singularidad que afecta la operación de los vehículos.
- Cuando la Velocidad de Proyecto del tramo en estudio, esté determinada por condición de distancia de visibilidad en planta, la cual puede ser mejorada mediante despejes laterales.

D.3.2. Rediseño vial para disminuir la velocidad

Hay investigaciones que indican que la Velocidad de Operación asumida por los usuarios de una vía, depende de la interpretación de las condiciones operacionales de la vía. No debe esperarse que la sola limitación legal o la señalización reduzcan la Velocidad de Operación, si los conductores perciben que pueden circular a una velocidad mayor. Cualquier característica geométrica que aumente en los conductores la percepción de riesgo resultará en una reducción de velocidad.

E. DEFINICIÓN DE VELOCIDADES MÍNIMAS

En el presente tópico, se definen ciertos criterios para determinar velocidades mínimas en las situaciones que se indican. Es importante destacar que siempre que se pretenda establecer una velocidad mínima en una vía, se deberá efectuar un Estudio Técnico que la justifique.

La eventual definición de una velocidad mínima podrá ocurrir preferentemente en carreteras con calzadas independientes unidireccionales, con al menos 2 carriles de circulación, dónde sólo en el segundo carril de la vía (carril de adelantamiento principalmente) se podrá aplicar esta condición.

Eventualmente, esta medida podría aplicarse también en un camino o tramo de éste, aunque sea bidireccional.

También podrá aplicarse en carreteras de doble calzada y 2 carriles de circulación por sentido (separados por un cantero central) y que tengan una Velocidad de Operación mayor o igual a 100 Km/h siempre que la pendiente o gradiente máxima sea de 3%.

A su vez, las velocidades mínimas que se pudieren reglamentar, dependerán de la velocidad máxima permitida para la vía, de acuerdo a lo propuesto en la siguiente Tabla:

Tabla 3.1_80. VELOCIDAD MINIMA A ADOPTAR

Velocidad Máxima km/h	Velocidad Mínima km/h
80	40
90	50
100	60
110	60
120	70

De acuerdo a lo indicado anteriormente, para definir una Velocidad Mínima se deberá presentar un Estudio que respalde la factibilidad técnica de dicha medida. Los alcances mínimos que se deberán abordar en estos estudios son los siguientes:

- Analizar el cambio en el Nivel de Servicio de la vía en las situaciones actual y con introducción (o eliminación) de la reglamentación de Velocidad Mínima.
- Efectuar un análisis de origen/destino de la vía que se somete a una restricción de veloci-

dad, de forma de mantener la conectividad de todos los usuarios de la vía. Este análisis se debe efectuar para todos los usuarios actuales de la vía y los posibles potenciales.

- Análisis y descripción de los elementos geométricos de la vía involucrados en el sector a restringir.
- Describir la forma de implementar la restricción en la vía.
- Indicar los recursos necesarios para fiscalizar el cumplimiento de la restricción a aplicar.

F. METODOLOGÍA DE ESTUDIO DE VELOCIDAD EN VIAS RURALES

Una vía rural es aquella emplazada en zonas rurales, que son las áreas geográficas que excluyen las zonas urbanas. También se conocen como vías interurbanas.

F1. Situaciones posibles

Se pueden presentar dos tipos de situaciones en que se requiera cambios de velocidad máxima (Respecto a la velocidad límite legal establecida), los cuales se indican a continuación.

Caso 1: Señales existentes que definen una velocidad límite inferior a 100 Km/h, en el caso de vías de calzadas independientes con 2 o más carriles de circulación por sentido.

Caso 2: Situaciones en que las condiciones del diseño vial y de la Velocidad de Operación de los vehículos permiten considerar aumentar la velocidad de 100 Km/h en el ámbito interurbano.

F2. Procedimiento

En términos generales, las decisiones de modificación de velocidad límite legal o de Velocidad de Operación se podrán comprobar midiendo la Distancia de Visibilidad a los puntos conflictivos (lugares de cruces de peatones, accesos desde vías secundarias o desde una propiedad, puntos de giro, etc.), según lo indicado y estudiando estadísticas de accidentes o conflictos de tránsito.

El principio general a aplicar es que las limitaciones legales de velocidad (velocidad límite legal) que se adopten deben ser concordantes con la velocidad de diseño según la jerarquía de la vía y el nivel de accidentes registrados. Al mismo tiempo y, como consecuencia de lo anterior, en general todo cambio de velocidad límite debe ir apoyado por un rediseño parcial o total, acorde a esa situación específica.

Los pasos a seguir para cada uno de los casos del *numeral 3.1.1.10.2. (F.1)*, se indican a continuación:

Caso 1: Señales existentes que definen una velocidad límite inferior a 100 (según el tipo de vía) en un ámbito rural. Se debe revisar la velocidad de diseño que le corresponde a la vía en estudio de acuerdo con su jerarquía y compararla con la velocidad límite legal existente.

En *Tabla 3.1_ 77* se indican las velocidades equivalentes.

En este caso, es posible:

Que ambas velocidades sean equivalentes, lo cual significa que no correspondería realizar cambios en la velocidad límite legal. Sin embargo, debe medirse la Velocidad de Operación.

Si ésta resulta superior a la velocidad límite legal, considerando el rango de equivalencia, significa que se debe modificar el diseño de la vía o del tramo afectado, o colocar los elementos que correspondan con el objeto de disminuir la Velocidad de Operación hasta alcanzar la velocidad límite legal señalizada.

Que ambas velocidades sean distintas, lo cual puede conducir a dos situaciones:

Que la velocidad límite legal sea mayor que la velocidad que define la jerarquía por lo que esa debe adecuarse, disminuyéndola hasta la velocidad de diseño. Al igual que en el caso anterior, debe medirse la Velocidad de Operación y si resulta superior a la velocidad límite legal modificada, debe adecuarse el diseño vial a las nuevas condiciones de operación, a través de medidas reductoras con el objeto de disminuir la Velocidad de Operación hasta alcanzar la nueva velocidad límite legal.

Que la velocidad límite legal sea inferior a la que define su nivel jerárquico, por lo que ésta debe aumentarse hasta igualar la velocidad de diseño, siempre y cuando el número de accidentes registrados no supere los 2 accidentes por kilómetro móvil en vías rurales, independiente del lapso transcurrido entre los accidentes (período razonable). En todo caso, debe medirse la Velocidad de Operación y si ésta es superior a la de su jerarquía, debe rediseñarse la vía con el objeto de disminuir su Velocidad de Operación hasta la nueva velocidad límite legal.

Caso 2: Situaciones en que las condiciones del diseño vial y de la Velocidad de Operación de los vehículos permiten elevar la velocidad de 100 Km/h. En este caso, las mediciones de Velocidad de Operación y la tasa de accidentes deben ser los elementos fundamentales de apoyo. Si la Velocidad de Operación es mayor que la velocidad límite legal, esta última debe aumentarse hasta el máximo posible permitido por su jerarquía, siempre y cuando el número de accidentes registrados en la calzada analizada (Ambos sentidos si es bidireccional) no supere los 2 accidentes por kilómetro (sin límite de tiempo, período razonable); en caso contrario, el aumento de velocidad sólo puede llevarse a cabo si conjuntamente se adoptan medidas que reduzcan los accidentes. Si la Velocidad de Operación sigue siendo superior, se deberán adoptar medidas de diseño vial que sean consistentes con la velocidad límite que finalmente se adopte.

Los análisis de accidentes en ambos casos, se realizan independiente del sentido de tránsito.

F3. Situaciones especiales de restricción de velocidad

Existen situaciones, (en que se requiere restringir la velocidad límite legal máxima), generadas por las condiciones de operación especial que tenga el entorno de la vía, cuyas limitaciones más características hacen referencia a la presencia de peatones en las cercanías o sobre la calzada del camino. En general, debiera suponerse que, de existir peatones, la vialidad ha sido diseñada considerando sus desplazamientos. En estos entornos, la velocidad de los vehículos deja de ser determinada directamente por la velocidad de diseño, pasando a depender de la vulnerabilidad y fragilidad que presentan los peatones bajo esas circunstancias.

Por otra parte, las condiciones de operación están íntimamente ligadas con la jerarquía de una ruta o camino. La jerarquía de una ruta es una característica que varía acorde a la función de la vía, definiéndose básicamente por las variables de accesibilidad y movilidad que ofrece el camino. Debe tenerse presente ciertas condiciones especiales del entorno, como notoria presencia de maquinaria agrícola, cruce de animales, área de venta de productos al costado de un camino, ciclistas, puntos singulares, etc.

En la Tabla 3.1_ 81 se proponen a modo de referencia, restricciones de velocidad en la operación de un camino para algunas situaciones especiales, sin embargo, éstas deben ser respaldadas por el Estudio de Velocidades correspondiente.

Tabla 3.1_81. VELOCIDAD MÁXIMA PROPUESTA PARA OPERACIÓN DE LA VÍA (km/h)

Tipo de vía	Presencia de peatones o Ciclistas	Cruce de Animales	Tránsito de Maquina- ria agrícola
Autopistas	-	-	-
Primarias	50	80	80
Colectoras	50	80	80
Locales	50	50	50
De Desarrollo	50	-	-

(*) El MOPC deberá tomar las medidas necesarias para que estos usuarios no circulen por los carriles para vehículos motorizados, debiendo proveer de las ciclovías que correspondan.

Para caminos locales y de desarrollo no se requiere efectuar estudios específicos de velocidad máxima, la cual será propuesta acorde a las condiciones mismas de la vía. En el resto de las vías deberán efectuarse los estudios pertinentes, considerando las instrucciones vigentes al respecto.

G. METODOLOGÍA DE ESTUDIO DE VELOCIDAD EN VÍAS URBANAS

Una vía urbana es aquella emplazada en zonas urbanas, que son las áreas geográficas cuyo límite es determinado y señalado por los Municipios.

G1. Situaciones posibles

Se pueden presentar dos tipos de situaciones en que se requieran cambios de velocidad máxima (respecto a la velocidad límite legal establecida), los cuales se indican a continuación:

Caso 1: Señales existentes que definen una velocidad límite inferior a 60 m/h.

Caso 2: Situaciones en que las condiciones del diseño vial y de la Velocidad de Operación de los vehículos permiten elevar la velocidad de 60 Km/h.

G2. Procedimiento

En términos generales, las decisiones de modificación de velocidad límite legal o de Velocidad de Operación se podrán comprobar midiendo la Distancia de Visibilidad de Frenado a los puntos conflictivos (lugares de cruces de peatones, accesos desde vías secundarias o desde una propiedad, puntos de giro, etc.) y estudiando estadísticas de accidentes o conflictos de tránsito.

El principio general a aplicar es que las limitaciones legales de velocidad (velocidad límite legal) que se adopten, deben ser concordantes con la velocidad de diseño según la jerarquía de la vía y el nivel de accidentes registrados.

Al mismo tiempo y como consecuencia de lo anterior, en general todo cambio de velocidad límite debe ir apoyado por un rediseño parcial o total acorde a esa situación específica.

Los pasos a seguir para cada uno de los casos del numeral 3.1.1.10.2. (G.1) se indican a continuación:

Caso 1: Existiendo señales que definen una velocidad límite inferior a 60 Km/h en un ámbito urbano, se debe revisar la velocidad de diseño que le corresponde a la vía, de acuerdo con su jerarquía y compararla con la velocidad límite legal existente.

En la *Tabla 3.1_77* se indican las velocidades equivalentes.

En este caso, es posible:

Que ambas velocidades sean equivalentes, lo cual significa que no corresponde realizar cambios en la velocidad límite legal. Sin embargo, debe medirse la Velocidad de Operación. Si ésta resulta superior a la velocidad límite legal considerando el rango de equivalencia, significa que se debe modificar el diseño de la vía o del tramo afectado con el objeto de disminuir la Velocidad de Operación hasta alcanzar la velocidad límite legal señalizada.

Que ambas velocidades sean distintas, lo cual puede conducir a dos situaciones:

Que la velocidad límite legal sea mayor que la velocidad que define la jerarquía, por lo que esa debe adecuarse, disminuyéndola hasta la velocidad de diseño. Al igual que en el caso anterior, debe medirse la Velocidad de Operación y si resulta superior a la velocidad límite legal modificada, debe adecuarse el diseño vial a las nuevas condiciones de operación, a través de medidas reductoras, con el objeto de disminuir la Velocidad de Operación hasta alcanzar la nueva velocidad límite legal.

Que la velocidad límite legal sea inferior a la que define su nivel jerárquico, por lo que ésta debe aumentarse hasta igualar la velocidad de diseño, siempre y cuando el número de accidentes registrados en la calzada del tramo analizado (ambos sentidos si es bidireccional) no supere los 4 accidentes (sin límite de tiempo, período razonable). En todo caso, debe medirse la Velocidad de Operación y si ésta es superior a la de su jerarquía, debe rediseñarse la vía con el objeto de disminuir su Velocidad de Operación hasta la nueva velocidad límite legal.

Caso 2: Pueden existir situaciones en que las condiciones del diseño vial y de la Velocidad de Operación de los vehículos permiten elevar la velocidad de 60 Km/h. En este caso, las mediciones de Velocidad de Operación y la tasa de accidentes deben ser los elementos fundamentales de apoyo. Si la Velocidad de Operación es mayor que la velocidad límite legal, esta última debe aumentarse hasta el máximo posible permitido por su jerarquía, siempre y cuando el número de accidentes registrados en la calzada del tramo analizado (ambos sentidos si es bidireccional) no supere los 4 accidentes en vías urbanas (sin límite de tiempo, período razonable) en caso contrario, el aumento de velocidad sólo puede llevarse a cabo si conjuntamente se adoptan medidas que reduzcan los accidentes.

Si la Velocidad de Operación sigue siendo superior, se deberán adoptar medidas de diseño vial que sean consistentes con la velocidad límite que finalmente se adopte.

Los análisis de accidentes en ambos casos, se realizan independiente del sentido de tránsito

G3. Situaciones especiales de restricción de velocidad

Existen situaciones urbanas especiales, que por condiciones fundamentalmente del entorno de la vía, requieren restringir la Velocidad Límite Legal Máxima; para lo cual se necesita disponer de los respaldos correspondientes, según los estudios de velocidades específicos.

En una zona urbana, la velocidad límite legal máxima, en ausencia de cualquier otra señal, es de 40 Km/h velocidad que puede llegar a ser reducida a 20 Km/h mediante un estudio de velocidades que así lo indique.

No obstante, lo anterior basado en la normativa vigente, se debe considerar las siguientes restricciones:

- 50 Km/h en las proximidades de recintos escolares (Para optar a velocidades menores, debe efectuarse el estudio de velocidades correspondiente).

- 20 Km/h cuando exista presencia de niños jugando en la calzada.

Otras situaciones que pueden requerir restricciones de velocidad se refieren a vías donde haya una notoria presencia de peatones y ciclistas; para lo cual se deben seguir las indicaciones señaladas, como también contar con el estudio de velocidades correspondiente.

3.1.1.10.3. ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD

A. ASPECTOS GENERALES

Una elevada velocidad del flujo vehicular en sectores poblados, contribuye a incrementar el riesgo de accidentes, especialmente los atropellos. La velocidad influye, no sólo en la probabilidad de los accidentes, sino también en la severidad de éstos, existiendo teóricamente, un potencial aumento de seguridad producto de la reducción de las velocidades.

B. ALCANCE NORMATIVO

Si bien no se cuenta con leyes que rigen a los elementos reductores de velocidad, en éste y en otros Volúmenes de Manuales Técnicos, se indican ciertas disposiciones al respecto.

Los elementos reductores de velocidad corresponden a dispositivos cuya función es lograr una efectiva reducción en la velocidad de los vehículos motorizados que transitan por un determinado tramo o sector de una vía.

El requisito básico de estos elementos es lograr su propósito sin poner en riesgo la seguridad de los usuarios que se pretende proteger.

C. CAMPO DE APLICACIÓN

El campo de aplicación corresponderá a todas aquellas vías que requieran introducir cambios en su infraestructura, tendientes a reducir la velocidad de operación en ellas. Esto podrá ser en un sector puntual o en un tramo de la vía.

Según lo anterior se podrán aplicar dos grupos genéricos o familias de elementos reductores de velocidad; los elementos reductores “Puntuales”, y los de “Tramo”.

En la familia de elementos reductores puntuales se tienen los siguientes tipos:

- Lomada pavimentada.
- Lomada no pavimentada.
- Estrechamiento puntual de carril.

En la familia de los elementos reductores de tramo, se tienen los siguientes tipos:

- Disminución de anchos de carriles.
- Cambios de alineamiento en planta.
- Baterías de bandas reductoras de velocidad.
- Aumentos de textura superficial de pavimentos.
- Cambios de pigmentación superficial de pavimentos.

D. TIPOS DE ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD

Según la clasificación antes señalada, a continuación, se describen las características operativas y funcionales de dichos dispositivos.

D1. Elementos reductores de velocidad puntuales

Corresponden a dispositivos que, dispuestos puntualmente en una vía, su función principal está orientada a la reducción de la velocidad de operación de los vehículos.

D.1.1. Lomadas Pavimentadas

» *i. Características físicas*

Las lomadas pavimentadas, corresponden en cuanto a geometría, materiales, disposición y elementos complementarios de señalización a los especificados en los Dispositivos de control de tránsito.

» *ii. Recomendaciones de aplicación*

Las lomadas pavimentadas se aplicarán en vías pavimentadas de máximo dos carriles tanto bidireccionales como unidireccionales, a fin de reducir la velocidad de los vehículos motorizados a valores en torno a los 30 Km/h.

Es recomendable su aplicación tanto en vías rurales como urbanas, en los siguientes casos:

- Zonas pobladas.
- Zonas de escuela.
- Zonas de actividad comercial.
- Previo a pasos peatonales.
- Cercanías a ciertos cruces a nivel.
- Zonas de juego infantil.

Su uso es para vías hasta 60 Km/h, por lo cual no se puede utilizar en carreteras (autopista, multicarril, bidireccionales).

En los casos anteriores considerando que la tendencia de los conductores es a aumentar su velocidad inmediatamente si las condiciones viales lo permiten; sectores con buena visibilidad de ser necesario de acuerdo a lo observado en terreno, se deber repetir la instalación de estos elementos acorde a esa situación específica.

» *iii. Esquema general de instalación*

Estos elementos, sólo se podrán instalar si previamente se ha colocado la señalización y dispositivos de advertencia de su proximidad y lo indicado en el *Gráfico 104*.

D.1.2. Resalto no pavimentado

» *i. Características físicas*

Los resaltos no pavimentados, se refieren a aquellos confeccionados en rutas no pavimentadas, corresponderán en cuanto a geometría, materiales, disposición y elementos complementarios de señalización y a lo especificado en la presente sección

» *ii. Recomendaciones de aplicación*

Los resaltos no pavimentados, se aplicarán en vías no pavimentadas, tanto bidireccionales, como unidireccionales, en sectores en que se requiera reducir, de manera permanente, la velocidad de los vehículos motorizados, a magnitudes en torno a los 20 Km/h.

Es recomendable su aplicación tanto en vías rurales, como en urbanas, en los siguientes casos:

- Zonas pobladas.

- Zonas de escuela.
- Zonas de actividad comercial.
- Previo a pasos peatonales.
- Cercanías a ciertos cruces a nivel.
- Zonas de juegos infantiles.

En algunos casos especiales, puede ser necesario repetir la instalación de estos elementos acorde a esa situación específica.

» *iii. Esquema general de instalación*

Estos elementos, sólo podrán ser instalados si previamente se ha colocado la señalización y dispositivos de advertencia de proximidad, según lo especificado en los *Gráficos 105 y 106*.

D.1.3. Estrechamiento puntual de carril

La solución consiste en producir el estrechamiento puntual del carril de circulación, mediante el empleo de cordones, delineadores de calzadas y delineadores direccionales, en rutas viales con Velocidad de Operación menor o igual a 60 Km/h.

En carácter referencial, en la *Tabla 3.1_ 82*, se indica una longitud recomendada, según el estrechamiento que se requiera.

Tabla 3.1_82. LONGITUD DEL ESTRECHAMIENTO EN FUNCION DE LA VELOCIDAD

V (Km/h)	A (m)							
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
D (m)								
40	10	10	10	10	10	10	10	15
50	10	10	10	10	15	20	25	30
60	20	20	20	25	30	35	40	45

Donde:

D: Longitud de estrechamiento en metros

A: Dimensión del estrechamiento en metros

V: Velocidad máxima permitida en Km/h

Complementariamente, tanto en casos de vías bidireccionales como unidireccionales, se deberán colocar tachones reflectantes o cordones montables en el eje de la calzada o separación de carriles, en una extensión similar a la longitud de los estrechamientos, según se señala en el *Gráfico 103 (LONGITUD DE ESTRECHAMIENTO) (Ver Anexo IV)*.

Estos reductores de velocidad se aplicarán en vías pavimentadas, tanto bidireccionales, como unidireccionales, en sectores en donde se requiera reducir la velocidad de los vehículos motorizados.

Los delineadores utilizados corresponden a delineadores direccionales para 60 Km/h.

VER Anexo IV:

Gráfico 104 (ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD LOMADAS PAVIMENTADAS)

Gráfico 105 (ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD LOMADAS NO PAVIMENTADAS)

Gráfico 106 (ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD LOMADAS NO PAVIMENTADAS ZONA DE RESIDENCIA PEATONAL)

D2. Elementos reductores de velocidad de tramo

Corresponden a dispositivos que dispuestos en una extensión o tramo de una vía, logran reducir la velocidad de los vehículos a valores del orden de los 50 ó 60 Km/h, según se requiera.

D.2.1. Bandas transversales vibratorias

Corresponde a una serie de bandas transversales de dimensiones y espaciamientos variables, diseñados para causar ruido y vibración intermitente en los vehículos que pasan sobre ellas.

» i. Características físicas

Los reductores de velocidad del tipo bandas transversales vibratorias, corresponderán en cuanto a geometría, materiales, disposición y elementos complementarios de señalización, a lo especificado en la presente sección.

» ii. Recomendaciones de aplicación

Estos reductores de velocidad se aplicarán en vías pavimentadas exclusivamente de tránsito unidireccional de altos niveles de flujo, tales como carreteras principales y colectores, en sectores en donde se requiera reducir la velocidad de los vehículos motorizados a valores en torno a los 60 Km/h.

Es recomendable su aplicación, tanto en vías rurales como urbanas en los siguientes casos:

- Previo a zonas de peaje.
- Previo a zonas de geometría restrictiva.
- Zonas pobladas.
- Zonas de escuela.
- Zonas de actividad comercial.
- Previo a pasos peatonales del tipo Paso Cebra.
- Zonas de juegos infantiles.

En los casos anteriores, considerando que la tendencia de los conductores es a aumentar su velocidad si las condiciones viales lo permiten (sectores con buena visibilidad) en cada una de las zonas señaladas anteriormente, de ser necesario, se deberá repetir la instalación de estos elementos, cada 200 m como máximo.

Previo a la adopción conceptual de este dispositivo, en cada caso particular que se estudie, deberán evaluarse las implicancias ambientales en lo relativo al ruido generado por estos dispositivos.

» iii. Esquema general de instalación

El esquema general de instalación se puede observar en el Gráfico 107. Estos elementos, no requerirán de señalización y dispositivos de advertencia de proximidad, sólo se deberá informar al usuario la proximidad del sector de velocidad restringida.

D.2.2. Demarcación de bandas transversales en pavimentos

Corresponden a tramos continuos en los que se incorporan líneas o bandas transversales de color amarillo o blanco, con microesferas de vidrio, sobre la superficie de pavimento, en una extensión de 400 metros. El espacio entre cada banda se va reduciendo progresivamente al aproximarse a la zona de restricción, generando en el conductor una sensación de gran velocidad, lo cual lo induce a reducir su velocidad de circulación.

» *i. Características físicas*

Los reductores de velocidad del tipo “Demarcación de Bandas Transversales en Pavimentos” corresponderán en cuanto a geometría, materiales, disposición y elementos complementarios de señalización, a lo especificado en la presente sección.

» *ii. Recomendaciones de aplicación*

Estos reductores de velocidad se pueden aplicar en vías pavimentadas, tanto bidireccionales, como unidireccionales, principalmente interurbanas de alta velocidad y altos niveles de flujos, en sectores en donde se requiera reducir, de manera permanente, la velocidad de los vehículos motorizados a valores entorno de los 80 Km/h.

Se recomienda su uso previo a estaciones de control de peaje y al aproximarse a cruces a nivel.

» *iii. Esquema general de instalación*

El esquema general de instalación se puede observar en *Gráfico 108*. Estos elementos, no requerirán de señalización y ni dispositivos de advertencia de proximidad, sólo se deberá informar al usuario la proximidad del sector de velocidad restringida.

D.2.3. Lomadas

Corresponde a uno de los más eficientes dispositivos reductores de velocidad, permitiendo disminuir el flujo vehicular a rangos de 20 a 30 Km/h.

D.2.4. Bandas alertadoras

Corresponden a dispositivos que actúan en forma similar a las bandas transversales vibratorias. Corresponden a una franja dentada instalada en forma agrupada, lo que produce un efecto sonoro y vibratorio.

D.2.5. Tramos de estrechamiento de carriles

La solución consiste en producir un tramo de estrechamiento en los carriles de circulación mediante el empleo de demarcación, tachones o hitos delineadores.

Estos reductores de velocidad se aplicarán fundamentalmente en vías pavimentadas unidireccionales.

Esta solución requiere de la colocación de dispositivos de advertencia, según se indica en el presente volumen.

De acuerdo a las condiciones de terreno, y a la diferencia de velocidades que se quiere conseguir, se deberá determinar la longitud de estrechamiento, según el ancho de éste que se haya definido.

VER Anexo IV:

Gráfico 107 (ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD BATERÍAS DE BANDAS TRANSVERSALES VIBRATORIAS)

Gráfico 108 (ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD DEMARCACIÓN DE BANDAS TRANSVERSALES)

Gráfico 109 (ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD TRAMOS DE ESTRECHAMIENTO DE CARRILES DEMARCACIÓN Y TACHONES)

Gráfico 110 (ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD TRAMOS DE ESTRECHAMIENTO DE CARRILES DEMARCACIÓN E HITOS DELINEADORES (TUBULARES))

3.1.1.10.4. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN

A. ASPECTOS GENERALES

La interacción del flujo vehicular con un acceso sorpresivo a la vía de peatones, ciclistas y animales, generan una alta probabilidad de accidentes, existiendo teóricamente un potencial mayor de riesgo para todos los usuarios.

Considerando que esta interacción no es posible eliminar, en esta sección se indican y describen los elementos de protección que permitan una adecuada seguridad en el control de accesos

B. ALCANCE NORMATIVO

Si bien no se cuenta con leyes que rigen a los elementos de protección, se entenderá como normativa al respecto, lo indicado en este y otros Volúmenes de Manuales Técnicos.

Corresponden a estructuras dispuestas en un camino para cumplir la función de controlar el acceso de ciclistas, peatones y animales; como también de proyectiles que pudieran ser lanzados a la calzada de una vía y poner en riesgo la seguridad de los usuarios de ésta, especialmente del flujo vehicular que se desplaza a mayor velocidad.

El requisito básico de estos elementos, es lograr su propósito sin poner en riesgo la seguridad de los usuarios que se pretende proteger

C. CAMPO DE APLICACIÓN

El campo de aplicación corresponderá a todas aquellas vías que requieran introducir en su operación estos elementos, tendientes a disminuir la probabilidad de ocurrencia de interacción en la calzada, entre el flujo vehicular y circunstancias ajenas al uso normal de la vía. Algunos de estos elementos de control, son tratados en la presente sección, siendo los siguientes:

- Vallados de Control para Pasarelas.
- Vallados de Control para Pasos Inferiores.
- Vallados de Control en Sectores de Corte y Trincheras Abiertas en Zonas Pobladas.
- Elementos de Control de Paso de Animales.
- Cercos.

D. TIPOS DE ELEMENTOS DE PROTECCIÓN

D1. Elementos de Protección para el control en pasarelas

Corresponden a elementos destinados a impedir el lanzamiento de objetos desde pasarelas peatonales incluyendo sus rampas de acceso, que podrían poner en riesgo la seguridad de la operación vial dentro de la calzada.

Estos elementos de control deberán ser instalados en todo tipo de pasarelas peatonales, independiente de la categoría de la vía.

D2. Elementos de Protección para el control en pasos a desnivel

Corresponden a elementos destinados a impedir el lanzamiento de objetos hacia los carriles de circulación de la vía principal, desde estructuras de pasos superiores correspondientes a vías secundarias (incluyendo sus caminos de acceso), que cruzan fundamentalmente Autopistas, Multicarriles y Carreteras Primarias en sectores poblados, que se emplazan en zonas urbanas o rurales.

D3. Elementos de Protección para el control en zonas de corte y trincheras en áreas pobladas

Corresponden a elementos destinados a impedir el lanzamiento de objetos hacia los carriles de circulación de una vía, desde zonas superiores de cortes y trincheras fundamentalmente de Autopistas, Multicarriles y Carreteras Bidireccionales, que cruzan sectores poblados emplazados tanto en zonas urbanas como rurales, como también en cualquier otra ruta cuyas características propias así lo recomienden.

D4. Elementos de control de paso de animales

En sectores de la vía donde existen cruces y/o empalmes de caminos de menor categoría, se deberá instalar en los accesos de los predios dedicados a ganadería, estructuras de tipo guardaganados ubicado al nivel de la línea de cercos que delimita la faja fiscal de la vía de mayor categoría.

Corresponden también a puentes enrejados, sobre zanjas o canales que permiten el paso de vehículos, tractores, personas, pero que inhiben el paso de animales, debido a que éstos, captan que sus patas pueden caber por el espacio del enrejado, lo que le produciría una fractura, por lo cual se conocen también con el nombre de “quiebra patas”

D5. Cercos

D.5.1. Funcionalidad

Los cercos tienen la función de delinear la franja de dominio del camino y sirven como una barrera para evitar los ingresos de personas, vehículos o animales a la faja vial. Los cercos según su ubicación, pueden ser de los siguientes tipos:

- Cercos de propiedad.
- Cercos en el cantero central.
- Cercos de control de acceso.

» i. Cercos de propiedad

Corresponden a aquellos cercos que sirven para delimitar la propiedad privada de la pública. Estos cercos son levantados por el propietario o por el Fisco, durante la construcción del camino. La conservación y mantenimiento de ellos es de cargo del propietario. Este tipo de cercos deberán disponerse en las situaciones y condiciones definidas.

» ii. Cercos del cantero central y borde

Son aquellos constituidos por un cerco longitudinal instalado en el cantero central y/o en los bordes de una vía de doble calzada, y están destinados a evitar que se produzcan fundamentalmente cruces de peatones. Este tipo de cercos deberá disponerse en las situaciones y condiciones definidas.

» iii. Cercos de control de acceso

Son barreras físicas destinadas a impedir el paso a las calzadas de una vía de personas, animales, vehículos de tracción humana y vehículos motorizados de carácter local, de

modo de preservar el adecuado funcionamiento de las autopistas, multicarril y caminos primarios. Estos se construyen dentro de la franja de dominio. Este tipo de cercos deberán disponerse en las situaciones y condiciones definidas en volúmenes de Manuales Técnicos, debiendo cumplir con los requerimientos complementarios especificados para las situaciones particulares indicadas en este Párrafo.

D.5.2. Características físicas

Las características físicas de los Cercos de Control de Acceso dependerán del tipo de vía de acuerdo a lo indicado en la *Tabla 3.1_78*, descrita a continuación:

Tabla 3.1_83. TIPOS Y USOS DE CERCOS

Tipos de Cercos (Definiciones en 3.1.1.8.3, punto A)	Usos
5AP-N y 5AP-D	Caminos Colectores, Locales y de Desarrollo
7AP-N y 7AP-D	Caminos Colectores y Bidireccionales con control de acceso
7AM-N y 7AM-D	Autopistas, Multicarril y Bidireccionales con control total de acceso
S.M	Autopistas y Multicarril en zonas de alta densidad poblacional

D.5.3. Recomendaciones de aplicación

Cuando el estudio de velocidad, según el numeral 3.1.1.10.2. (B), identifique zonas de riesgo por presencia potencial de animales que podrían ingresar a la vía, se deberá instalar cercos de control de acceso del tipo 7AM-N y 7 AM-D en zonas rurales y tipo S.M en zonas urbanas independiente de la categoría de la vía.

CAPITULO 3.1.2.

TRABAJOS DE CAMPO

SECCION 3.1.2.1.

GENERALIDADES

3.1.2.1.1. CONTENIDO

La presente guía contiene criterios para la ejecución de los Estudios de Topografía para Carreteras, los cuales deberán ser aplicados como base para los informes a ser realizados por quienes elaboren un Estudio para Caminos o Carreteras emplazados en la República del Paraguay.

3.1.2.1.2. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

A. ESTUDIOS TOPOGRAFICOS

Los Estudios Topográficos, son un conjunto de actividades de campo y gabinete, necesarios para representar gráficamente y a una escala convenida, la topografía de un lugar mostrando su planimetría y altimetría respectivamente. Sobre la topografía deben identificarse los puntos característicos de las obras que existan en el lugar y de las que se proyecten.

Según el propósito, los estudios topográficos pueden ser los que se detallan a continuación:

B. ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PARA CARRETERAS

Son Estudios elaborados para realizar el proyecto preliminar (básico) y para el proyecto a Diseño Final (de detalle), que respectivamente se definen según lo expresado a seguir. Estos Estudios se realizan con el propósito de obtener la información topográfica necesaria para proyectar el camino o carretera y las obras menores y complementarias de drenaje y subdrenaje. Además, se utilizan herramientas complementarias de gabinete, tales como cartografía digital, ortofotocartas y modelos tridimensionales mundiales, especialmente para la selección del itinerario y diseño preliminar. Los estudios topográficos para carreteras se realizan en todas las etapas de un proyecto: planificación, anteproyecto, proyecto y construcción.

B1. Estudios Topográficos para el Diseño Preliminar de la Carretera

Es el conjunto de trabajos planialtimétricos necesarios y georreferenciados a puntos geodésicos de la Red Nacional en una franja de terreno, generalmente con ancho de cincuenta (50) metros a cada lado del eje, según los tipos del terreno y de la carretera por proyectar.

Los datos de la morfología del terreno y otros accidentes topográficos serán los insumos básicos del proyectista para fijar el eje, perfiles y demás elementos de la carretera en su etapa de anteproyecto.

B2. Estudios Topográficos para el Diseño Final de la Carretera

Es el conjunto de trabajos topográficos, fotogramétricos o de sensores remotos necesarios para obtener modelos digitales de terreno (MDT) / modelos digitales de elevación (MDE) georreferenciados al mismo origen o datum del proyecto global de carretera que permiten determinar plantas y perfiles longitudinales, secciones transversales, ejes y otros elementos de la obra vial y de las obras menores de drenaje, con el propósito de proveer al proyectista de la información topográfica que le permita elaborar el diseño ejecutivo de la carretera. Se apoya en los ejes del anteproyecto correspondiente y en los ejes definitivos previamente determinados.

C. ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS DE OBRAS ESPECIALES

Son todos los estudios que se realizan para desarrollar el Proyecto Preliminar (básico) y para el Diseño Final (de detalle), que se realizan con el propósito de obtener la información topográfica necesaria para proyectar una obra especial, tal como un puente, un distribuidor, una estación de peaje o un sitio de descanso entre otras, así como sus obras menores y complementarias de drenaje y subdrenaje. A continuación, se definen estas actividades para ambas etapas de proyecto.

C1. Estudios Topográficos para el Diseño Preliminar de Obras Especiales

Es el conjunto de trabajos planialtimétricos necesarios y georreferenciados a puntos geodésicos de la Red Nacional en un área de terreno, generalmente circunscrito al sitio de la obra y zona de influencia inmediata y secundaria, según los tipos del terreno y de la obra por proyectar.

Los datos de la morfología del terreno y otros accidentes topográficos serán los insumos básicos del proyectista para fijar el eje, perfiles y demás elementos de la obra especial en su etapa de anteproyecto.

C2. Estudios Topográficos para el Diseño Final de Obras Especiales

Es el conjunto de trabajos topográficos, fotogramétricos o de sensores remotos necesarios para obtener modelos digitales de terreno (MDT) / modelos digitales de elevación (MDE) georreferenciados al mismo origen o datum del proyecto global de carretera que permiten determinar plantas y perfiles longitudinales, secciones transversales, ejes y otros elementos de la obra especial, con el propósito de proveer al proyectista de la información topográfica que le permita elaborar el diseño ejecutivo de la misma. Se apoya en los ejes del anteproyecto correspondiente y en los ejes definitivos previamente determinados.

El área de levantamiento topográfico para obras especiales se circunscribe al área de construcción y zona de influencia inmediata y secundaria.

D. DERECHO DE VÍA

Es la franja de terreno de ancho variable entre dos puntos obligados, dentro de la cual es factible hacer la localización de una carretera. Mientras más detallados y precisos sean los estudios básicos para determinar la ruta, el ancho de la franja será identificado con más exactitud. (Catastro de la franja de dominio).

E. EJE PRELIMINAR

Es el eje central del camino, que corresponderá en su mayor parte al eje de la ruta definitiva previamente seleccionada. Esta denominación se asigna al eje preliminar de la carretera o al eje preliminar de cada uno de los diversos elementos de las obras especiales para el diseño preliminar de la carretera.

Se precisa mediante sus puntos característicos, tales como los puntos de intersección de tangentes (PI) y los puntos sobre tangente (PST) que identifican secciones especiales.

F. EJE DEFINITIVO

Es el eje que, después de un análisis de alternativas, se elige como el más conveniente para el camino dentro de la ruta seleccionada para cada uno de los diversos elementos de las obras especiales, y que se determina sobre las plantas topográficas estudiadas para el proyecto definitivo de la carretera.

Se precisa mediante sus puntos característicos, tales como los puntos de intersección de tangentes (PI) y los puntos sobre tangente y curvas que identifican secciones especiales (TS, SC, CC, CS, ST y otros).

G. OBRAS MENORES DE DRENAJE

Son todas aquellas obras transversales necesarias para permitir el paso de corrientes superficiales de agua a través de la carretera, cuyo gálibo horizontal, de acuerdo con el área hidráulica necesaria, sea igual que seis (6) metros o menor, como los tubos de concreto, de lámina corrugada de acero o de algún material sintético; bóvedas de concreto reforzado o de mampostería; cajones y losas de concreto reforzado.

H. OBRAS ESPECIALES

Son aquellos elementos diferentes del camino pero que forman parte integral de la carretera, tales como:

- Distribuidores.
- Intersecciones (cruces carreteros, ferroviarios, peatonales y ganaderos, así como puentes canal y puentes ducto).
- Accesos.
- Casetas de cobro.
- En general, todas las obras para el uso y aprovechamiento del derecho de vía.

La obtención de la información topográfica necesaria para proyectar los puentes, que pudieran considerarse como obras especiales, requiere del procedimiento específico para un estudio hidráulico-hidrológico, y Trabajos de Campo, por lo que está fuera del alcance de esta Guía. Sin embargo, a continuación, se exponen algunos lineamientos generales que deberán ser tomados en consideración a la hora de realizar trabajos topográficos para estudios hidrológicos e hidráulicos.

En general, un estudio hidrológico hidráulico para el diseño de puentes requiere de información cartográfica y topográfica específica:

En primer término, la caracterización de la(s) cuencas hidrográficas de los cauces de agua hasta el punto de salida a través de la plataforma vial, requieren de información cartográfica a escalas adecuadas para el dibujo del contorno de la cuenca y la determinación de sus principales parámetros. Dicha información proviene en general de cartas geográficas digitalizadas y/u ortoimágenes que se procesan con herramientas informáticas adecuadas para el dibujo de cuencas y determinación de sus principales características.

A continuación y con el fin de recopilar datos necesarios para la modelización del cauce y áreas de inundación en las cercanías de un puente, se suelen realizar levantamientos topográficos del cauce y las riberas del curso de agua, implantando un eje estacado en el talweg o en una orilla no inundada. Dicho eje suele instalarse en una longitud aproximada de 2.000 m (1.000 m aguas arriba del sitio de la obra y 1.000 m aguas abajo de la misma).

En general, dicho eje suele estacarse cada 100 m y en cada estaca se suelen medir secciones transversales al cauce hasta una distancia y nivel superior a las marcas máximas de agua, con el fin que el modelo de terreno obtenido permita la simulación del tránsito de avenida a lo largo del sector donde se realiza el levantamiento topográfico antes descrito.

Finalmente y sobre la base de los datos hidrológicos determinados en gabinete y con los datos preliminares de la estructura del puente a diseñar, se procede a realizar una simulación del tránsito de avenidas con períodos de retorno específicos, que servirán de base para determinar las posibles cotas de inundación, afectadas por la presencia de la obra a diseñar, analizando y verificando su comportamiento frente a la avenida de diseño y a la máxima avenida prevista que podría causar daños menores en el puente, con un margen de riesgo controlado y sin afectar su serviciabilidad.

SECCION 3.1.2.2.

REQUISITOS PARA LA EJECUCIÓN DE ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS

Para la correcta elaboración del Estudio Topográfico de una Carretera es necesario contar con lo siguiente:

3.1.2.2.1. ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PARA CARRETERAS

A. ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PARA EL DISEÑO PRELIMINAR DE LA CARRETERA

Para la etapa de diseño Preliminar de la Carretera, se deberá contar básicamente con la siguiente información, debiendo ser la misma correctamente analizada.

A1. Cartas Topográficas

Deberá contarse con cartas topográficas elaboradas por la Dirección del Servicio Geográfico Militar (DISERGEMIL) de la República del Paraguay. Esta información está disponible en escala uno a cien mil (1:100.000) para la Región Oriental, y a escalas 1:100.000 y 1:250.000 para la región Occidental.

Las cartas topográficas deberán cubrir la totalidad de la zona de emplazamiento que abarca la carretera, sobre las cuales se señale el eje preliminar de la carretera.

A2. Plantas topográficas de aerofotogrametría

Para el proyecto preliminar de la carretera se deberá contar con Plantas Topográficas de ortofotocartas digitales en escala 1:5.000 en zonas de cobertura y por defecto 1:25.000, y/o imágenes de satélites con resolución comprendida entre de 1 hasta 5 metros con capas altimétricas de MDE (Modelo Digital de Elevación). Las mismas deben cubrir la totalidad del territorio en la cual se desarrollará la carretera y sobre las cuales se señalen el eje preliminar de la carretera y sus puntos característicos y de control terrestre.

A3. Información documental

Se deberá recolectar toda la información referente a estacas de progresivas y coordenadas de los puntos característicos del eje preliminar de la carretera, así como las identificaciones y coordenadas de los puntos de control terrestre.

B. ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PARA EL DISEÑO FINAL DE LA CARRETERA

Para la etapa de Diseño Final de la Carretera se deberá contar básicamente con la siguiente información, debiendo ser la misma correctamente analizada.

B1. Cartas Topográficas

Deberá contarse con cartas topográficas elaboradas por la Dirección del Servicio Geográfico Militar (DISERGEMIL) de la República del Paraguay. Esta información está disponible en escala uno a cien mil (1:100.000) para la Región Oriental, y a escalas 1:100.000 y 1:250.000 para la región Occidental.

Las cartas topográficas deberán cubrir la totalidad de la zona de emplazamiento que abarca la carretera, sobre las cuales se señale el eje definitivo de la carretera.

B2. Plantas topográficas de aerofotogrametría

Para el proyecto definitivo de la carretera se deberá contar con ortofotocartas Digitales en escala 1:5.000 en zonas de cobertura y en escala 1:25.000 por defecto. Como referencia gráfica también se podrá utilizar cartas topográficas raster georreferenciadas de escala grande y media para la Región Oriental del Paraguay y eventualmente escala media o pequeña en áreas desprovistas de cobertura de cartas a escala mayor.

Los materiales cartográficos mencionados deben cubrir la totalidad del territorio en el que se desarrollará la carretera y sobre los cuales se señalen el eje definitivo de la carretera y sus puntos característicos y de control terrestre.

B3. Planos del perfil del eje preliminar de la carretera

Se deberá contar con los planos del perfil del eje preliminar de la carretera deducido del estudio topográfico para el proyecto preliminar. Estos deberán mostrar la rasante preliminar correspondiente.

Igualmente, en casos especiales si no se cuentan con levantamiento topográfico previo se podrá utilizar MDE / MDT (Modelo Digital de Terreno) de imágenes de satélites de alta resolución espacial, de 1 a 5 metros y en el caso de MDE de SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) se recomienda utilizar de 15 metros.

B4. Información documental

Se deberá recolectar toda la información referente a estacado de progresivas y coordenadas de los puntos característicos del eje definitivo de la carretera, así como las identificaciones, incluyendo en su caso, las de sus respectivas referencias de trazo, longitudes y el azimut de las tangentes, los datos de curvas horizontales circulares y con espirales, las identificaciones y coordenadas de los puntos de control terrestre o de las referencias de nivel (RN) empleadas. Asimismo, se recolectará información sobre obras menores de drenaje propuestas y la sección transversal tipo de la carretera.

B5. Flexibilidad

Cuando así lo apruebe la Dirección de Vialidad del MOPC, el estudio topográfico para Diseño Preliminar podrá efectuarse sin contar con el levantamiento topográfico sólo para proyecto preliminar de la carretera.

El Estudio topográfico podrá basarse en ortofotocartas digitales en Escala 1:5.000 en zonas de cobertura o Escala 1:25.000 por defecto, a los efectos de utilizar capas temáticas como MDE y como marco de georreferencias de imágenes de satélites con resolución de 1 a 10 metros según características de región y morfología del terreno.

Sobre las mismas se señalará el eje definitivo del camino y sus puntos característicos.

3.1.2.2. ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS DE OBRAS ESPECIALES

A. ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PARA EL DISEÑO PRELIMINAR DE OBRAS ESPECIALES

Para el Diseño Preliminar de Obras Especiales de la Carretera, se deberá contar básicamente con la siguiente información, debiendo ser la misma correctamente analizada.

A1. Cartas Topográficas

Deberá contarse con cartas topográficas elaboradas por la Dirección del Servicio Geográfico Militar (DISERGEMIL) de la República del Paraguay. Esta información deberá estar en escala

1:50.000, sobre la que se señalará el área previamente seleccionada donde se proyectará la obra especial.

A2. Plantas topográficas de aerofotogrametría

Para el proyecto preliminar de Obras Especiales se deberá contar con Plantas Topográficas producto de estudios de sensores remotos utilizando imágenes de satélites de 1 a 10 metros de resolución espacial y diseño a escala 1:5.000/5 y con curvas de nivel a cada cinco metros, que comprendan el área previamente seleccionada donde se proyectará la obra especial y sobre las cuales se señalen los vértices del área bajo estudio, así como la configuración posible de la obra especial y los ejes preliminares probables de sus diversos elementos, incluyendo sus puntos característicos.

A3. Información para diseño de Obras Especiales en Carreteras en Construcción

Para carreteras en construcción será necesario contar con la siguiente información la cual deberá ser debidamente analizada.

A.3.1. Plantas topográficas preliminares del Estudio Aerofotogramétrico

Deberá contarse con plantas topográficas producto del estudio de sensores remotos para proyecto preliminar y levantamiento topográfico para el proyecto definitivo, a escala 1:2.000/2 con curvas de nivel cada dos metros, que cubran el subtramo de la carretera para el que se proyectará la obra especial, y sobre las cuales se señalen el eje definitivo del camino y sus puntos característicos así como los puntos de control terrestre o las referencias de nivel (RN) que se hayan empleado, según sea el caso.

A.3.2. Plano del perfil del eje preliminar de la carretera

Para el Diseño de Obras Especiales en construcción se deberá contar con el Plano de Perfil del eje preliminar de la carretera en el subtramo para el que se proyectará la obra especial, deducido del estudio de sensores remotos para proyecto preliminar de la carretera y del levantamiento topográfico para proyecto definitivo que muestre la subrasante preliminar correspondiente.

A.3.3. Planos del perfil preliminar del subtramo de la carretera

Se deberá contar con el Plano en Planta y Perfil preliminar del subtramo perteneciente a la carretera para el que se proyectará la obra especial, donde se muestre la mayor cantidad de datos del sector.

A.3.4. Información documental

Se deberá recolectar toda la información referente a las coordenadas de los vértices del área bajo estudio, así como las estacas de progresivas y coordenadas de los puntos característicos del eje definitivo de la carretera en el subtramo para el que se proyectará la obra especial y de los ejes preliminares probables de sus diversos elementos.

B. ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PARA EL DISEÑO FINAL DE OBRAS ESPECIALES

Para el Diseño Final de Obras Especiales de la Carretera, se deberá contar básicamente con la siguiente información, debiendo ser la misma correctamente analizada.

B1. Cartas Topográficas

Deberá contarse con cartas topográficas elaboradas por la Dirección del Servicio Geográfico Militar (DISERGEMIL) de la República del Paraguay. Esta información deberá estar en escala 1:100.000, o según el caso ortofotocarta en escala 1:25.000, sobre las cuales se señale el área previamente seleccionada donde se proyectará la obra especial.

B2. Plantas topográficas para el Diseño Final de Obras Especiales

Se deberá contar con Plantas Topográficas Aerofotogramétricas o plantas resultado del levantamiento Estudio Topográfico para proyecto final de la obra especial, tomadas a escala uno a mil y con curvas de nivel cada metro (1:1.000/1). Las mismas deben cubrir la totalidad del área previamente seleccionada donde se proyectará la obra especial y sobre las cuales se señalen los ejes definitivos del camino y de los diversos elementos de la obra especial, indicando sus puntos característicos, la probable delimitación del derecho de vía y los puntos de control terrestre o las referencias de nivel (RN) que se hayan empleado, según sea el caso.

B3. Planos del perfil del eje de la Obra Especial

Se deberá contar con los planos del perfil del eje de los diferentes elementos de la obra especial, deducido del levantamiento topográfico. Estos deberán mostrar las rasantes y subrasantes correspondientes.

B4. Información documental

Se deberá recolectar toda la información referente a estacas de progresivas y coordenadas de los puntos característicos de los ejes definitivos de la carretera y de los diversos elementos de la obra especial, incluyendo en su caso, sus respectivas referencias de trazo, longitudes y el azimut de las tangentes, los datos de las curvas horizontales circulares y con espirales, las identificaciones y coordenadas de los puntos de control terrestre o de las referencias de nivel (RN) empleadas, según sea el caso; la relación de las obras menores de drenaje que se propongan y la sección transversal tipo de los elementos de la obra especial.

C. FLEXIBILIDAD PARA EL DESARROLLO DE ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS

Cuando así lo apruebe la Dirección de Vialidad del MOPC, el estudio topográfico para Diseño Preliminar de Obras Especiales podrá efectuarse mediante estudios de sensores remotos, sin embargo, para el Diseño Final será imprescindible contar con el levantamiento topográfico sobre la base de trabajos de campo.

En ambos casos, este estudio podrá basarse en ortofotocartas o imágenes de satélites lo más recientes posible y que sean lo suficientemente confiables, con una escala de edición uno a veinticinco mil (1:25.000) o uno a diez mil (1:10.000) o en imágenes satelitales con 1 a 5 metros de resolución espacial, sobre las mismas se señalará el eje definitivo del camino y sus puntos característicos.

SECCION 3.1.2.3. | EJECUCIÓN DE LOS ESTUDIOS

Además de lo establecido en los anteriores numerales, respecto a los requisitos para los Estudios topográficos, según su propósito el Proyectista deberá realizar las siguientes actividades.

3.1.2.3.1. TRABAJOS PREVIOS

A. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

El Proyectista deberá recopilar toda la información complementaria que pudiera ser de utilidad para la ejecución del estudio, como fotografías aéreas preexistentes, así como cartas topográficas, geológicas, hidrológicas, edafológicas y de uso de suelo, elaboradas por la Dirección del Servicio Geográfico Militar de la República del Paraguay, a una escala uno a cincuenta mil (1:50.000), entre otras fuentes de información que pudieran existir en instituciones gubernamentales y privadas.

B. RECONOCIMIENTO DE CAMPO

Previo estudio de la información disponible a que se refiere el numeral 3.1.2.3.1.(A), el Proyectista deberá efectuar un reconocimiento de campo con el propósito de corroborar dicha información, recabar los datos que sean de utilidad para hacer el estudio y programar los trabajos de campo y en su caso, trabajos aéreos.

3.1.2.3.2. ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PARA CARRETERAS

A. ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PARA DISEÑO PRELIMINAR

A1. GENERALIDADES

La fase de Estudios Topográficos para Diseño Preliminar tiene como fin establecer la información necesaria para la identificación caracterización y selección de la mejor alternativa de paso para unir dos puntos mediante una carretera, en aras de establecer la mejor asignación de recursos públicos en la perspectiva del bienestar económico y social del país.

Para ello se deberán realizar los estudios topográficos de manera que cumplan lo especificado a continuación.

A2. Estudio de Alternativas

Se deberá proponer alternativas de alineamiento geométrico y en base a un estudio técnico y económico analizar cuál de ellas es la más recomendable. En todas las alternativas deberá efectuarse los siguientes trabajos topográficos.

Deberá realizarse levantamientos topográficos de las alternativas propuestas incluyendo la carretera existente en los casos en que no se trate de apertura de vía. Se presentará sobre este estudio topográfico, todos los elementos nuevos necesarios para el anteproyecto en cuestión. La frecuencia de perfiles, puntos de mira, etc. a realizarse, será la necesaria para lograr la precisión requerida a nivel de diseño preliminar (anteproyecto).

El estudio incluirá todos los trabajos topográficos necesarios, para poder presentar en planos las características topográficas del lugar donde se emplazará el proyecto. Este levantamiento será realizado en planta, perfil longitudinal y secciones transversales, en una franja de terreno cuyo ancho mínimo será de 120 metros en terreno llano (60 m a ambos lados del eje de la vía), 100 metros en terreno ondulado (50 m a ambos lados del eje de la vía) y 80 metros en serranías (40 m a ambos lados del eje de la vía), debiendo el Consultor concertar con la Dirección de Vialidad del MOPC el ancho en aquellos lugares especiales donde la topografía del terreno y/o algún otro factor no permitan desarrollar el trabajo en el ancho requerido.

Todo trabajo topográfico deberá estar referenciado al sistema de coordenadas “Transversal de Mercator (UTM), según el Datum WGS-84”. Para realizar esta actividad el Consultor deberá utilizar estación total o antenas GPS y un software que administre la información obtenida en campo. La tolerancia y las normas aplicadas para realizar este trabajo serán las especificadas en los Manuales de Ingeniería: EM-1110-1-1003: “NAVSTAR GLOBAL POSITIONING SYSTEM SURVEYING”; EM-1110-1-1005: “CONTROL AND TOPOGRAPHIC SURVEYING” del Cuerpo de Ingenieros de los EEUU (US Corps of Engineers), 2007, que pueden ser descargados de la página www.usace.army.mil/usace-docs/eng-manuals/.

Las tolerancias de cierre son las siguientes.

Tabla 3.1_84. ESTÁNDARES MÍNIMOS DE PRECISIÓN DE CIERRE PARA LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS DE INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

Clasificación USACE	Tolerancias de Cierre	
	Distancia (proporción)	Ángulo (segundos)
Control (Ingeniería y Construcción)		
Primer Orden	1:100.000	(1)
Segundo Orden, Clase I	1:50.000	
Segundo Orden, Clase II	1:20.000	
Tercer Orden, Clase I	1:10.000	
Tercer Orden, Clase II	1:5.000	
Ingeniería de Construcción (Cuarto Orden)	1:2.500	

(1) Número de vértices.

Fuente: Control and Topographic Surveying. USACE, EM-1110-1-1005, Enero 2007, pág. 4-3.

Tabla 3.1_85. ESTÁNDARES MÍNIMOS DE PRECISIÓN DE CIERRE PARA NIVELACIONES TOPOGRÁFICAS DE INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

Clasificación USACE	Tolerancias de Cierre en Elevación
Control (Ingeniería y Construcción)	mm
Primer Orden	
Segundo Orden, Clase I	
Segundo Orden, Clase II	
Tercer Orden, Clase I	
Tercer Orden, Clase II	
Ingeniería de Construcción (Cuarto Orden)	

= Raíz cuadrada de la distancia en kilómetros.

Fuente: Control and Topographic Surveying. USACE, EM-1110-1-1005, Enero 2007, pág. 4-3.

La poligonal base estará constituida por vértices fijos (monumentados) que serán los puntos de control y cierre de todos los trabajos topográficos que posteriormente se lleven a cabo en

el Diseño Final, estos puntos deberán estar colocados cada 10 Km y los mismos deberán estar debidamente georeferenciados con las especificaciones definidas en el manual de Ingeniería “CONTROL AND TOPOGRAPHIC SURVEYING EM 1110-1-1005” del Cuerpo de Ingenieros de los EEUU.

El Consultor deberá densificar la poligonal base con, puntos georeferenciados que deberán estar ubicados cerca del eje definitivo de la vía, instalando dos puntos adicionales, espaciados cada 5 Km, recomendándose cumplir las especificaciones y procedimientos del manual EM 1110-1-1002 “SURVEY MARKERS AND MONUMENTATION” y “CONTROL AND TOPOGRAPHIC SURVEYING EM 1110-1-1005” del Cuerpo de Ingenieros de los EEUU. Los puntos a cada 5 km deberán ser monumentados con mojones de hormigón empotrados al terreno cumpliendo como mínimo lo exigido para este efecto, por la Dirección de Vialidad del MOPC.

Todos los puntos importantes del eje de diseño y la poligonal de estudio elegida como ser: PI, POT, RN etc., serán debidamente georeferenciados cumpliendo con las especificaciones definidas en los manuales de Ingeniería EM 1110-1-1002 “SURVEY MARKERS AND MONUMENTATION” y “CONTROL AND TOPOGRAPHIC SURVEYING EM 1110-1-1005” del Cuerpo de Ingenieros de los EEUU, los cuales serán graficados en planos con sus correspondientes croquis de ubicación y sus coordenadas absolutas que permita ubicar estos puntos en la etapa de Diseño final.

Para la nivelación el Consultor deberá establecer en los vértices de la poligonal densificada, el nivel de los mismos en concordancia con los establecidos por la Dirección del Servicio Geográfico Militar de la República del Paraguay. La Dirección de Vialidad del MOPC podrá exigir según necesidades u observaciones la construcción de RN's, donde considere necesario.

El Consultor levantará secciones transversales sobre el eje de las alternativas cada 60 metros en tangentes y 20 metros en curvas y en sectores donde la Dirección de Vialidad del MOPC considere necesario, podrá modificar esta precisión. Donde se prevea la construcción de obras de arte mayores y menores, se levantarán secciones adicionales y se referenciarán las zonas con monumentos de hormigón.

Este estudio incluirá también los yacimientos o bancos de préstamo de materiales identificados en el estudio de suelos y materiales, determinando aproximadamente su distancia y posible volumen de explotación.

Los levantamientos topográficos adicionales tendrán por objeto, delimitar el derecho de vía a fin de evaluar aproximadamente las probables expropiaciones, tanto de viviendas como de áreas de cultivo.

Los datos de campo, memorias de cálculo y los planos obtenidos en esta fase deberán presentarse a la Dirección de Vialidad del MOPC.

Los planos de planta, perfil longitudinal y las secciones transversales así como otra información gráfica referida a este punto, deberá también ser presentada a la Dirección de Vialidad del MOPC en memorias magnéticas, en formato compatible con ACAD o MICRO STATION u otra alternativa, previa aprobación de la misma.

Los puntos geodésicos de control utilizados, y los correspondientes elementos del diseño de la carretera, deberán también presentarse en un formato compatible al Arcview, en coordenadas geográficas WGS-84 con la misma precisión que fueron obtenidas en campo.

Sin embargo, para el estudio de alternativas, no así para el diseño preliminar, el Consultor podrá proponer una metodología alternativa, la cual deberá ser aprobada por la Dirección de Vialidad del MOPC.

A3. Valoración de Obras Aledañas

Se deberá efectuar el levantamiento planimétrico necesario para determinar la geometría y ubicación en planta de todas las construcciones; colindancias, postes y cableados; torres de alta tensión; ductos superficiales y subterráneos; ríos, arroyos, canales y otras masas de agua; vías de comunicación y cualquier otro elemento fijo o mejoras que existan dentro de la franja en estudio, los que se incluirán en plantas topográficas, señalando su tipo.

B. ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PARA DISEÑO FINAL

B1. Generalidades

A objeto de realizar un trabajo profesional, los proyectos de carreteras deben cumplir con una serie de parámetros en lo que se refiere al Estudio Topográfico, para que se cumplan adecuadamente con los objetivos y controles de precisión. Lo que lleva a enunciar que sólo con la ejecución de trabajos de topografía de alta precisión y confiabilidad se puede garantizar que se obtendrán los resultados esperados para los fines que se desarrollen.

En este entendido deberán desarrollarse las actividades topográficas con el equipo y los profesionales descritos en los siguientes numerales.

B2. Personal Requerido

Dependiendo de la magnitud, importancia y el plazo previsto para el desarrollo del Estudio de Topografía, se deberá conformar los siguientes grupos de trabajo conformados por una o más brigadas constituidas por el personal descrito en los siguientes numerales.

B.2.1. Jefe del Equipo de Topografía:

Un Ingeniero Civil Especialista en Carreteras y en Estudios Topográficos.

B.2.2. Grupo de replanteo de los puntos base de control:

- Un topógrafo
- Dos ayudantes
- Un chofer

B.2.3. Grupo Puntos de control Vertical y Poligonal Base:

- Un Nivelador
- Dos ayudantes
- Un chofer

B.2.4. Grupo de relleno Taquimétrico:

- Un topógrafo
- Dos ayudantes
- Un chofer

B.2.5. Grupo de levantamiento de zonas de préstamo y sectores de variante:

- Un topógrafo
- Dos ayudantes

- Un chofer

B.2.6. Grupo Procesamiento Topográfico.

- Un Ingeniero Civil especialista en programas de topografía
- Dos procesadores de datos, responsables del área de cálculos y generación de documentos
- Dos dibujantes operadores de CAD, responsables del área de representación gráfica

B3. Equipo Requerido

El equipo necesario para la realización de los trabajos topográficos y de control geométrico deberá ser el que se describe a continuación:

B.3.1. Equipo de Campo

Receptores estación total GPS de doble frecuencia, con las siguientes características:

- Función tiempo real, con combinación de todos los observables GPS (Fase portadora L1 y L2, código P(L1) Código C/A, Código P(L2).
- Número de canales: 12 L1 y 12 L2, rastreo continuo.
- Métodos de observación: Estática, Estática Rápida, Cinemática, Cinemática con inicialización el vuelo, Reocupación, Stop and Go y tiempo real.
- Medición de fase con toda la longitud de onda de las frecuencias L1 y L2.
- Precisión en medición estática: +/- (5+1ppm*D) mm.
- Precisión en medición cinemática: +/- (10+1ppm*D) mm.
- Antenas para Geodesia tipo micro Strip, con plano de tierra integrado.
- Nivel Digital, con las siguientes características:
 - Precisión +/- 1,2 mm. por km en doble nivelación.
- Módulo de registro REC, para almacenamiento de información.
- Lecturas y medición por proceso de imagen, tanto en elevación como en distancia.
- Estación Total, con las siguientes características:
 - Libreta electrónica: Incorporada y Rayos Láser.
 - Alcance: 4.200 m.
 - Precisión lineal: +/- (2+2ppm*D) mm.
 - Precisión angular: +/- 2".
- 301.02.2.(c2) Equipo de Gabinete
- Computadora con microprocesador de 3,2Ghz., Multimedia, H.D. 80,0 GB. 2 GB. en RAM. o superior.
- Computadora Portátil con las mismas características del computador estacional o superior.
- Plotter con impresión en color, con bandeja formato A1.

- Impresora a color, con bandeja formato A2.
- Fotocopiadora B/N y a color, con bandeja formato A2.
- Software para manejo datos Topográficos.
- Software para manejo de gráficos CAD.
- Programas varios de manejo de planillas, cálculo y procesadores de palabras.

B4. Metodología para el Estudio Topográfico

El levantamiento topográfico deberá cumplir las condiciones y características detalladas en las Guías de diseño de carreteras.

El estudio incluirá todos los trabajos topográficos necesarios, para poder presentar en planos las características topográficas del lugar donde se emplazará el proyecto. Este levantamiento será de planta, perfil longitudinal y secciones transversales, en una franja de terreno cuyo ancho mínimo será de 100 metros (50 m a ambos lados del eje de la vía) que permita la representación de la faja de ubicación de la carretera proyectada con todas sus obras, debiendo el Consultor concertar con la Dirección de Vialidad del MOPC el ancho en aquellos lugares especiales donde la topografía del terreno y/o algún otro factor no permitan desarrollar el trabajo en el ancho requerido.

Asimismo, todo el trabajo topográfico deberá estar referenciado al sistema de coordenadas “Transversal de Mercator (UTM), según el Datum WGS-84”. Para realizar esta actividad el Consultor podrá utilizar estación total GPS y/o antenas GPS de doble frecuencia y un software que administre la información obtenida en campo. La tolerancia y las normas aplicadas para realizar este trabajo serán las especificadas en los Manuales de Ingeniería “CONTROL AND TOPOGRAPHIC SURVEYING EM 1110-1-1005”; “NAVSTAR GLOBAL POSITIONING SYSTEM SURVEYING EM 1110-1-1003” del Cuerpo de ingenieros de los EEUU (US Corps of Engineers), que pueden ser descargados de la página www.usace.army.mil/usace-docs/eng-manuals/.

En la alternativa elegida, el Consultor emplazará una poligonal base con pares de puntos intervisibles entre sí, en los que se realizarán lecturas GPS estáticas de alta precisión a cada 10 km, los puntos deberán estar debidamente georeferenciados con las especificaciones definidas en el manual de Ingeniería “GEODETIC AND CONTROL SURVEYING EM 1110-1-1004” del Cuerpo de ingenieros de los EEUU. Los puntos de la poligonal base y las dos referencias que se colocarán en correspondencia con cada punto contarán con monumentos de hormigón empotrados en el terreno.

El Consultor deberá densificar la poligonal base con puntos georeferenciados que estarán ubicados cerca del eje definitivo de la vía, instalando dos puntos adicionales, espaciados como mínimo cada 2 Km, cumpliendo las especificaciones y procedimientos del manual EM 1110-1-1004. Los puntos deberán ser monumentados con mojones de hormigón empotrados al terreno cumpliendo lo exigido para este efecto, por la Dirección de Vialidad del MOPC.

Todos los puntos importantes del eje de diseño y la poligonal en estudio, como ser: PI, POT, etc., serán debidamente georeferenciados con las especificaciones definidas en el manual de Ingeniería “GEODETIC AND CONTROL SURVEYING EM 1110-1-1004” del Cuerpo de ingenieros de los EEUU, los cuales serán graficados en planos con sus correspondientes croquis de ubicación y sus coordenadas absolutas que permita ubicar estos puntos en la etapa constructiva.

El Consultor deberá ubicar y referenciar mediante monumentos de concreto, las referencias de nivel RN (Con dimensiones establecidas en normas) a lo largo del eje proyectado, los cuales deberán estar controlados con RN's establecidos por la Dirección del Servicio Geográfico Militar de la República del Paraguay. Estos monumentos deberán ser colocados cada 500 m, a una distancia transversal del eje que permita su adecuada visibilidad. La Dirección de Vialidad del MOPC podrá exigir si considera necesario la construcción de nuevos RN's o la reposición de

las referencias que no cumplan los requisitos mencionados. En las obras de arte mayores, se deberán poner referencias de nivel auxiliares ubicadas fuera del área de construcción y adecuadamente referenciadas. Finalmente se presentará en los planos su exacta ubicación, los cuales deberán contener como mínimo, croquis de ubicación y las leyendas características de estos puntos.

El Consultor levantará secciones transversales sobre el eje de la alternativa seleccionada cada 20 metros en tangentes y 10 metros en curvas y en sectores donde el ejecutor o la Dirección de Vialidad del MOPC considere necesario, pudiendo modificar esta precisión. Donde se prevea la construcción de obras de arte mayores y menores, se levantarán secciones adicionales y se referenciarán las zonas con monumentos de hormigón.

En aquellos sectores donde el consultor considere la posibilidad de nuevas variantes que salgan de la faja topográfica del proyecto existente, deberá realizar levantamientos topográficos complementarios con la precisión adecuada para el nivel del estudio. Este trabajo incluye una poligonal auxiliar con cierre en el proyecto existente, nivelación trigonométrica, levantamiento altimétrico de faja y todos los otros aspectos mencionados para este tipo de trabajo.

En las obras de arte mayores se deberán poner referencias de nivel auxiliares ubicadas fuera del área de construcción y adecuadamente referenciadas. El ejecutor presentará en los planos, la ubicación exacta, además del siguiente contenido mínimo: croquis de ubicación y las leyendas características de estos puntos.

En el estudio topográfico se verificará la ubicación de los yacimientos o bancos de préstamo de materiales identificados en el estudio de suelos y materiales, determinando distancias al eje proyectado y el volumen potencial del yacimiento a ser explotado. Estos datos deberán ser complementados con planos a escala apropiada y con croquis de ubicación.

Los levantamientos topográficos adicionales tendrán por objeto, delimitar el derecho de vía a fin de evaluar las probables expropiaciones, tanto de viviendas como de áreas de cultivo.

Los datos de campo, memorias de cálculo y los planos obtenidos en esta fase deberán presentarse a la Dirección de Vialidad del MOPC.

Los planos de planta, perfil longitudinal y las secciones transversales, así como otra información gráfica referida a este punto, deberá también ser presentada en memorias magnéticas, en formato compatible con ACAD o MICRO STATION u otra alternativa previa aprobación de la misma.

Los puntos geodésicos de control utilizados, y los correspondientes elementos del diseño de la carretera, deberán también presentarse en un formato compatible al Arcview, en coordenadas geográficas WGS 84 con la misma precisión que fueron obtenidas en campo.

Los trabajos topográficos presentados deberán ser definitivos, por tanto deben ser completos y abarcar todos los elementos que recomienda la práctica aceptada a nivel nacional e internacional y serán presentados con el detalle apropiado en la memoria topográfica y planos.

3.1.2.3.3. ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS PARA OBRAS ESPECIALES

A. ESTUDIOS PARA DISEÑO PRELIMINAR

Se deberá ubicar y estimar las magnitudes de los escurrimientos superficiales y otras masas de agua que crucen o afecten al camino, con base en un análisis de las condiciones topográficas e hidrológicas que se observen durante la ejecución del estudio y dependiendo del tipo y naturaleza de los materiales detectados a lo largo del camino, así como recomendar los puentes que se requieran y proponer el tipo, ubicación y características generales de las obras menores

de drenaje que se estimen necesarias, lo que se incluirá en planos e información documental necesaria.

Para los casos de obras menores de drenaje que se propongan, se deberá tomar los datos del eje del fondo de los cauces, en todo el ancho de la franja en estudio, con el propósito de determinar los perfiles de esos ejes y elaborar los correspondientes perfiles de los cauces. Las escalas para el diseño de obras de drenaje deben ser las mismas tanto en sentido horizontal como en vertical, para evitar distorsiones en la forma de las obras, y evitar problemas durante la ejecución de la construcción. En los planos topográficos en los que se representa la configuración vertical del terreno en dichos ejes, se utilizarán escalas convenientes para mostrar todos los detalles constructivos de cada obra (normalmente 1:200 o 1:100 o escalas más grandes), aunque en el caso de cauces largos o muy inclinados se pueden utilizar escalas menores. Dichos planos se utilizarán para determinar los ejes definitivos de las obras menores de drenaje.

B. ESTUDIOS PARA DISEÑO FINAL

En los sectores de cauce de ríos en los que esté previsto el emplazamiento de obras de arte mayor, el Consultor deberá realizar levantamientos topográficos complementarios, estacando poligonales auxiliares a lo largo del cauce del río, hasta una longitud mínima de 500 m aguas arriba y 500 m aguas abajo. Dependiendo de factores especiales como el desarrollo del río, la geomorfología y áreas de influencia de las cuencas, y otros relevantes que impliquen un detalle mayor respecto al levantamiento topográfico, la longitud deberá ser definida en consulta con la Dirección de Vialidad del MOPC. Estas poligonales auxiliares serán niveladas y se complementará este trabajo con secciones transversales al cauce del río, estos levantamientos deberán ser perfeccionados con datos que resulten del estudio Hidráulico – Hidrológico, como ser el NAME, sección hidráulica, tirante normal y otros que sean importantes.

En todas las obras de arte proyectadas en el diseño se deberá referenciar mediante monumentos de hormigón los ejes principales de estas estructuras, así como realizar levantamientos topográficos con mayor detalle.

SECCION 3.1.2.4. | ENTREGA FÍSICA EN EL CAMPO

Una vez concluidos los trabajos de campo, el ejecutor deberá mostrar y entregar físicamente en el campo al personal que indique la Dirección de Vialidad del MOPC, las referencias de nivel, las referencias del trazo y los mojones correspondientes a los puntos característicos de los ejes trazados o los puntos de control terrestre, del estudio topográfico realizado.

Durante la entrega física en el campo, la Dirección de Vialidad del MOPC podrá solicitar al ejecutor del Servicio responsable del estudio, realizar en ese momento una verificación de la nivelación entre referencias de nivel o entre puntos de control terrestre, para comprobar la veracidad de los trabajos de campo.

Esta entrega se hará constar mediante una minuta que será firmada por el representante del ejecutor y por el personal del responsable dependiente de la Dirección de Vialidad del MOPC.

SECCION 3.1.2.5. | PRESENTACION DE INFORMES

El informe, tanto para el Estudio de Alternativas como para el Estudio a Diseño Final, deberá constar mínimamente del siguiente contenido, el cual podrá ser enriquecido por el ejecutor del proyecto.

1. Objetivo.
2. Introducción.
3. Ubicación del Tramo de Proyecto.
4. Alcances de Trabajo.
 - 4.1. Actividades preliminares (Recopilación y Revisión de Información Existente).
 - 4.2. Movilización.
 - 4.3. Documentación.
 - 4.4. Medición de la Poligonal Base.
 - 4.4.1. Metodología Empleada.
 - 4.4.2. Equipo y Personal.
 - 4.5. Nivelación Geométrica de la Poligonal Base y Referencias de Nivel.
 - 4.5.1. Metodología Empleada.
 - 4.5.2. Trabajos de Campo Realizados.
 - 4.5.3. Equipo y Personal.
 - 4.6. Relleno Taquimétrico.
 - 4.6.1. Introducción.
 - 4.6.2. Metodología Empleada.
 - 4.6.3. Programas Utilizados.
 - 4.6.4. Equipo y Personal.
 - 4.7. Procesamiento de la Información.
 - 4.7.1. Introducción.
 - 4.7.2. Equipo y Person
 - 4.7.3. Productos.
 - 4.8. Elaboración de Planos.
5. Conclusiones y Recomendaciones.

ANEXO I - GRÁFICOS

Figura 3.1_10
ELEMENTOS DE LA CURVACIRCULAR

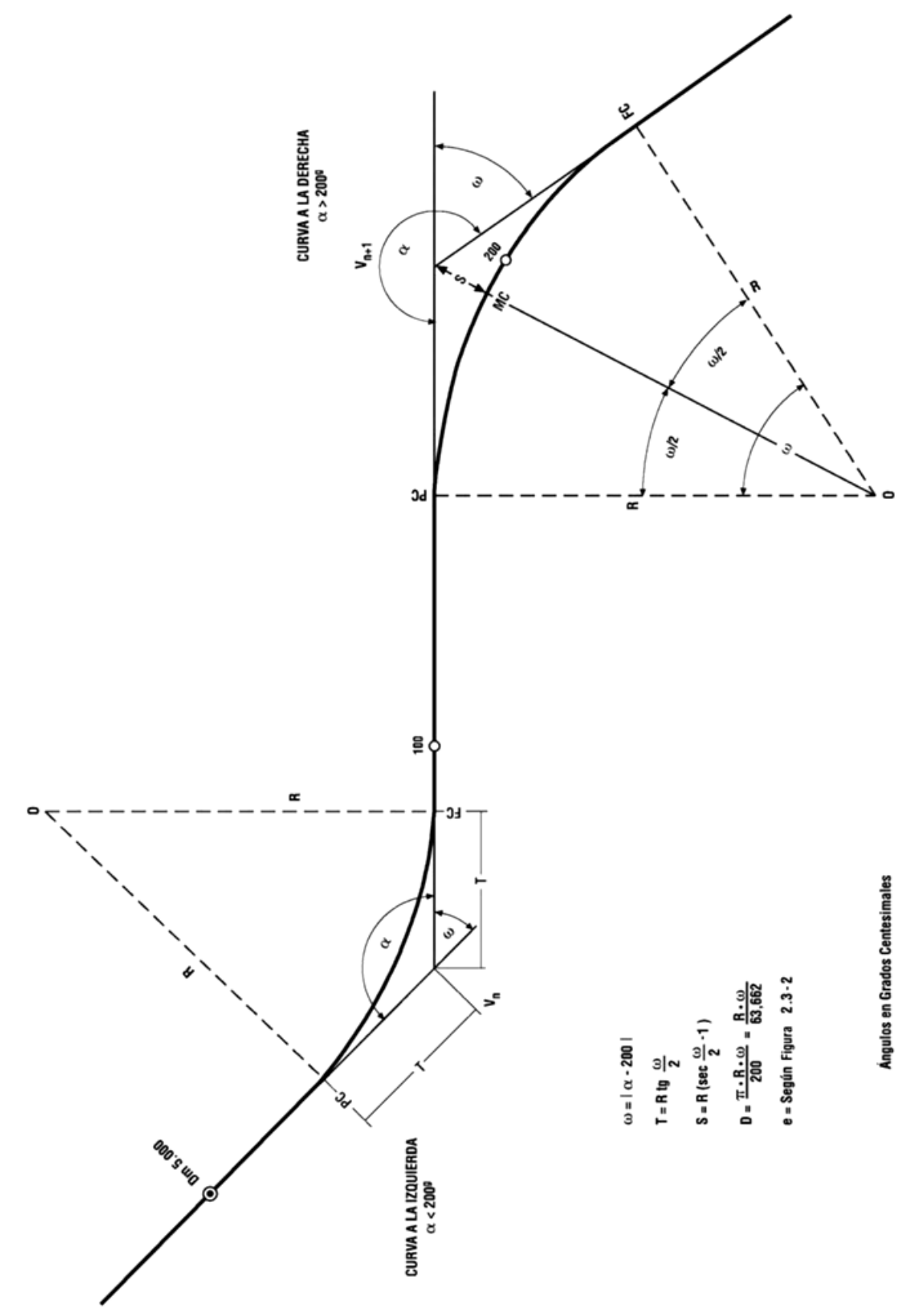


Figura 3.1_11
DESARROLLO DEL PERALTE EN CURVAS CIRCULARES SIN CURVAS DE ENLACE

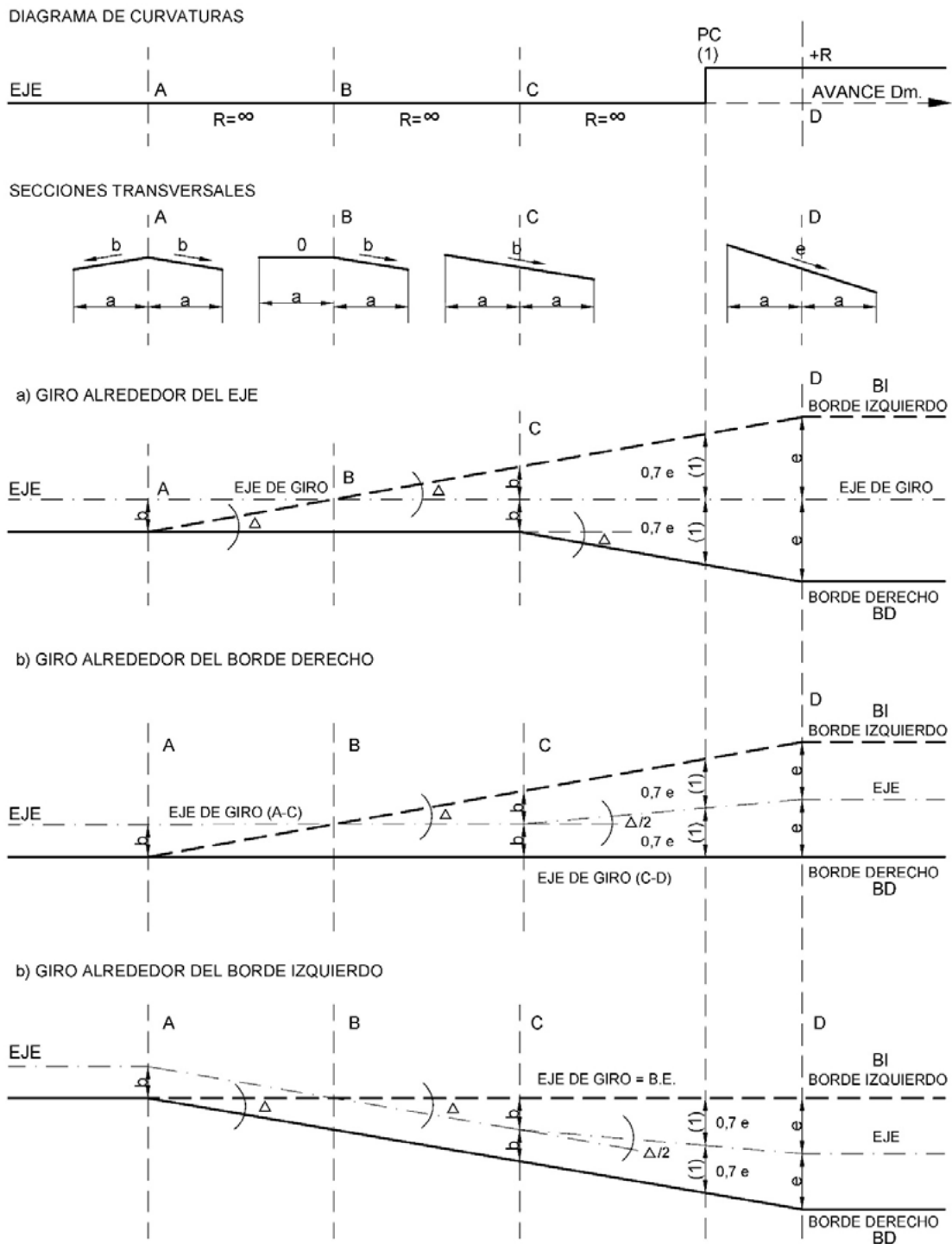
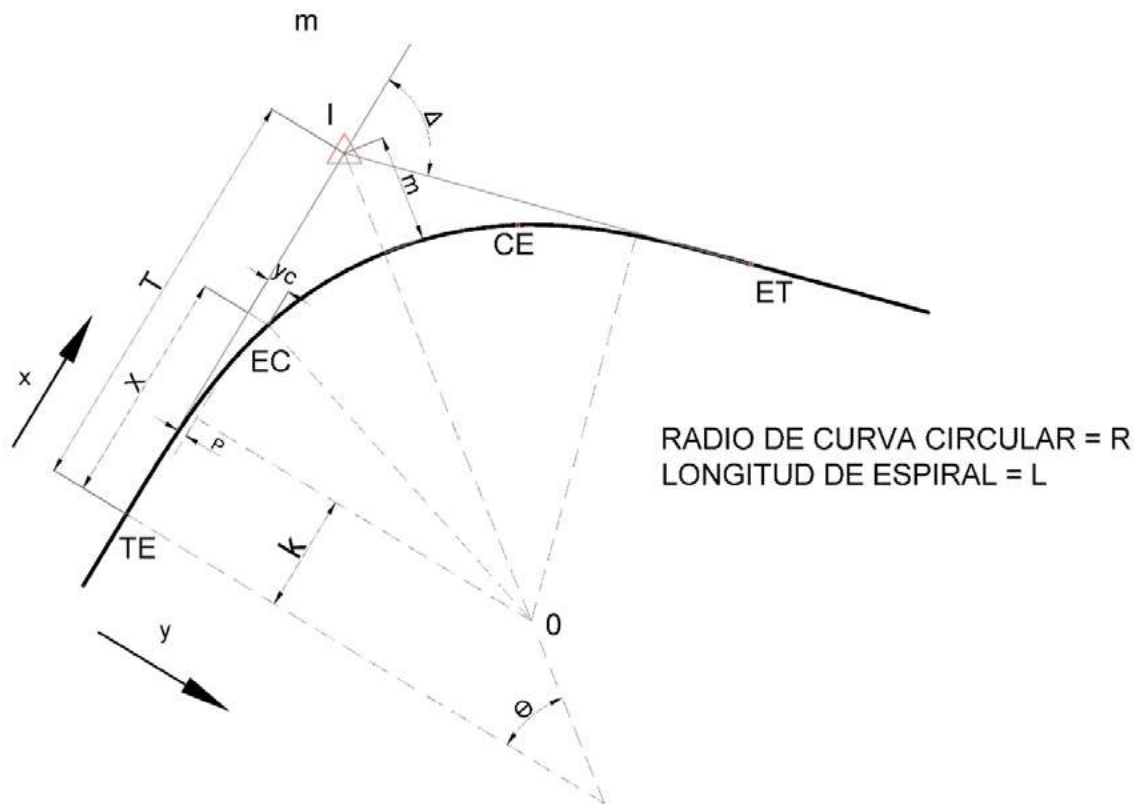


Figura 3.1_12
COMPONENTES DE LA CURVA CIRCULAR CON ESPIRALES



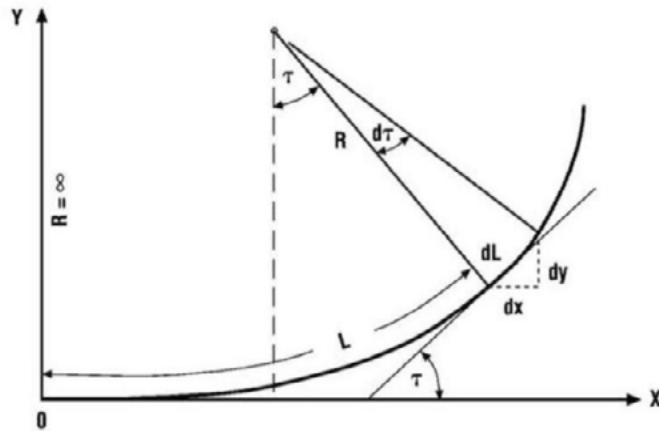
- (1) Proporción normal de peralte a desarrollar en la recta: $0.7e$.
 (2) Dados e y Δ , la longitud necesaria para desarrollar el peralte en los casos b) y c) es mayor que para el caso a).

$\Delta_{\text{mín.}} = 0.35\%$ para toda V_p

$X_c = L$ $Y_c = 4P$	TE = Unión de Tangente con Espiral EC = Unión de Espiral y Curva Circular CE = Unión de Curva Circular y Espiral ET = Unión de Espiral y Tangente P = Desplazamiento Curva Circular y Curva de Transición Aproximadamente igual a $L^2 / 24R$. K = Aproximadamente
T = Longitud de Tangente igual a $K + (R+P) \text{Tang} \Delta / 2$	
E = Distancia Externa u Ordenada Media igual a $(R+P) \text{Sec} \Delta / 2 - R$	
Θ = Ángulo sustentado por la Espiral igual a $L / 2R$ en Radianes. Longitud de curva circular igual a $R (\Delta_{\text{rad}} - 2\Theta_{\text{rad}})$	

Figura 3.1_13
CARACTERISTICAS GENERALES DE LA CLOTOIDE

a) RELACIONES GEOMETRICAS FUNDAMENTALES



$$A^2 = RL$$

$$Rd\tau = dL$$

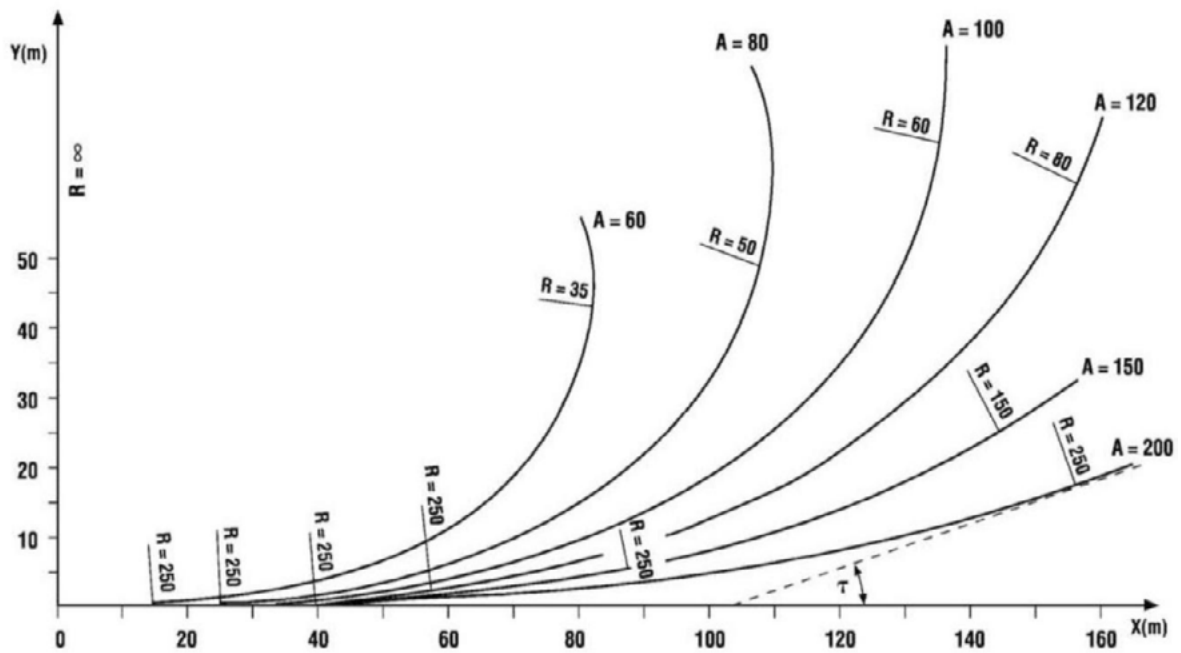
$$\int d\tau = \int \frac{dL}{A^2}$$

$$\tau = \frac{L^2}{2A^2} + cte.$$

$$L = 0; \tau = 0 \dots cte = 0$$

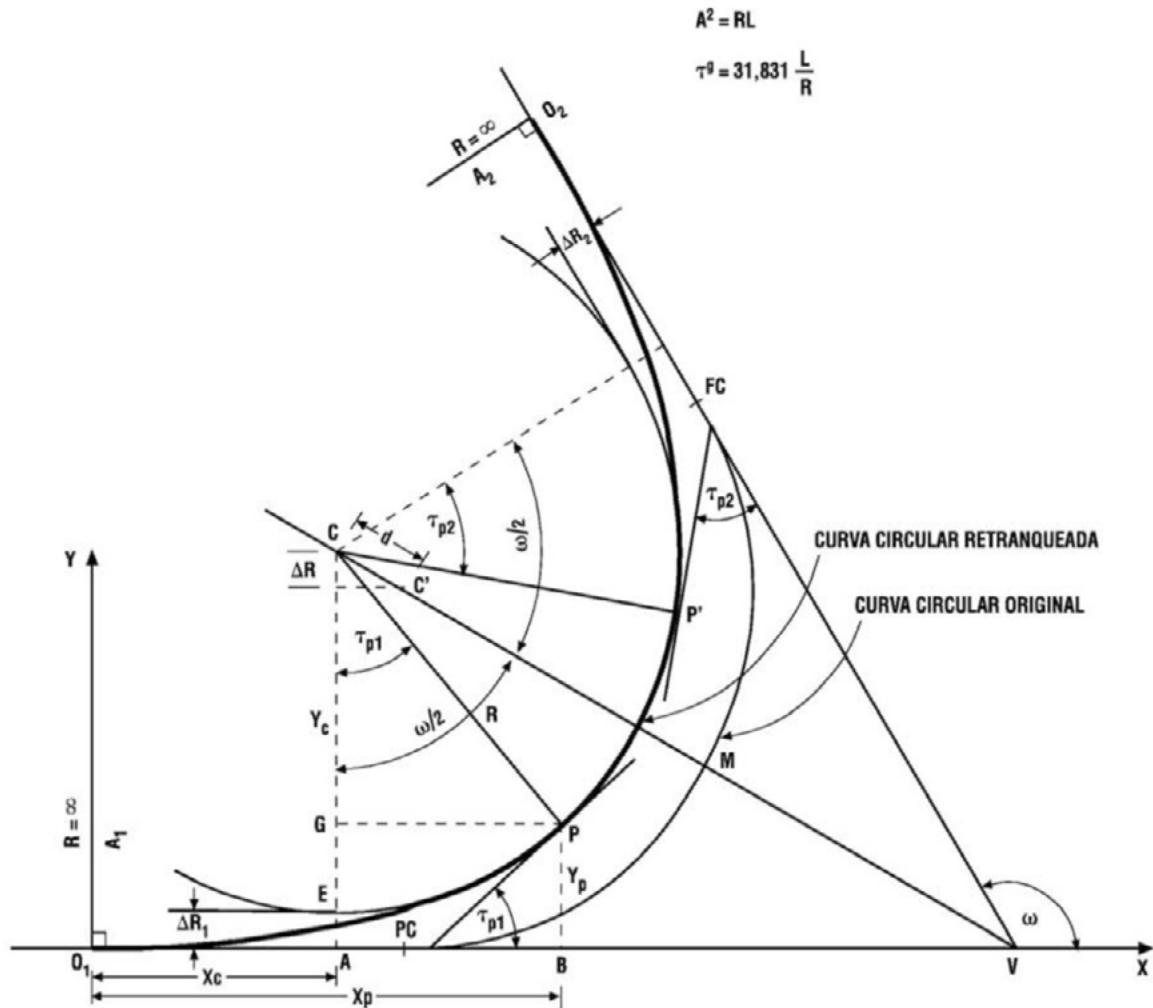
$$\tau = \frac{L^2}{2A^2} = 0.5 \frac{L}{R}$$

b) FAMILIA DE CLOTOIDES - MAGNITUDES SEGUN PARAMETRO



EFECTO VARIACION DEL PARAMETRO PARA R CONSTANTE					
A	R	L	τ°	X	Y
60	250	14,40	1,8335	14,399	0,138
80	250	25,60	3,2595	25,593	0,437
100	250	40,00	5,0930	39,975	1,066
120	250	57,60	7,3339	57,524	2,210
150	250	90,00	11,4592	89,709	5,388
200	250	160,00	20,3718	158,369	16,942

Figura 3.1_14
ELEMENTOS DEL CONJUNTO: ARCO DE ENLACE – CURVA CIRCULAR



$$A^2 = RL$$

$$\tau^9 = 31,831 \frac{L}{R}$$

CLOTOIDES SIMÉTRICAS:

$A_1 = A_2 = A$; $\tau_{p1} = \tau_{p2} = \tau_p$ y todos los elementos función de A y τ_p son iguales.

$$CE = CP = C'M = R$$

RETRANQUEO: $\Delta R = EA = (PB - GE)$

$$\Delta R = Y_p - R(1 - \cos \tau_p)$$

RETRANQUEO CENTRO: $d = \overline{CC'} = \Delta R / \cos \frac{\omega}{2}$

ORIGEN CURVA ENLACE: $OV = X_p + AV - AB$

$$OV = X_p + (R + \Delta R) \operatorname{tg} \frac{\omega}{2} - R \operatorname{sen} \tau_p$$

COORDENADAS DE C: $X_c = X_p - R \operatorname{sen} \tau_p$

$$Y_c = Y_p + R \cos \tau_p = R + \Delta R$$

DESARROLLO CIRCULAR: $\widehat{PP'} = R \cdot (\omega - 2 \tau_p) / 63,662$

CLOTOIDES ASIMÉTRICAS:

$A_1 \neq A_2$; $\tau_{p1} \neq \tau_{p2}$ y todos los elementos se calculan en función del respectivo A, τ_p .

Además:

$$O_1V = X_{p1} + (R + \Delta R_1) \operatorname{tg} \frac{\omega}{2} - R \operatorname{sen} \tau_{p1} + (\Delta R_2 - \Delta R_1) / \operatorname{sen} \omega$$

$$O_2V = X_{p2} + (R + \Delta R_2) \operatorname{tg} \frac{\omega}{2} - R \operatorname{sen} \tau_{p2} - (\Delta R_2 - \Delta R_1) / \operatorname{sen} \omega$$

$$\widehat{PP'} = R \cdot (\omega - \tau_{p1} - \tau_{p2}) / 63,662$$

Figura 3.1_14-A
PARÁMETROS MÍNIMOS Y NORMALES DE LA CLOTOIDE EN FUNCIÓN DEL RADIO DE CURVATURA

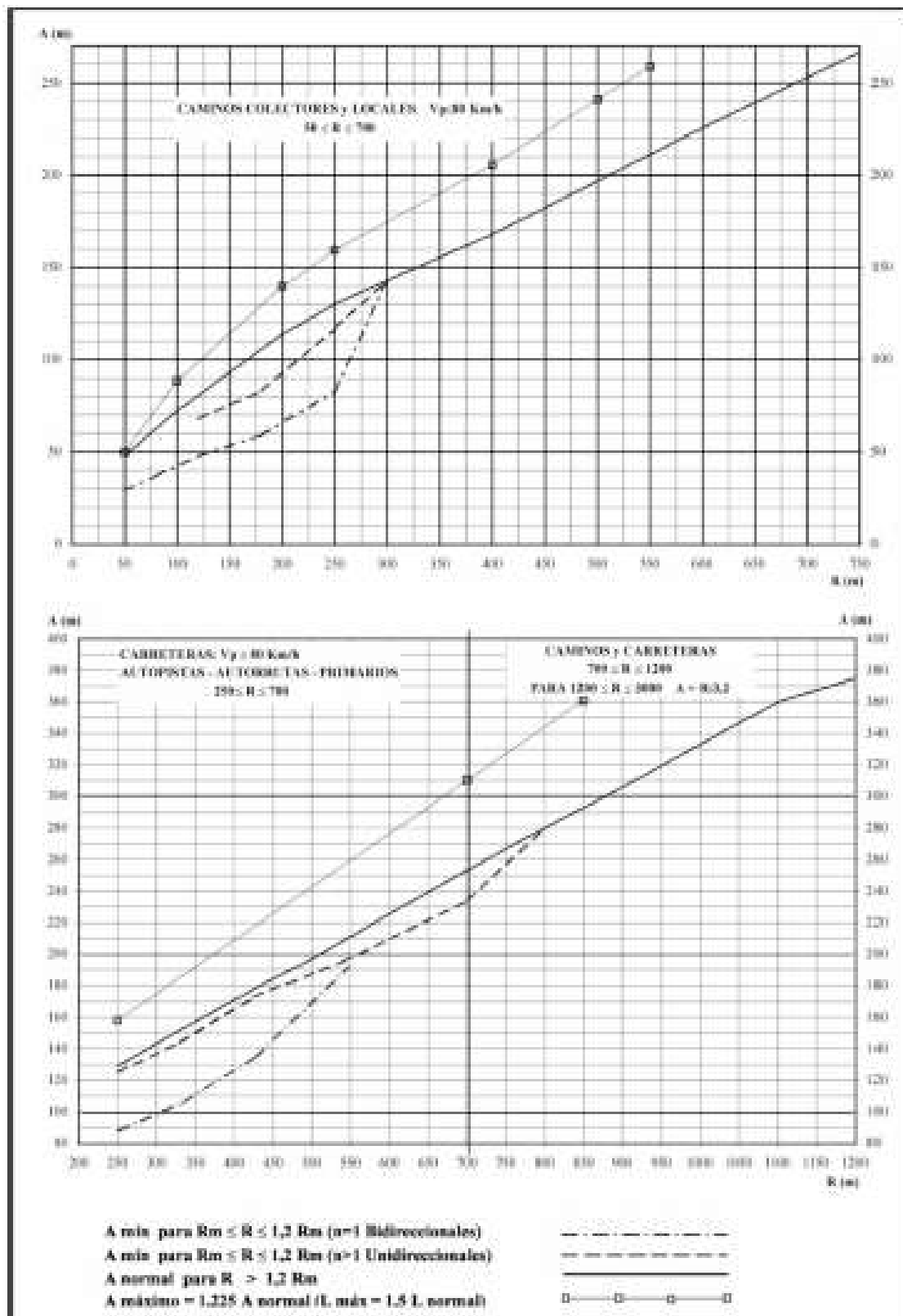


FIGURA 2.3-9 PARÁMETROS MÍNIMOS Y NORMALES DE LA CLOTOIDE EN FUNCIÓN DEL RADIO DE CURVATURA

Figura 3.1_15
DESARROLLO DEL PERALTE EN ARCOS DE
ENLACE, CALZADAS BIDIRECCIONALES

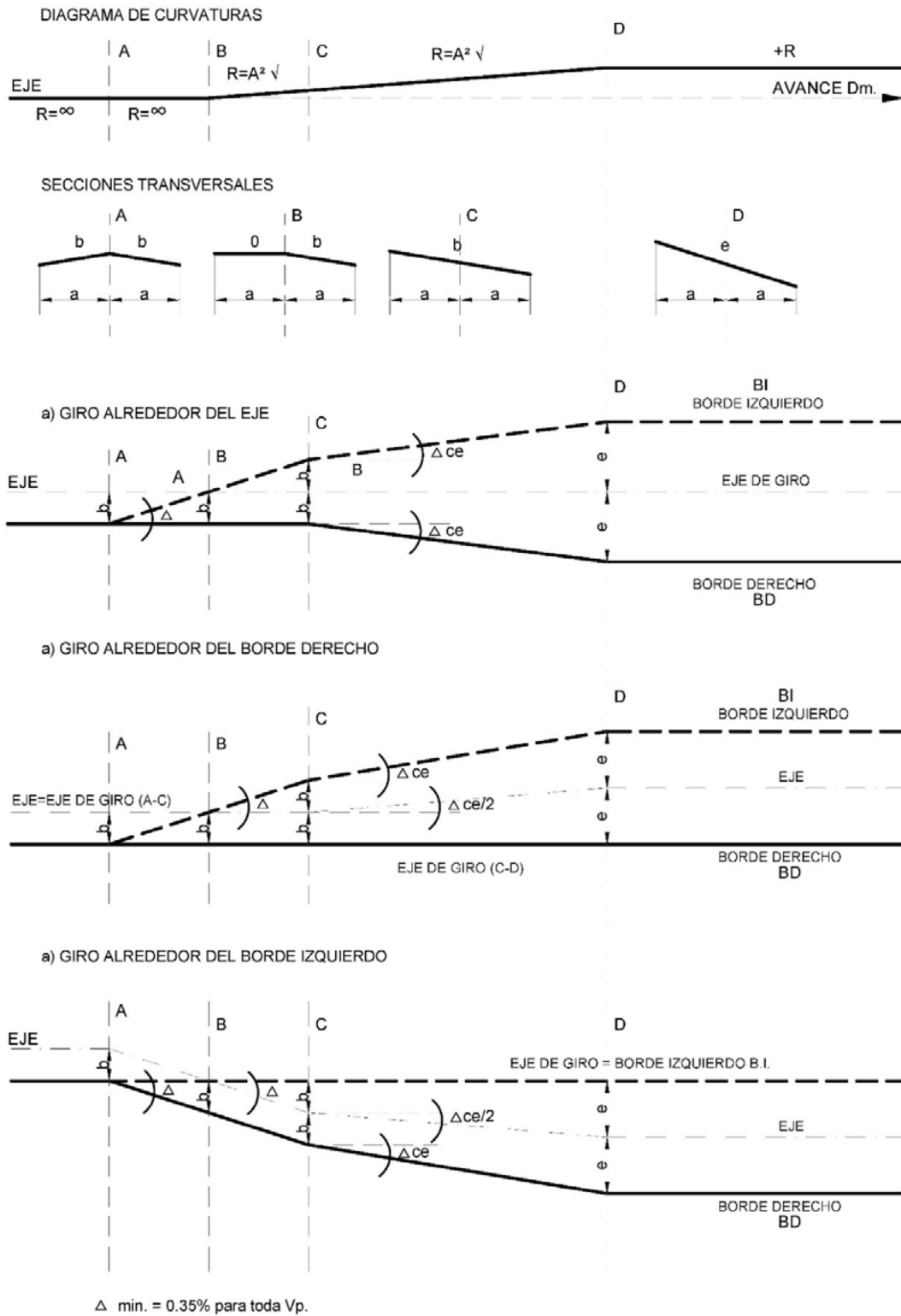


Figura 3.1_16
DESARROLLO DEL PERALTE EN ARCOS DE ENLACE,
CALZADAS UNIDIRECCIONALES

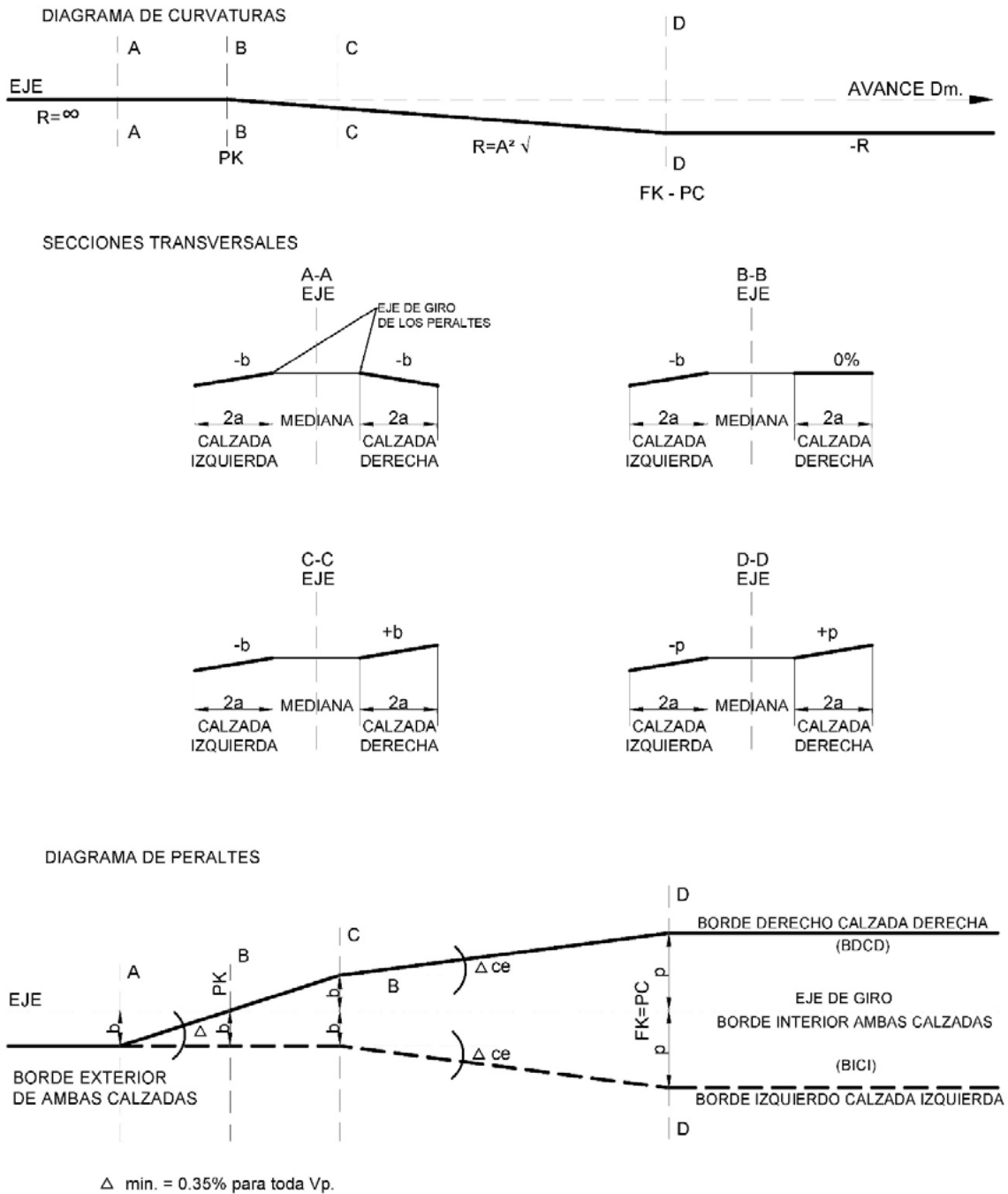


Figura 3.1_17
DESARROLLO DEL PERALTE: CALZADAS
UNIDIRECCIONALES, CASO CURVAS CONTRAPUESTAS O EN S

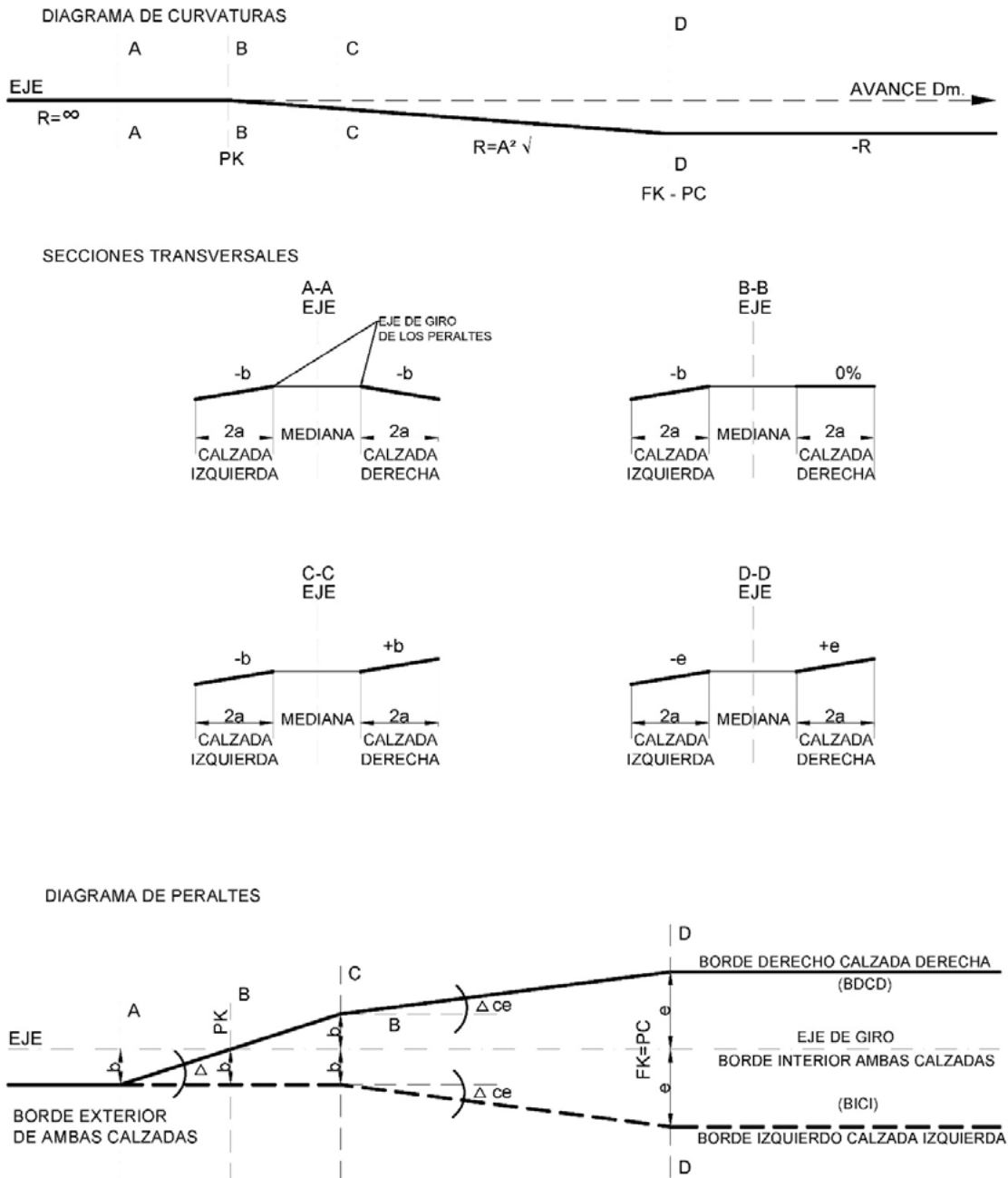


Figura 3.1_18-A
EFFECTO DE LA PENDIENTE SOBRE LA VELOCIDAD DE OPERACIÓN. VEHÍCULOS CON RELACIÓN PESO/POTENCIA 90 kg/HP

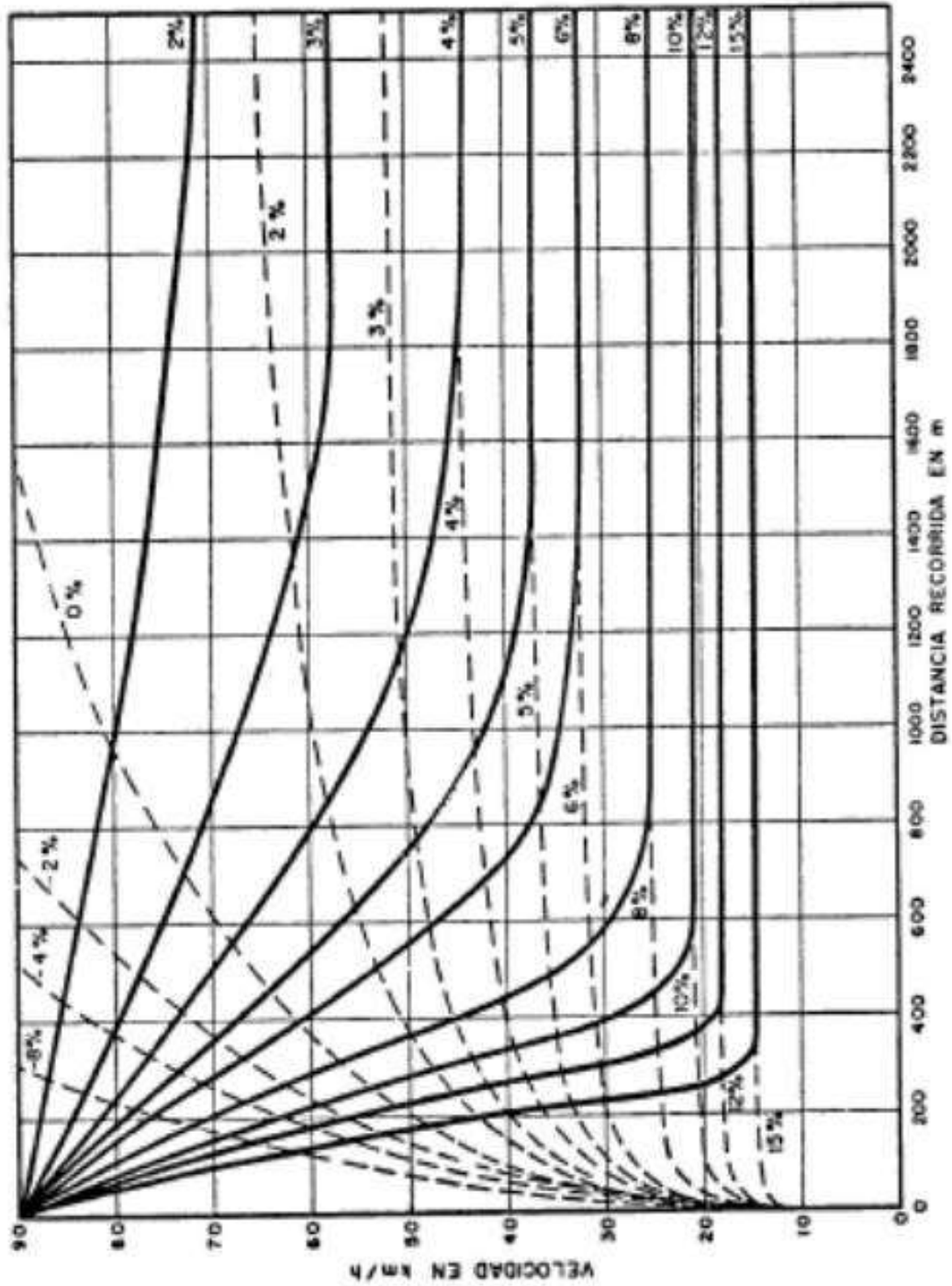


FIGURA 3.1. EFECTO DE LAS PENDIENTES EN LOS VEHÍCULOS CON RELACION PESO/POTENCIA DE 90 KG/HP

Figura 3.1_18-B
EFFECTO DE LA PENDIENTE SOBRE LA VELOCIDAD DE OPERACIÓN. VEHÍCULOS CON RELACIÓN PESO/POTENCIA 120 kg/HP

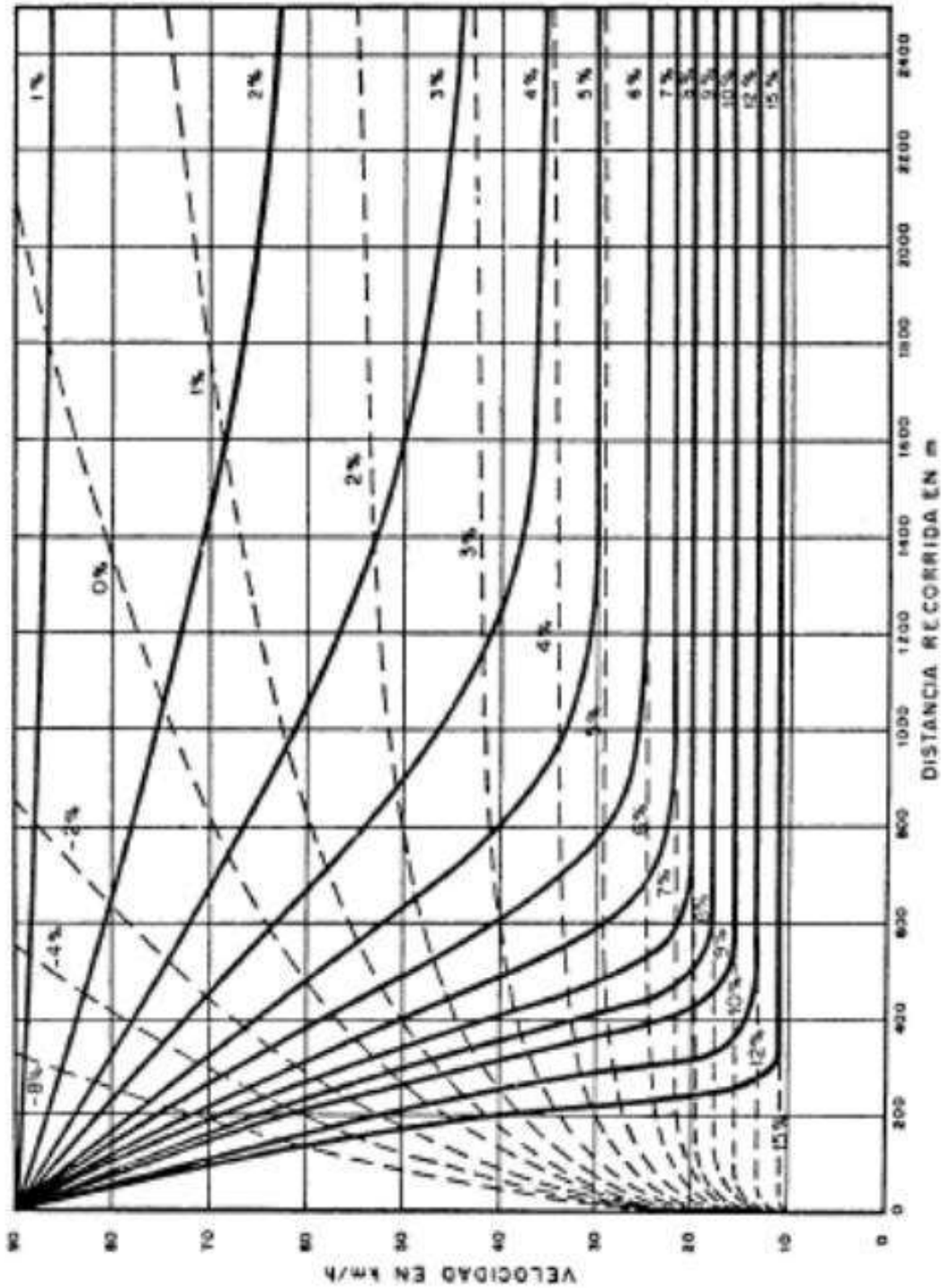


FIGURA 3.7. EFECTO DE LAS PENDIENTES EN LOS VEHÍCULOS CON RELACION PESO/POTENCIA DE 120 KG/HP

Figura 3.1_18-C
EFFECTO DE LA PENDIENTE SOBRE LA VELOCIDAD DE OPERACIÓN. VEHÍCULOS CON RELACIÓN PESO/POTENCIA 180 kg/HP

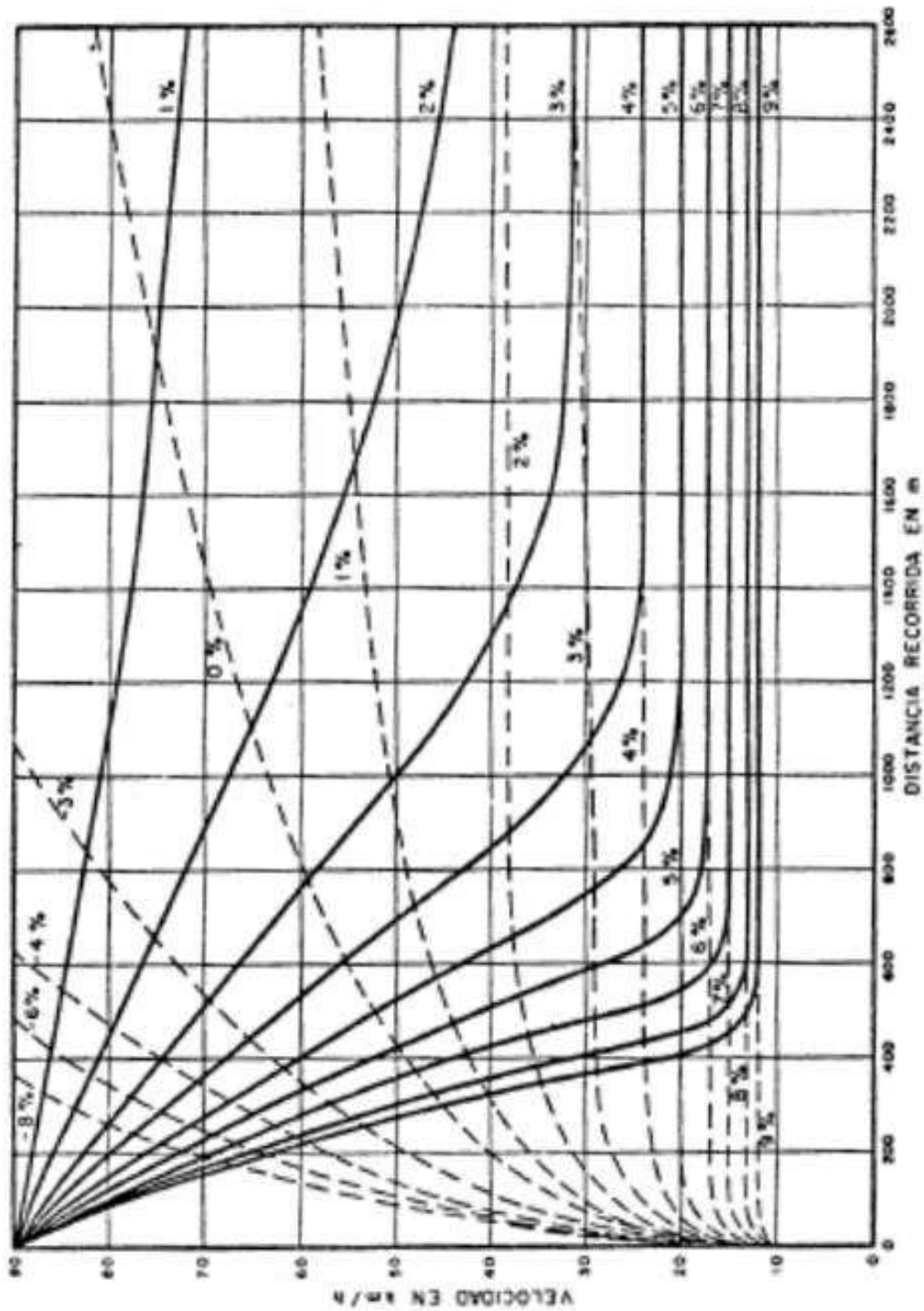


FIGURA 3.B. EFECTO DE LAS PENDIENTES EN LOS VEHICULOS CON RELACION PESO/POTENCIA DE 180 KG/HP

Figura 3.1_18-D
EFFECTO DE LA PENDIENTE SOBRE LA VELOCIDAD DE OPERACIÓN. VEHÍCULOS CON RELACIÓN PESO/POTENCIA 210 kg/HP

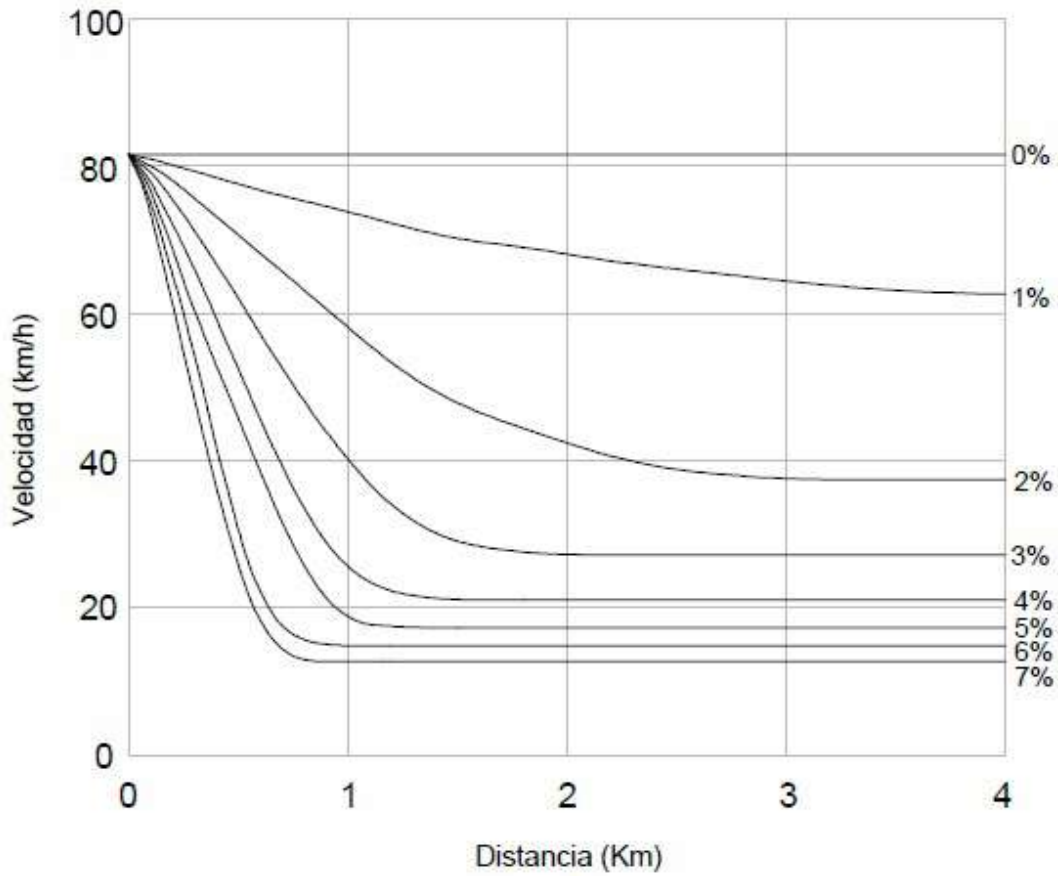


Figura 2.6
Efecto de las pendientes en los vehículos con relación peso/potencia de 210 kg/HP, México (Referencia 10)

Figura 3.1_18-E
PERFIL LONGITUDINAL DE UN TRAMO CON
TANGENTES DE PENDIENTE DIFERENTE

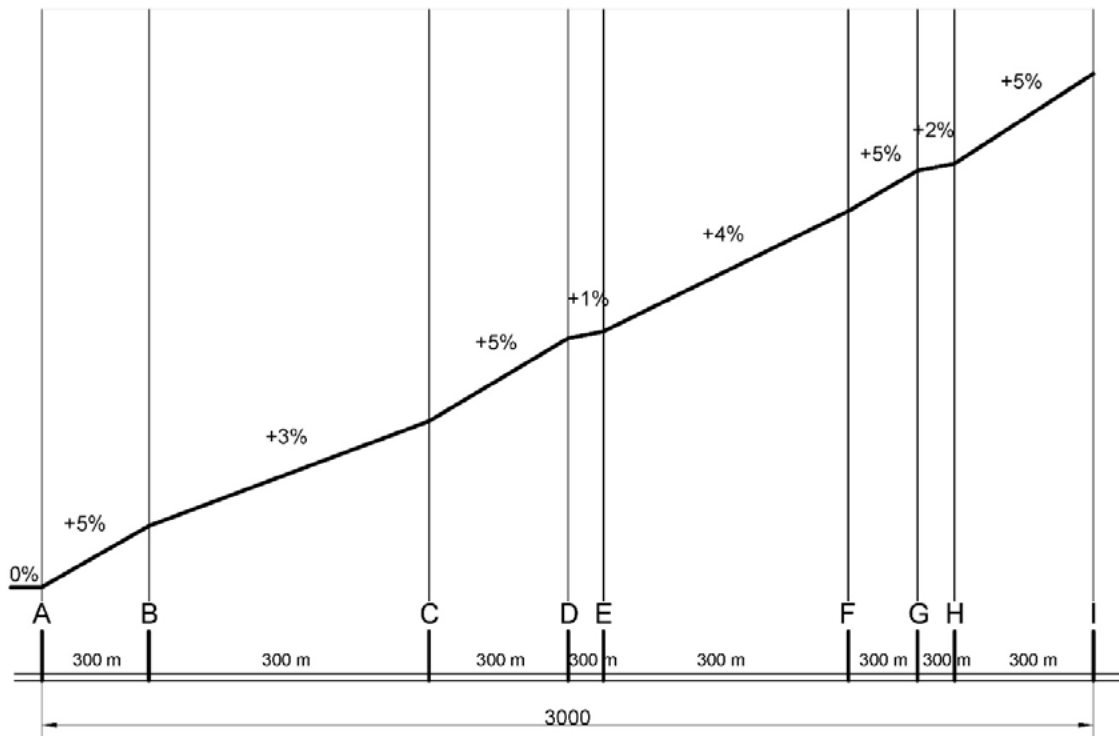


Figura 3.1_19
TIPOS DE CURVAS VERTICALES

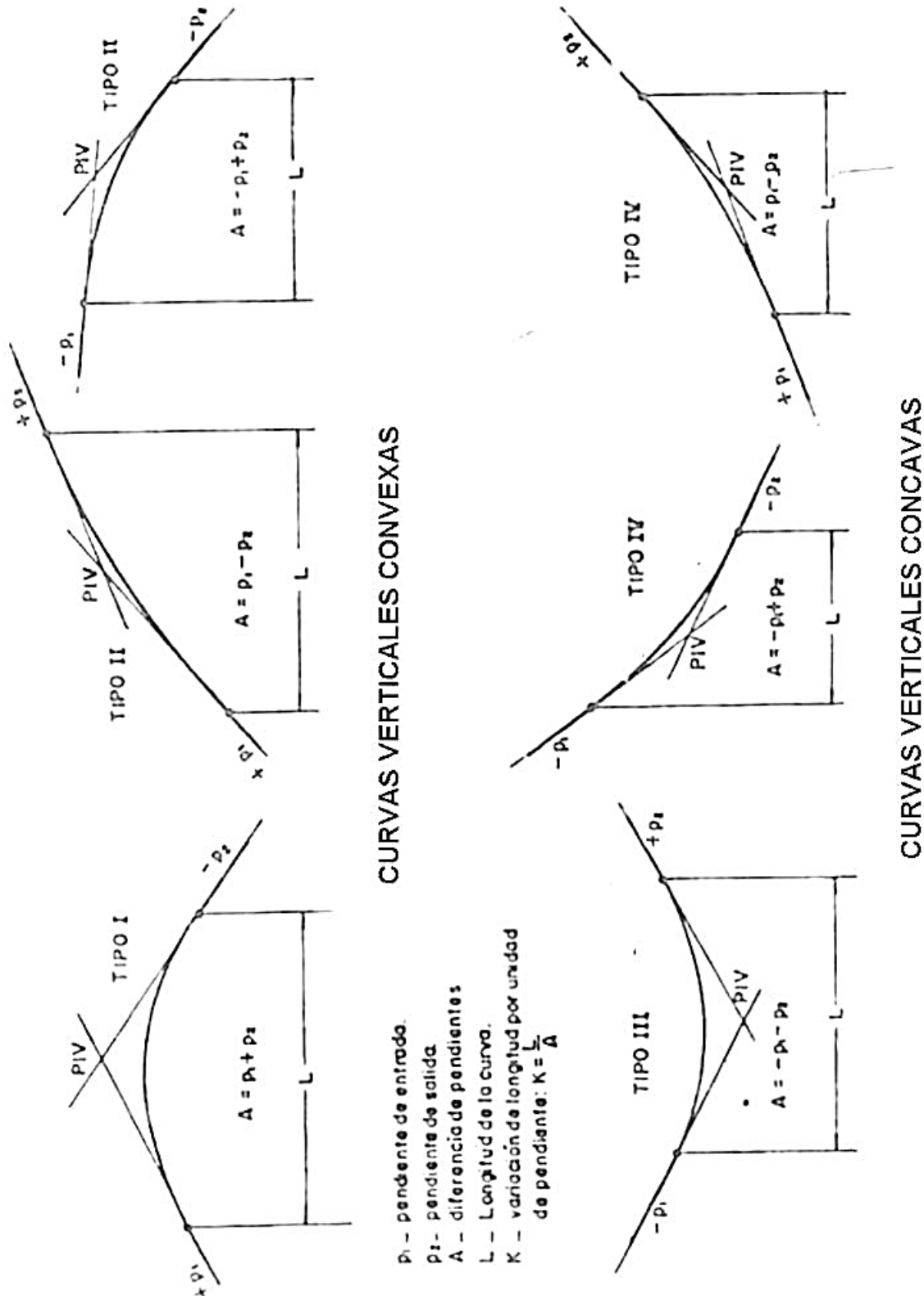
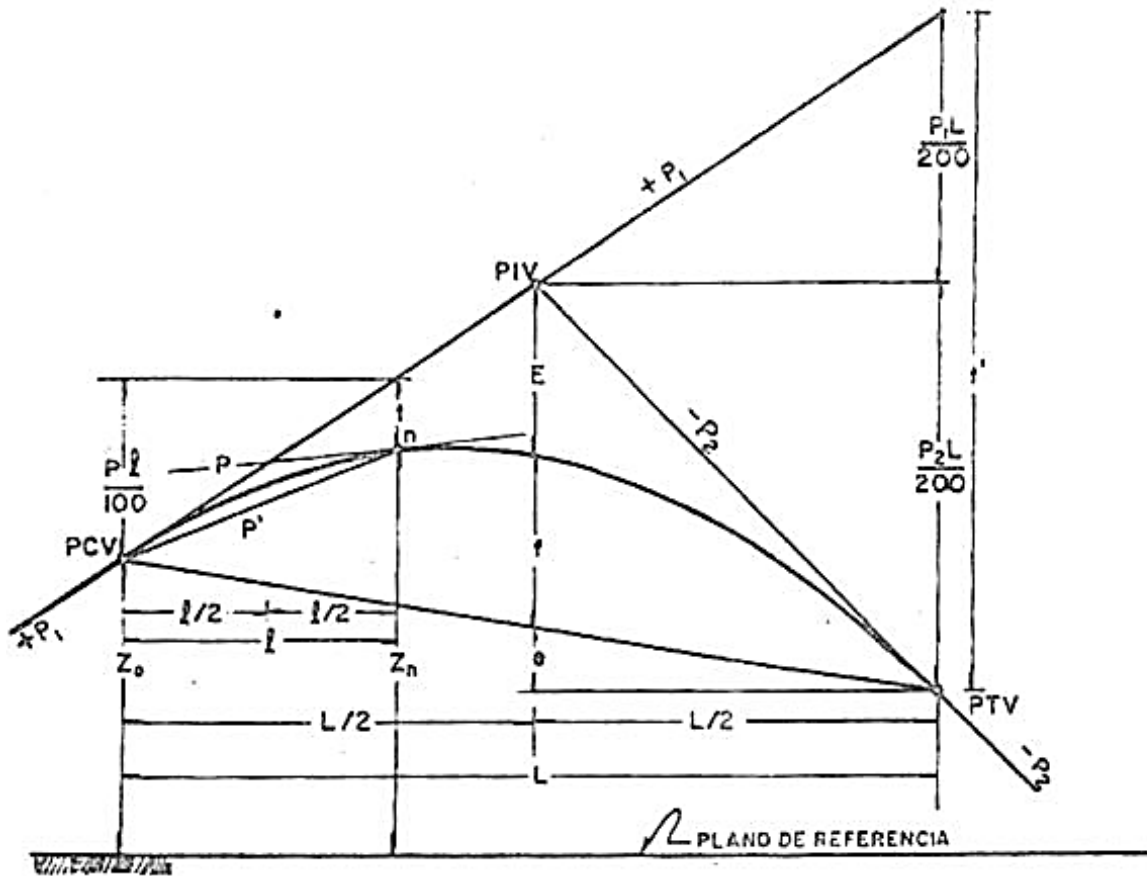
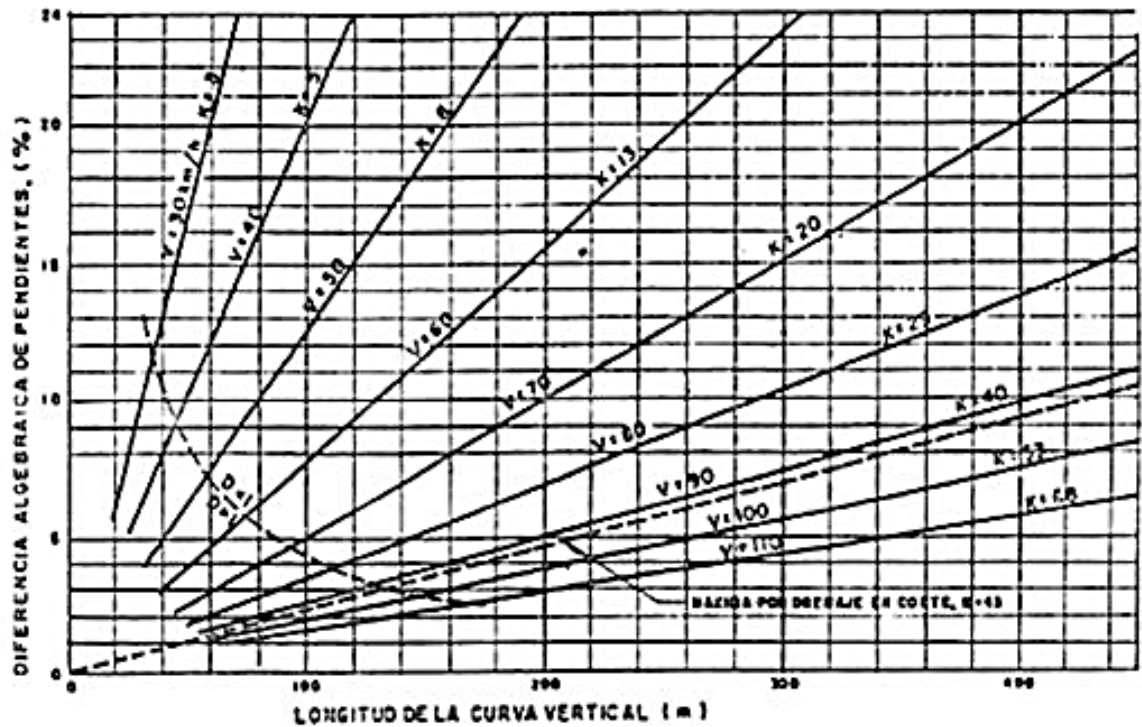


Figura 3.1_20
ELEMENTOS DE LA CURVA VERTICAL

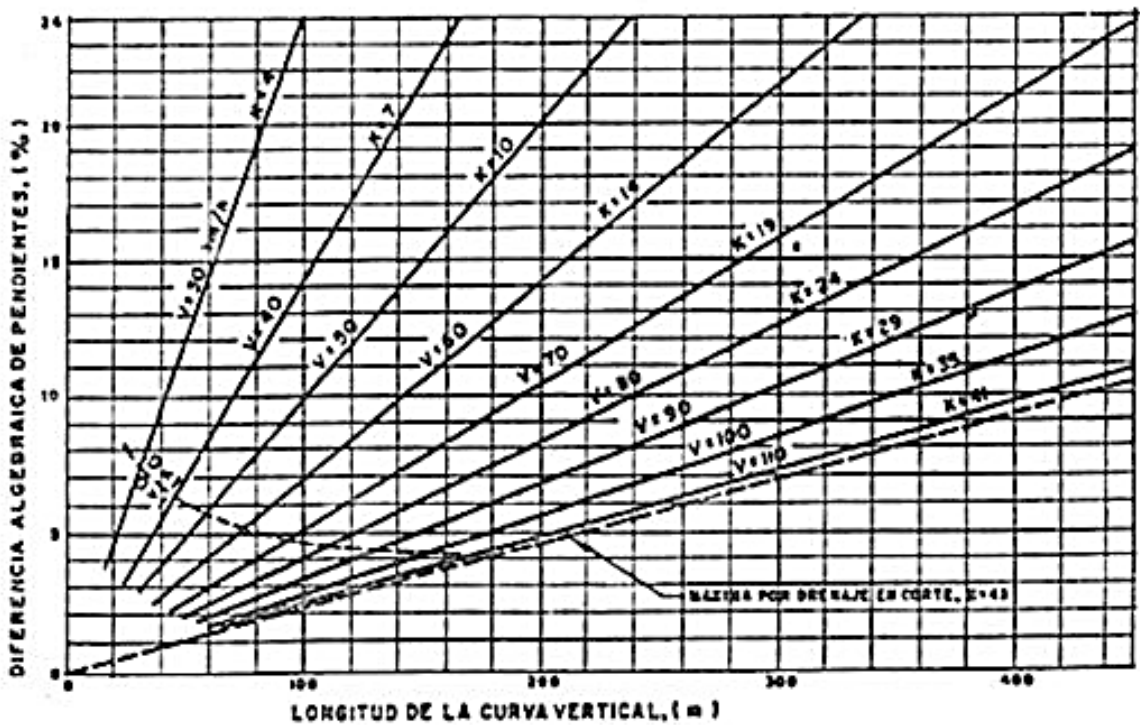


- PIV — Punto de intersección de las tangentes.
- PCV — Punto en donde comienza la curva vertical.
- PTV — Punto en donde termina la curva vertical.
- n — Punto cualquiera sobre la curva.
- P_1 — Pendiente de la tangente de entrada en por ciento.
- P_2 — Pendiente de la tangente de salida en por ciento.
- P — Pendiente en un punto cualquiera de la curva en por ciento.
- f — Pendiente de una cuerda a un punto cualquiera en por ciento.
- A — Diferencia algebraica entre las pendientes de la tangente de entrada y la de salida.
- L — Longitud de la curva.
- E — Externa
- f — Flecha
- l — Longitud de curva a un punto cualquiera
- r — Desviación respecto a la tangente de un punto cualquiera.
- K — Variación de longitud por unidad de pendiente, $K = L/A$
- Z_0 — Elevación del PCV.
- Z_n — Elevación de un punto cualquiera.

Figura 3.1_21
LONGITUD DE CURVAS VERTICALES PARA CUMPLIR CON LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA



LONGITUD DE CURVAS VERTICALES CONVEXAS PARA CUMPLIR CON LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA



LONGITUD DE CURVAS VERTICALES CONCAVAS PARA CUMPLIR CON LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA

ANEXO II - GRÁFICOS



Figura 3.1_22
SECCIÓN TRANSVERSAL DOBLE CARRIL

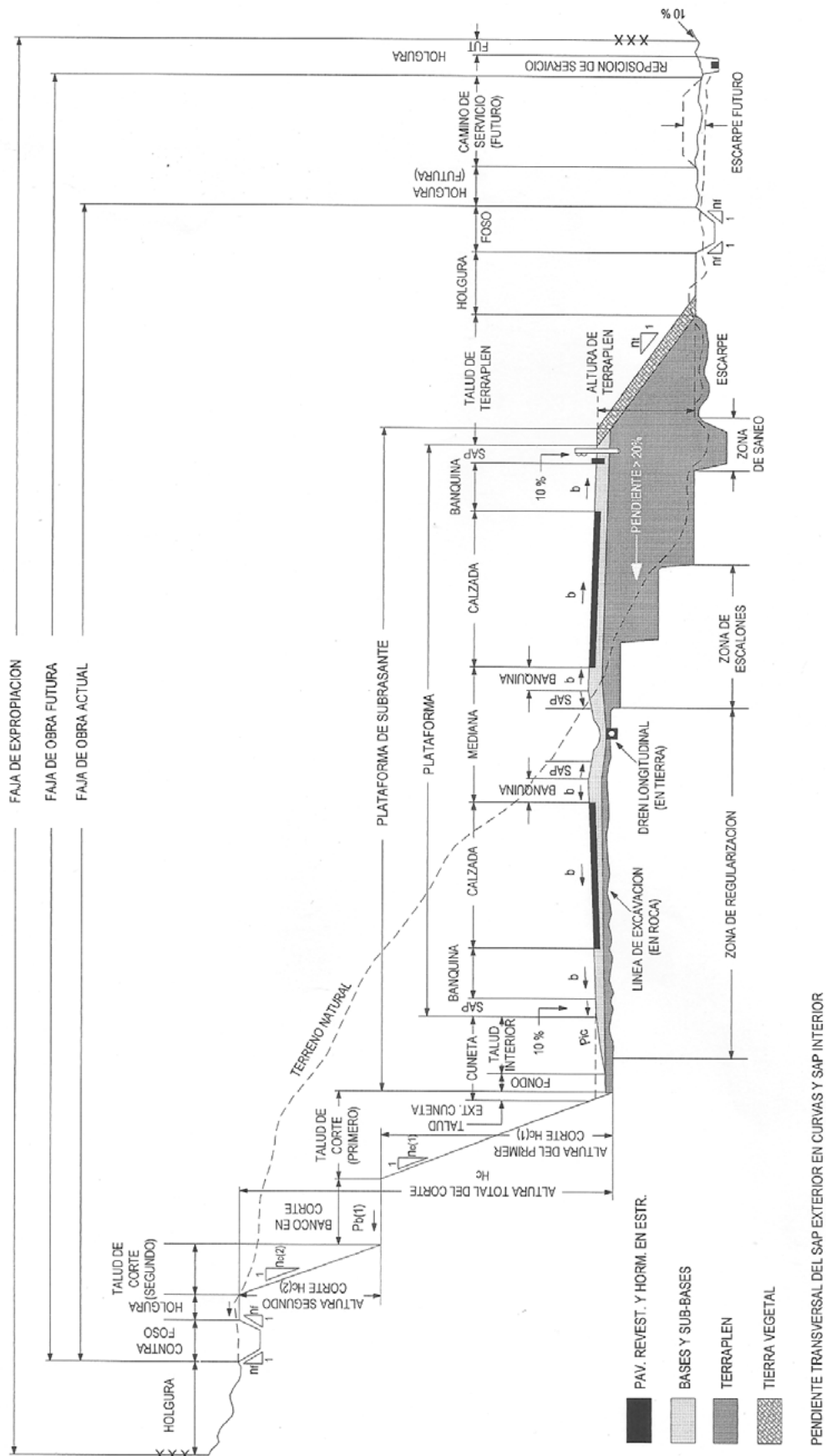


Figura 3.1_23
SECCION TRANSVERSAL CALZADA UNICA EN CURVA

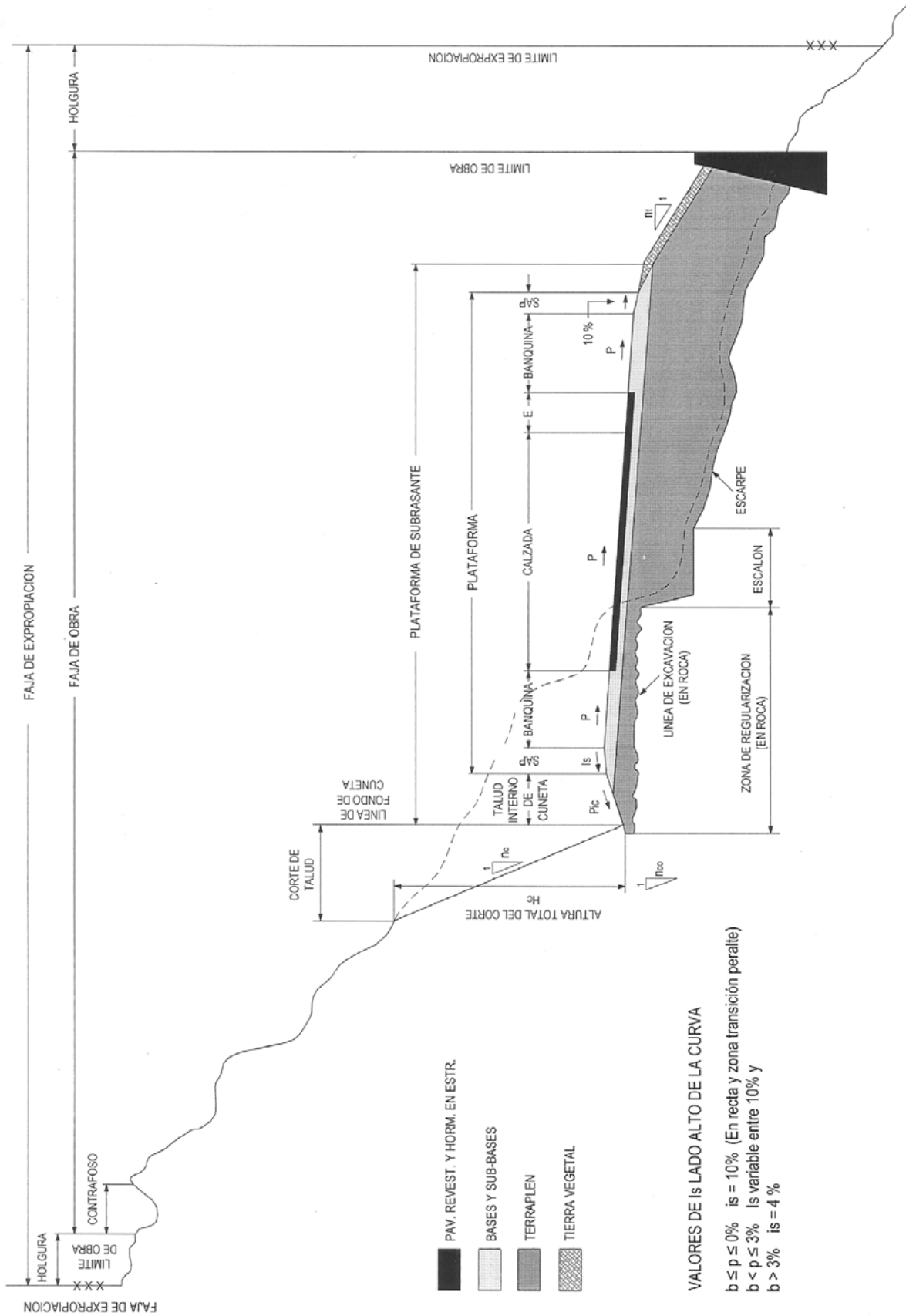


Figura 3.1_24
SECCIONES TÍPICAS DE CORDÓN-CUNETETA EN CARRETERAS

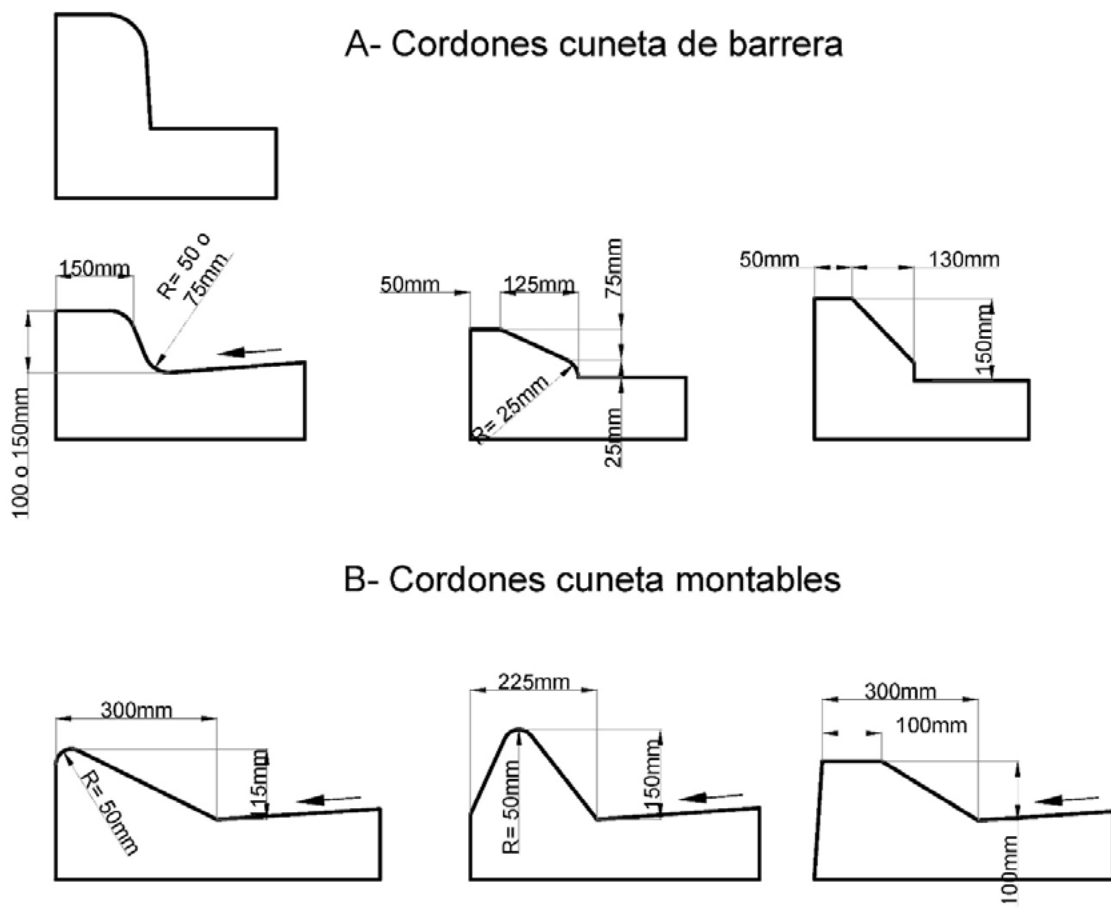


Figura 3.1_25 SECCION TIPO EN RECTA DE VIAS CON MEDIANERA

FIG. 4.3 SECCIÓN TIPO EN RECTA DE ARTERIAS PRINCIPALES CON MEDIANA

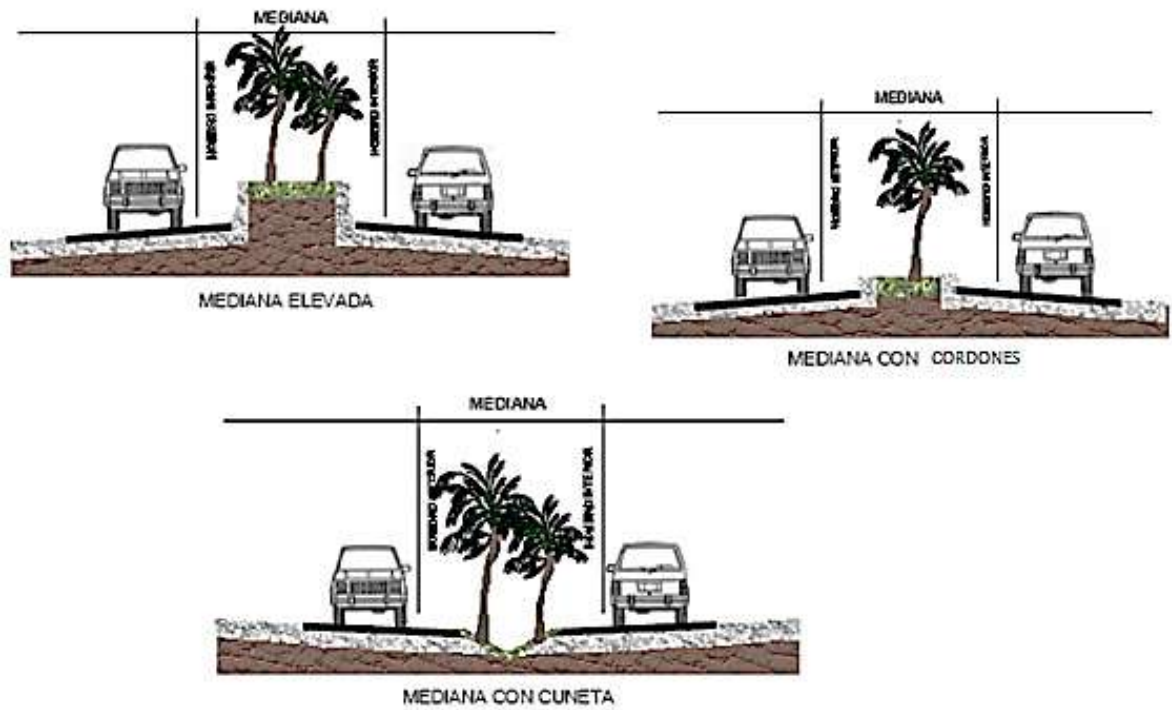


Figura 3.1_26
PARADAS DE OMNIBUS SOBRE LA BANQUINA
CAMINOS DE DESARROLLO Y LOCALES

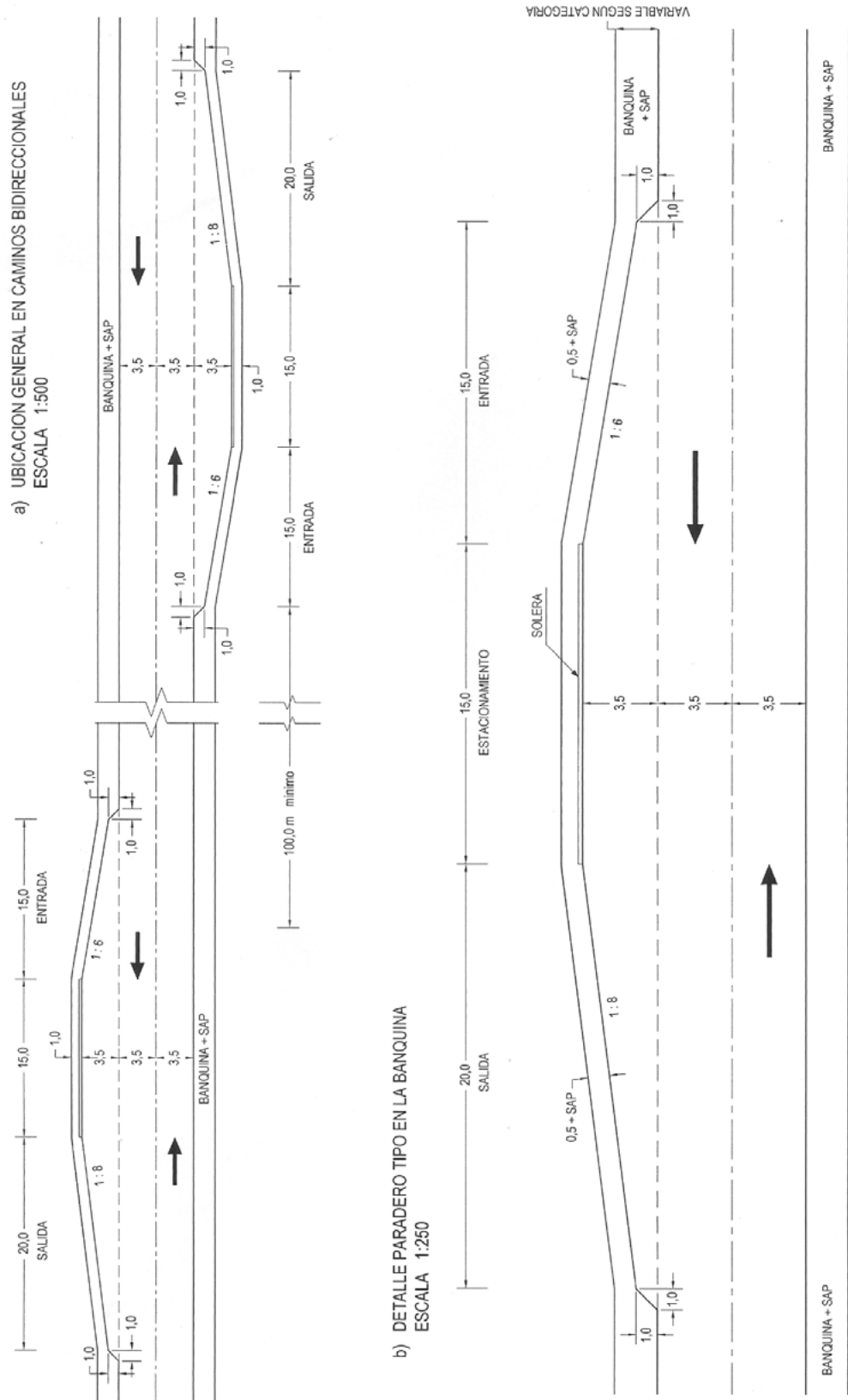
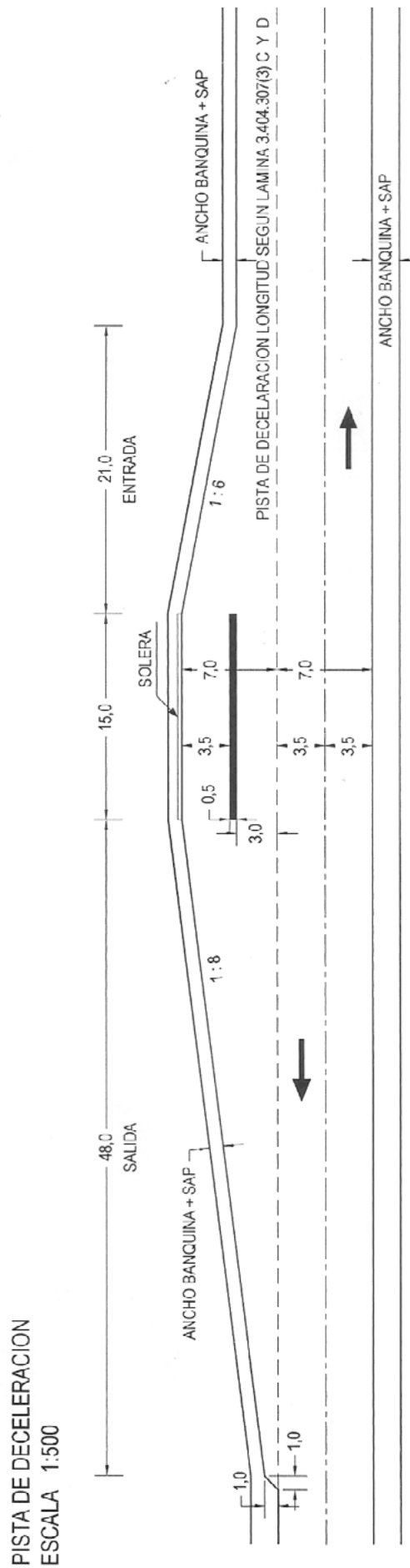


Figura 3.1_27
PARADAS DE OMNIBUS FUERA DE LA BANQUINA VIAS BIDIRECCIONALES Y COLECTORES



NOTA : EN CAMINOS BIDIRECCIONALES NO SE DISEÑA PISTA DE ACELERACION
PARADERO DEL LADO CONTRARIO DEBE DESPLAZARSE SEGUN SE INDICA EN LA FIGURA a) DE LA LAMINA 3.302.601(3) A

Figura 3.1_28
PARADAS DE OMNIBUS FUERA DE LA BANQUINA

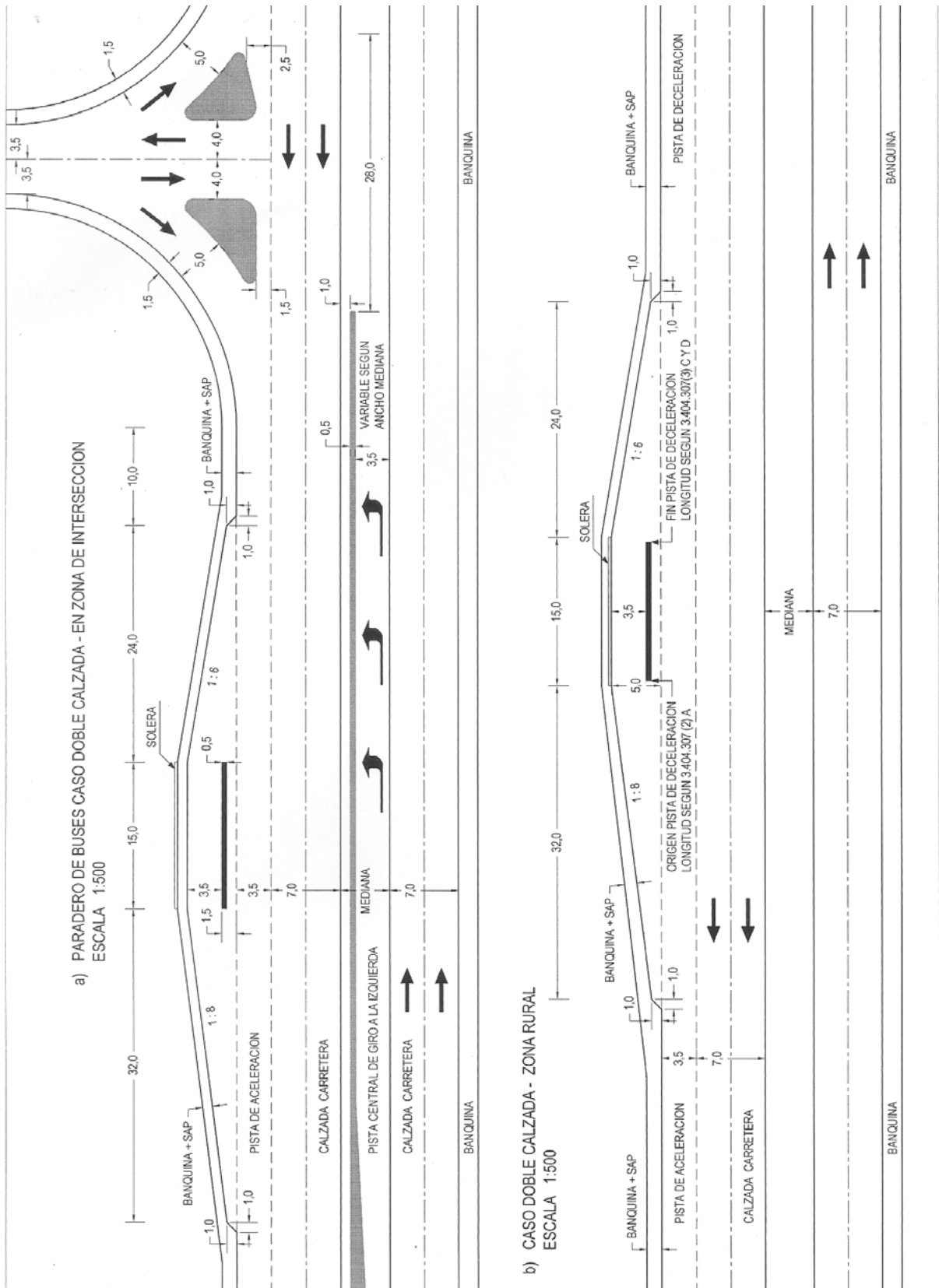
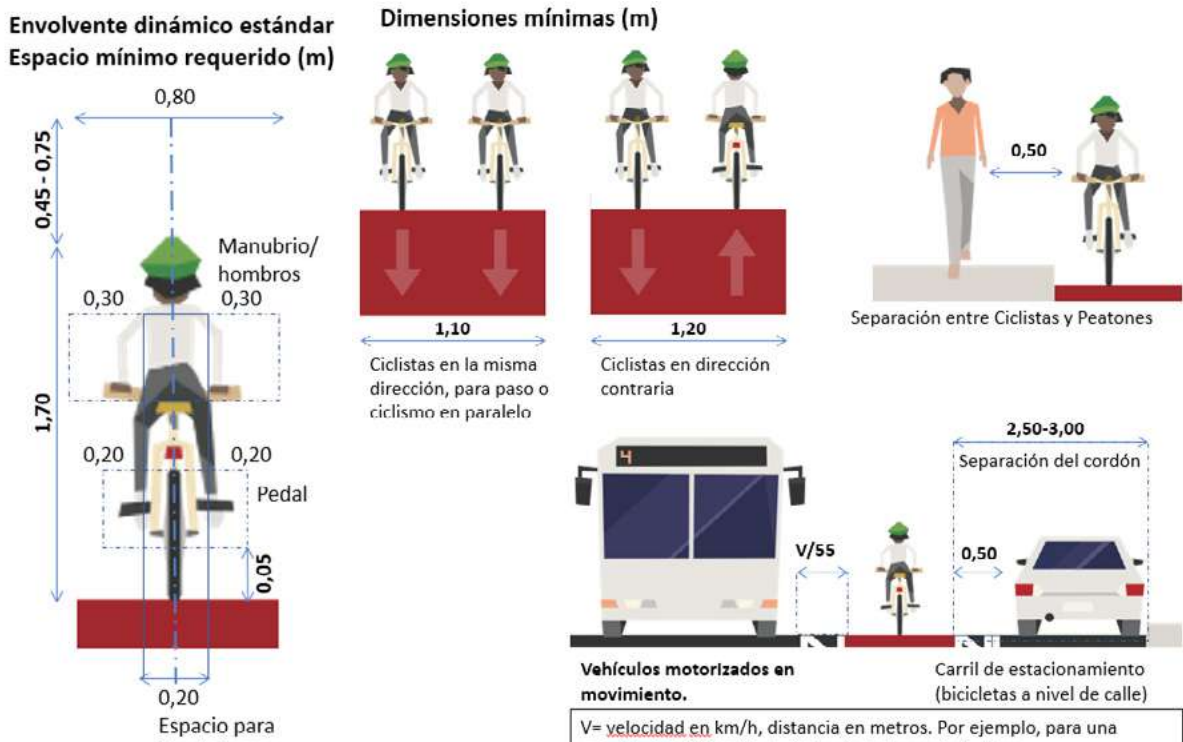
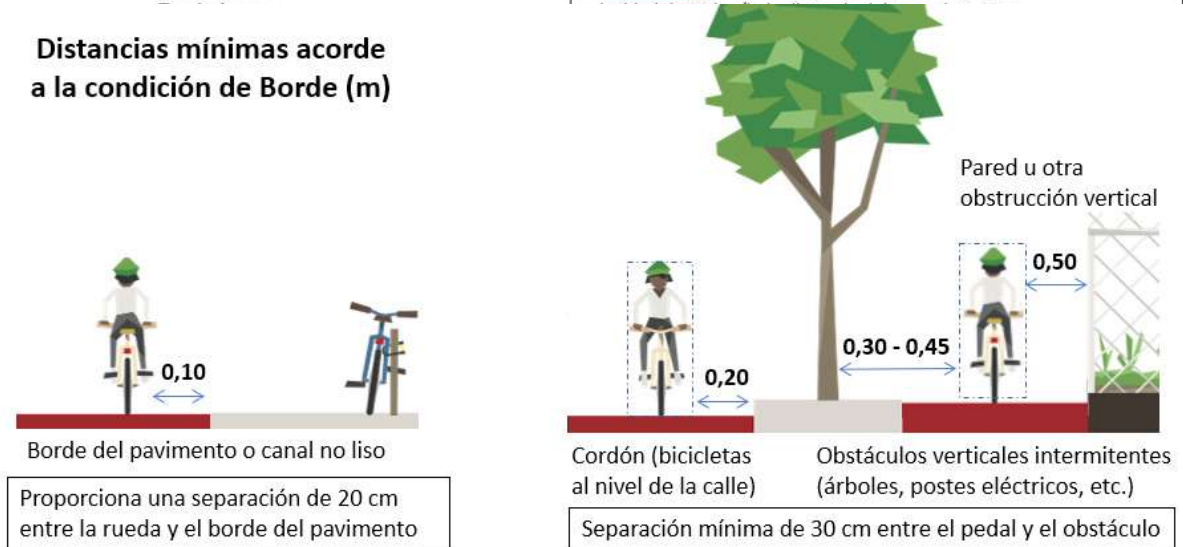


Figura 3.1_29-A
ESPACIO MÍNIMO REQUERIDO PARA LA BICICLETA



Distancias mínimas acorde a la condición de Borde (m)



Bicicletas a nivel de la vereda



Figura 3.1_29-B
UN EJEMPLO DE ESPACIOS PARA CICLOVÍA BIDIRECCIONAL

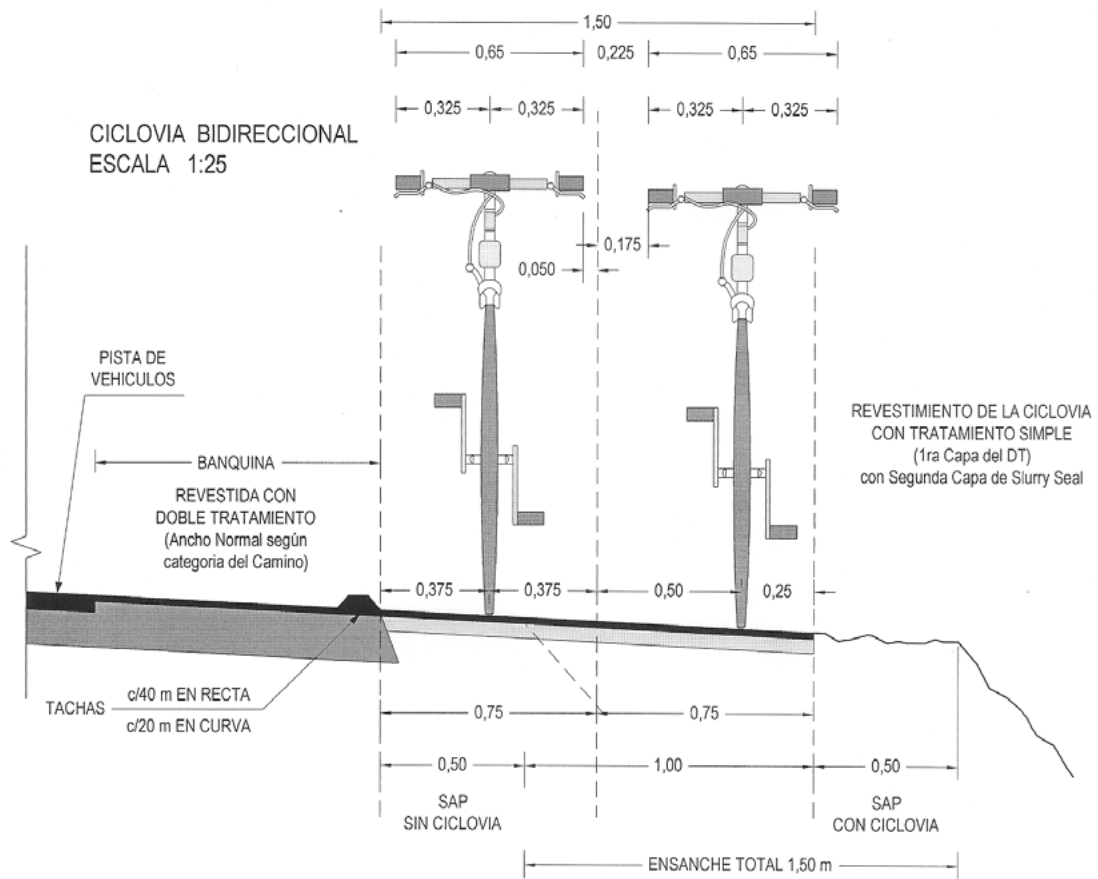


Figura 3.1_30
TALUDES DE TERRAPLÉN EN FUNCIÓN DEL TRÁNSITO Y DE SU ALTURA Y
CRITERIOS DE INSTALACIÓN DE BARRERAS DE CONTENCIÓN

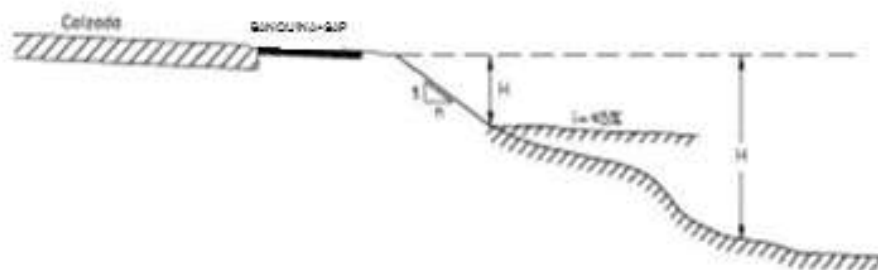
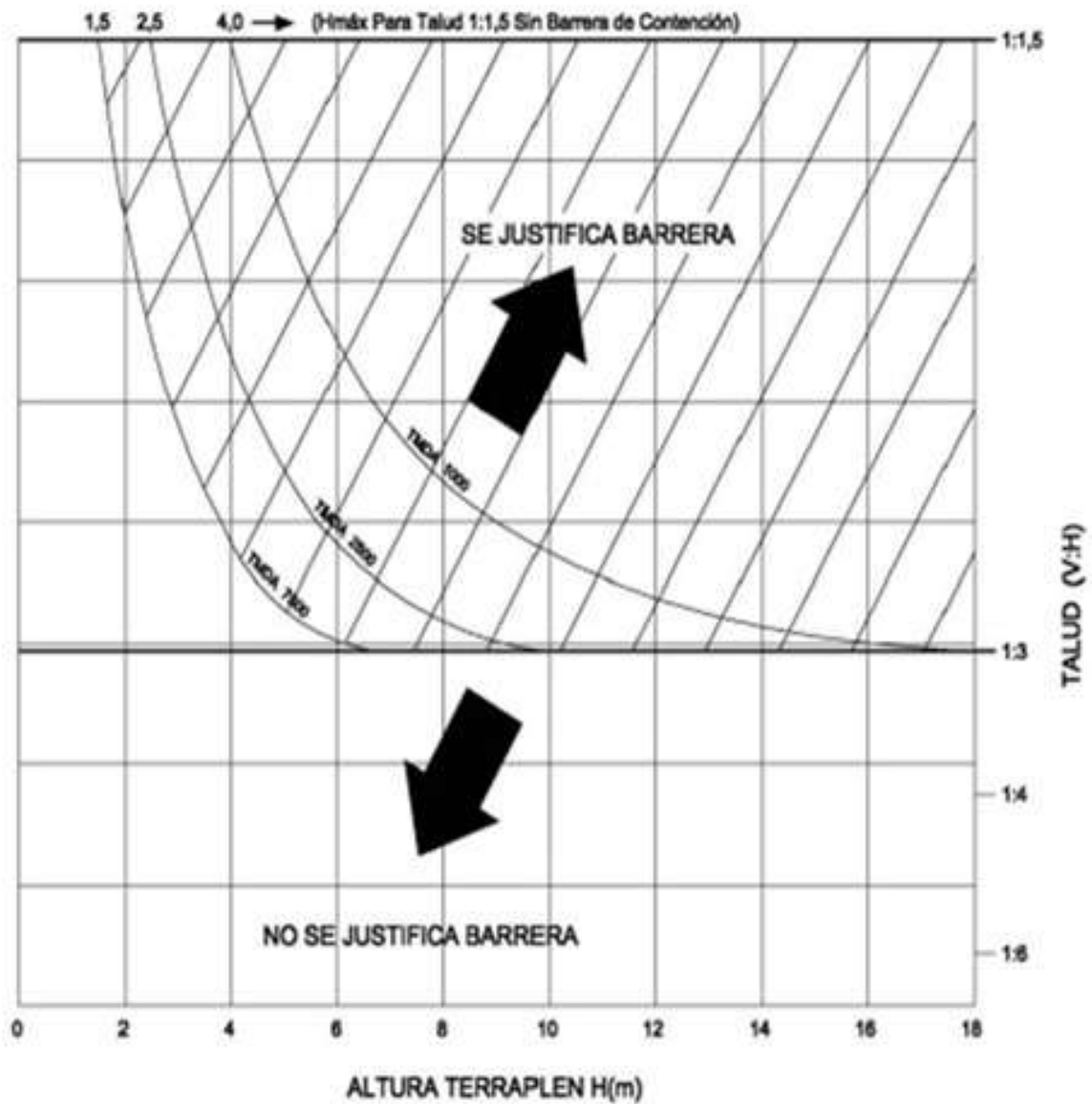


Figura 3.1_31
DIVERSAS SECCIONES DE CUNETAS

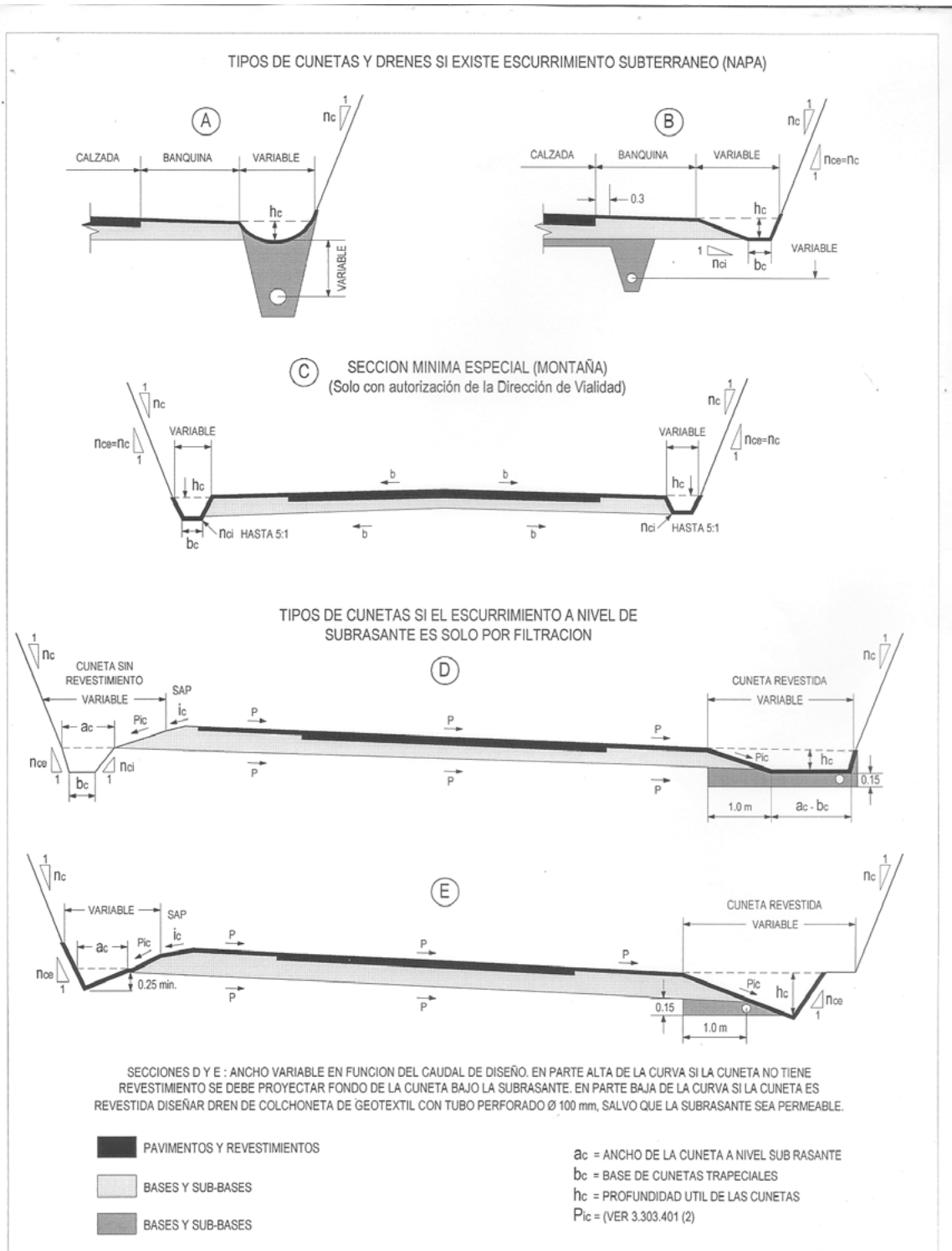


Figura 3.1_32
TIPOS DE SECCIONES TRANSVERSALES

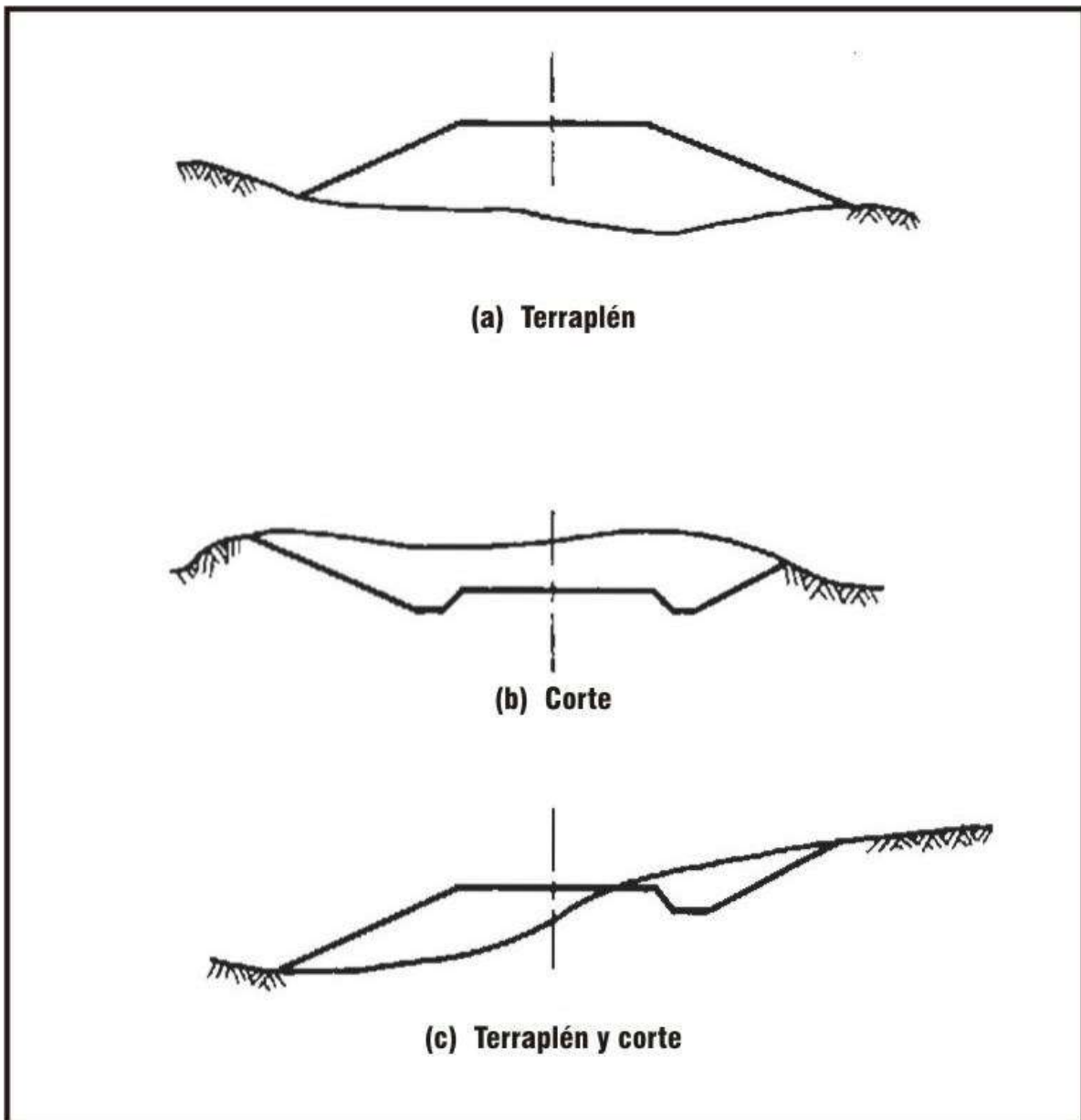


Figura 3.1_33
DIAGRAMA DE CURVA DE MASA

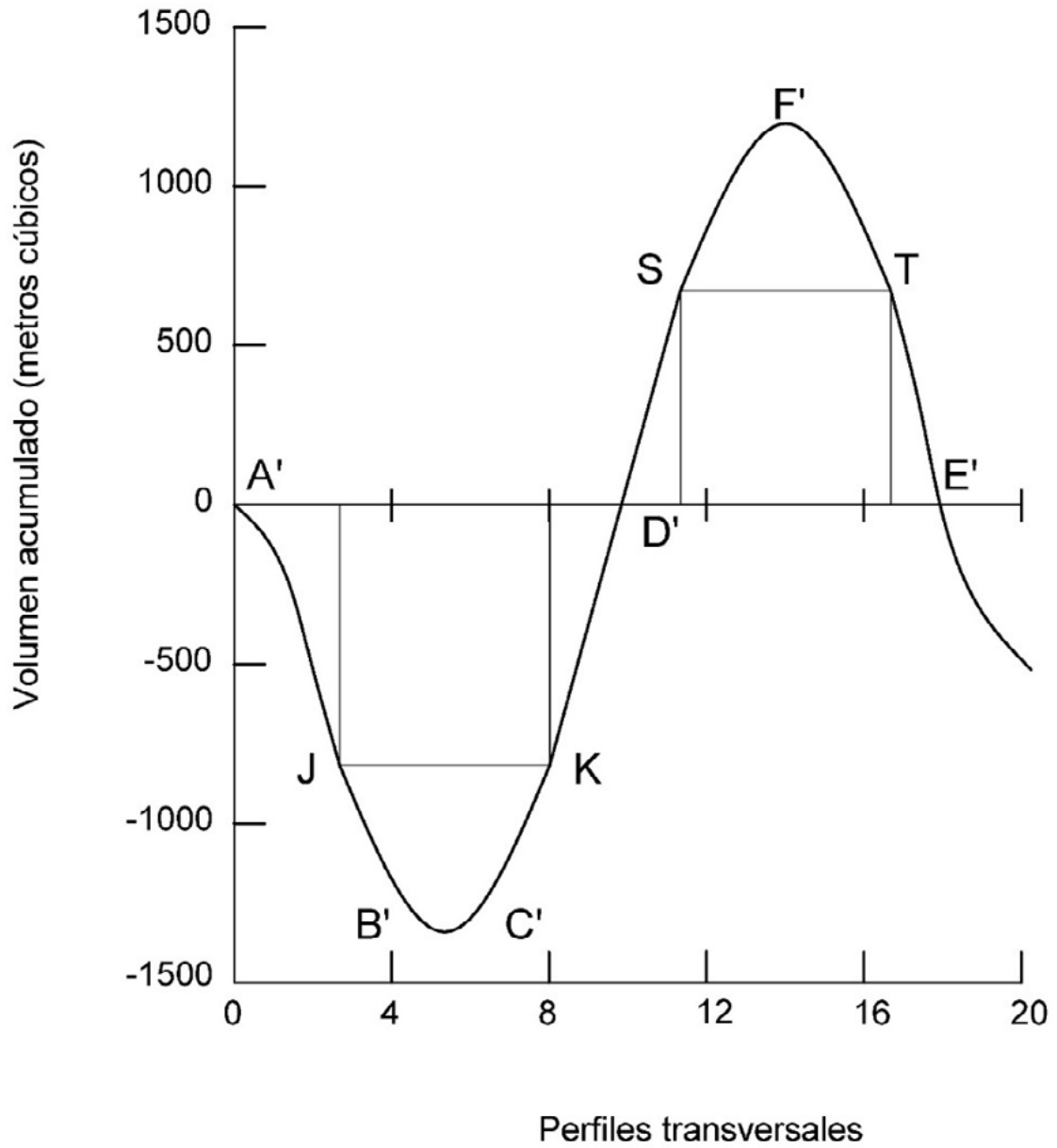


Figura 3.1_34
PRINCIPALES SUPERFICIES QUE CONFIGURAN UNA INTERSECCIÓN

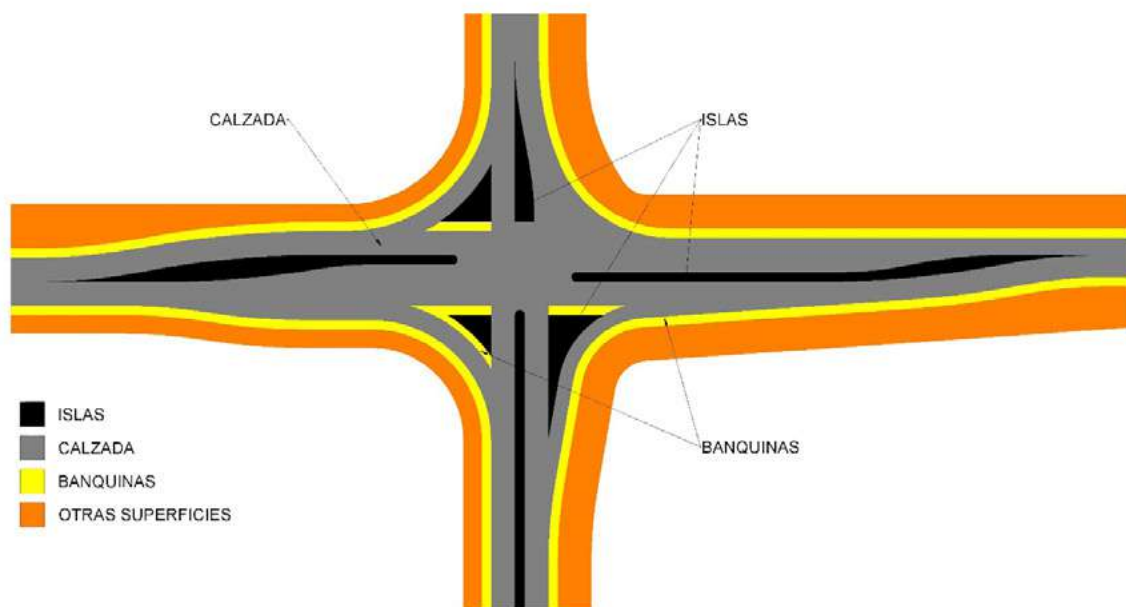




Figura 3.1_35
CALZADA, BANQUINA Y SUPERFICIES DE CAPA DEMARCADA

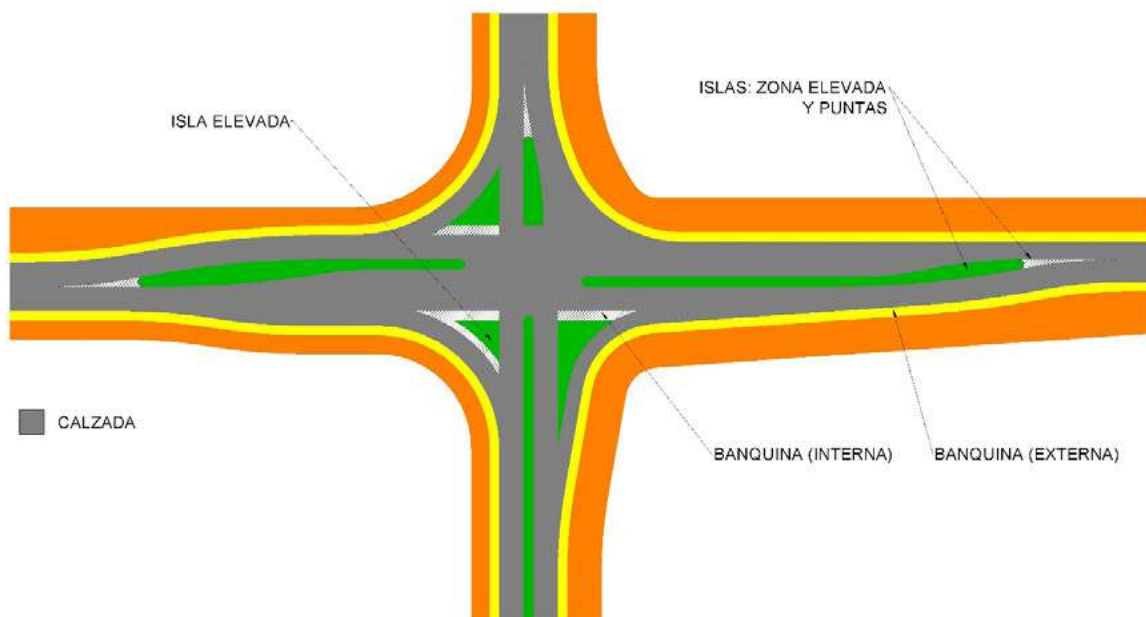




Figura 3.1_36
DETALLE DE ISLAS

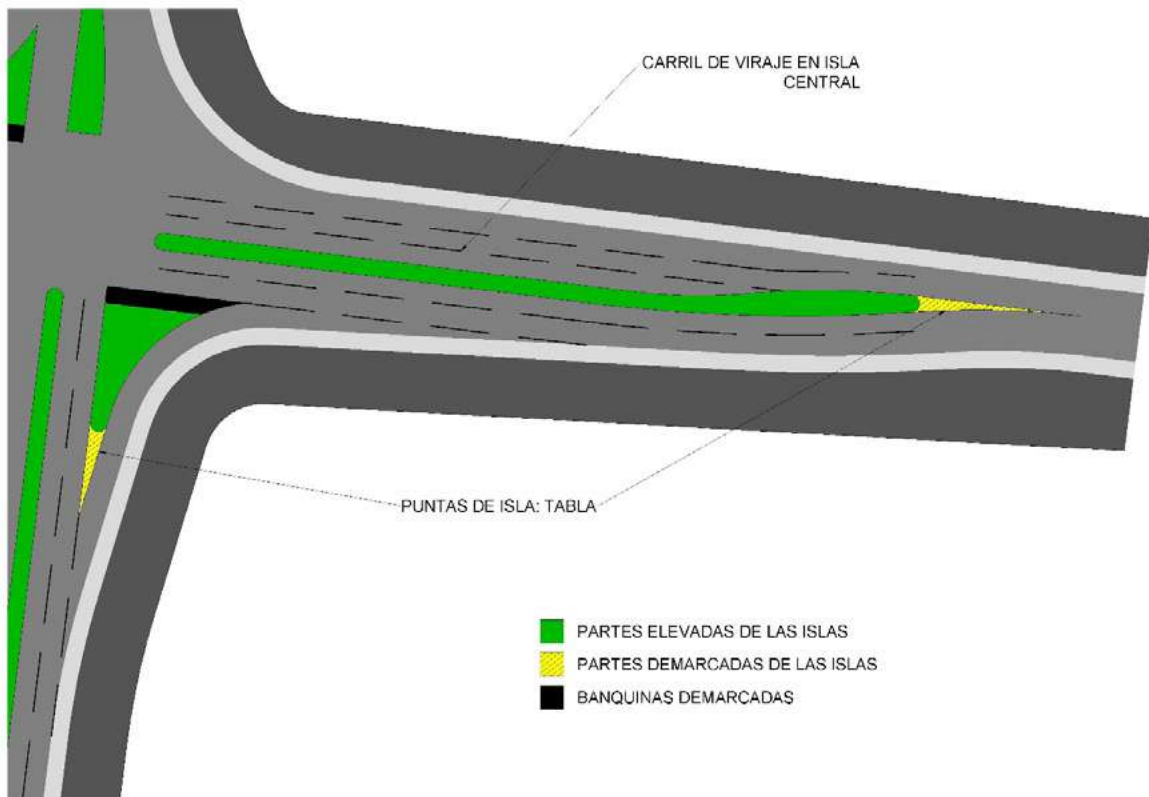




Figura 3.1_37
PRINCIPALES ELEMENTOS EN LAS CALZADAS DE INTERSECCIONES (1)

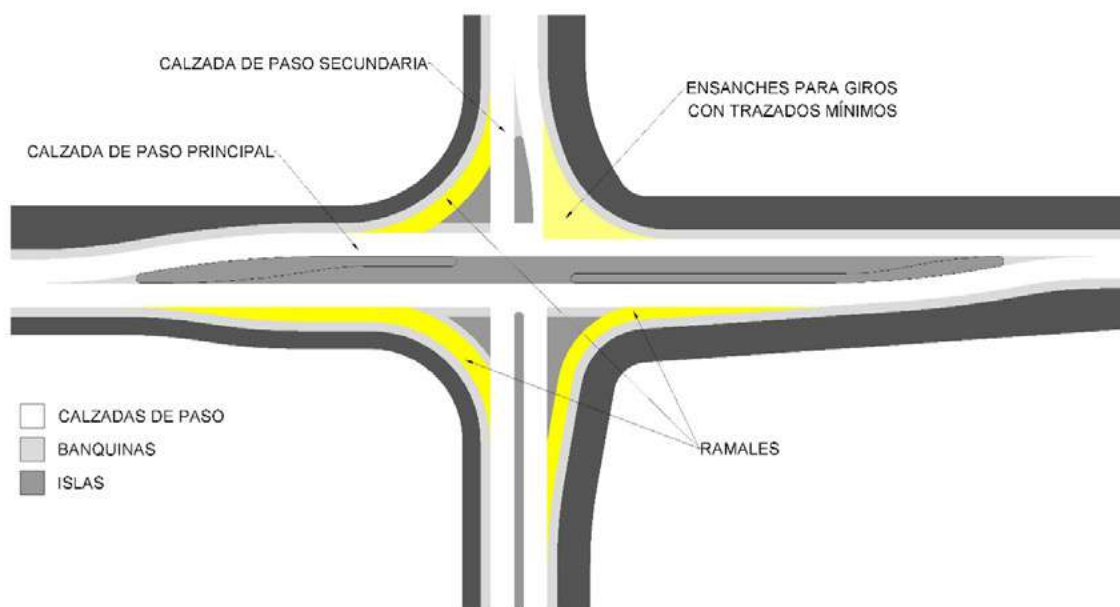


Figura 3.1_38
PRINCIPALES ELEMENTOS EN LAS CALZADAS DE INTERSECCIONES (2)

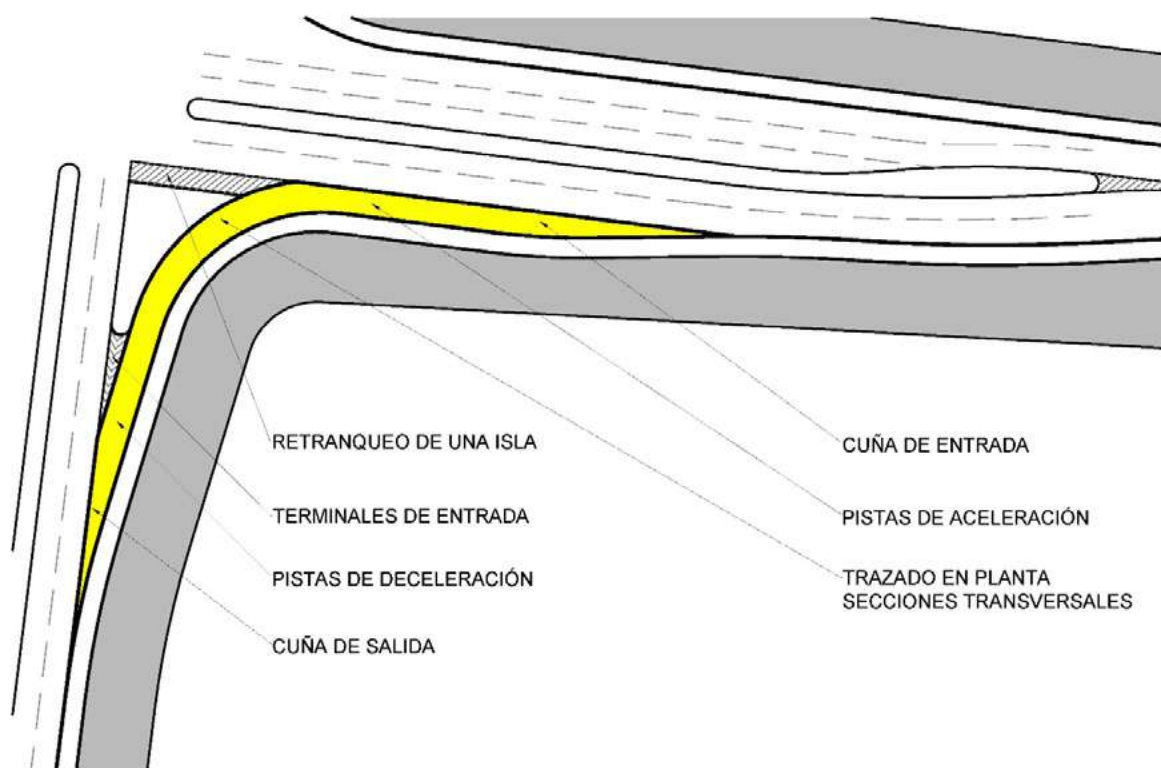


Figura 3.1_39
EJEMPLOS DE TRAMOS DE TRENZADO

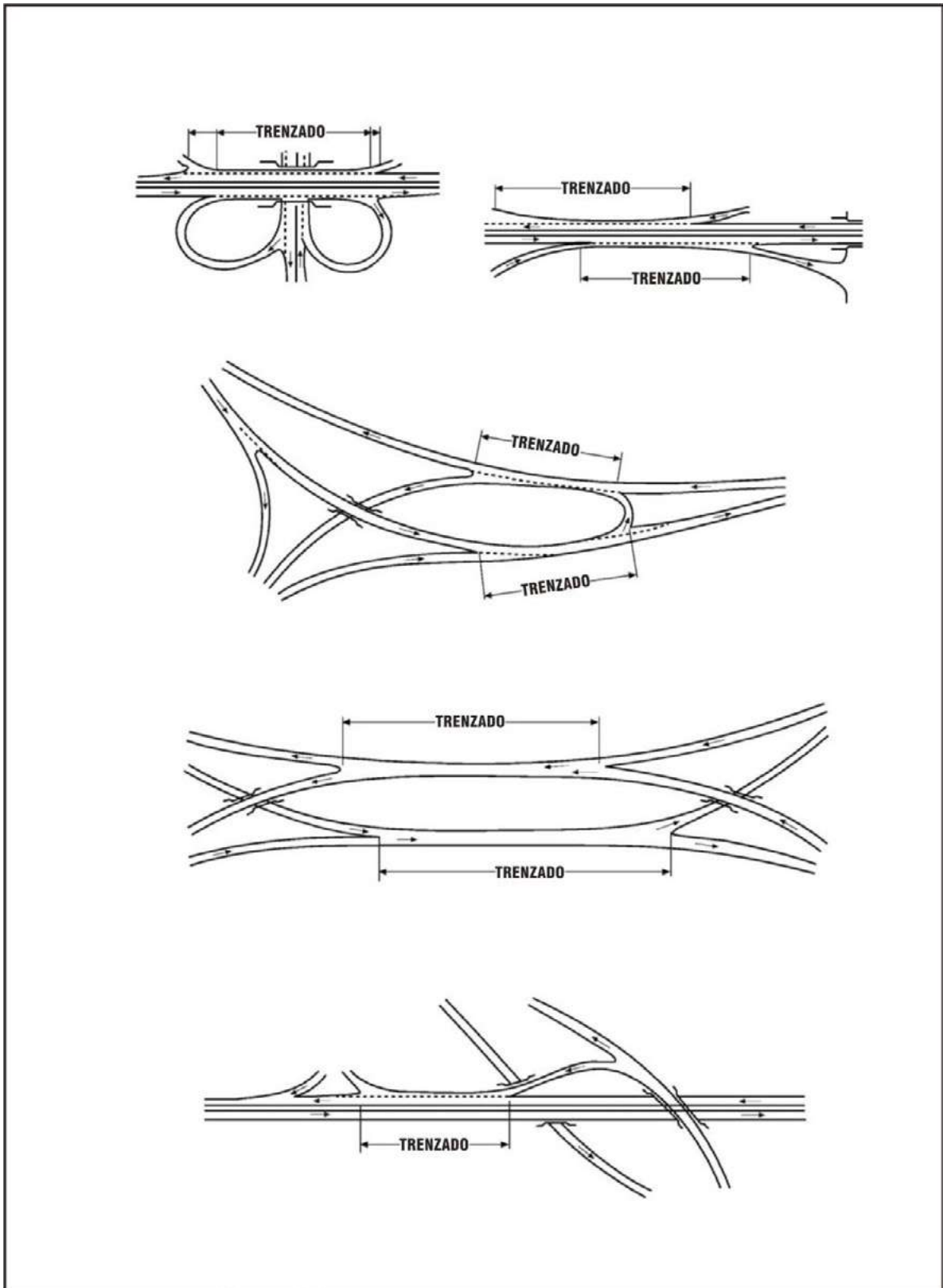


Figura 3.1_40
TIPOS DE TRENZADO

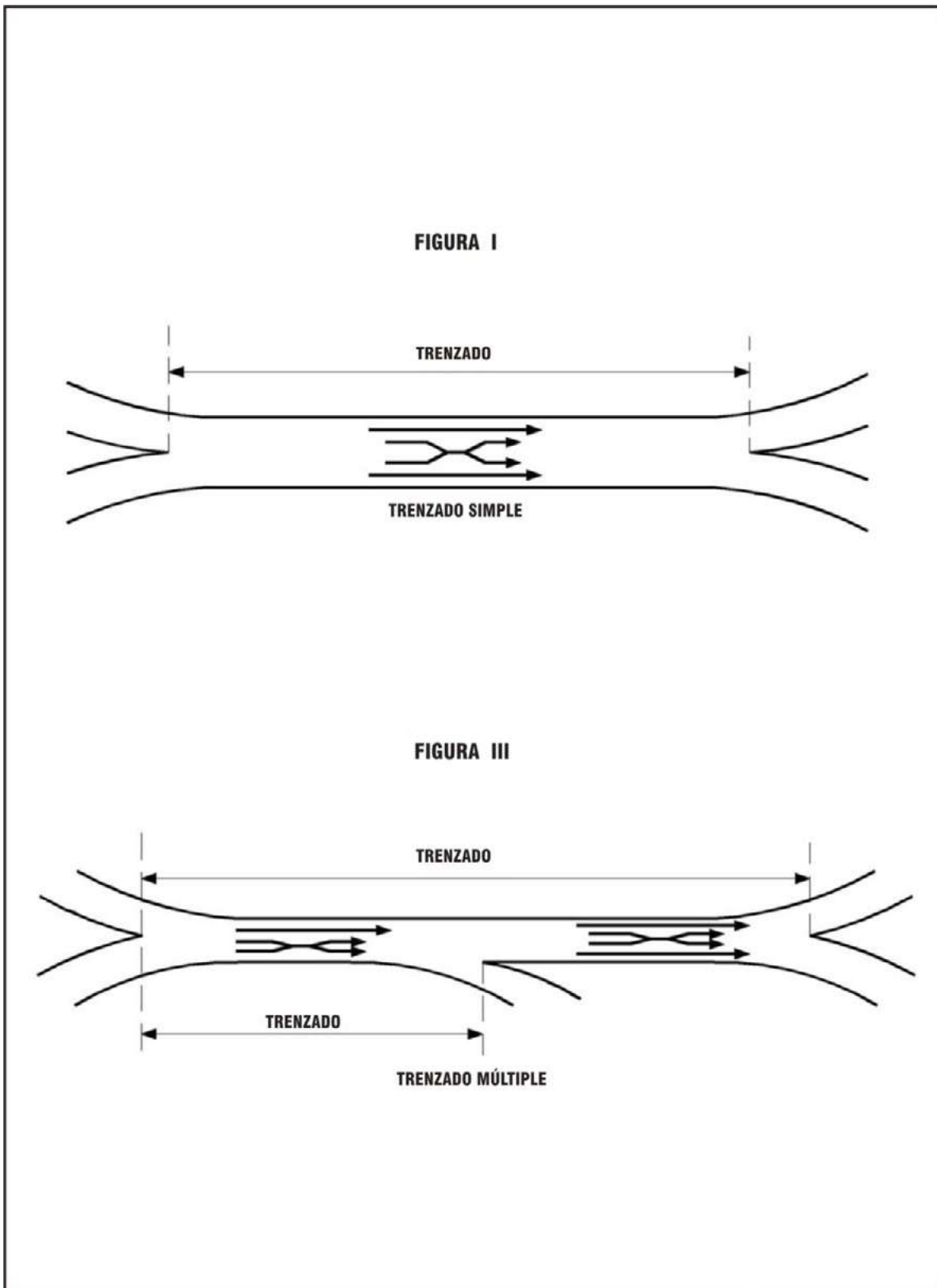


Figura 3.1_41
TIPOS BÁSICOS DE INTERSECCIONES

DE TRES RAMALES	EMPALME EN T	SIMPLE 	ENSANCHADA 	CANALIZADA 	
	EMPALME EN Y	SIMPLE 	CANALIZADAS 		
	INTERSECCIÓN EN +	SIMPLE 	ENSANCHADA 	CANALIZADA 	
DE CUATRO RAMALES	INTERSECCIÓN EN X	SIMPLE 	ENSANCHADA 	CANALIZADA 	
ESPECIALES	EN ESTRELLA 		ROTONDA 		

Figura 3.1_42 MODIFICACIONES DE TRAZADO POR NÚMERO DE RAMAS Y ESVAIAJE

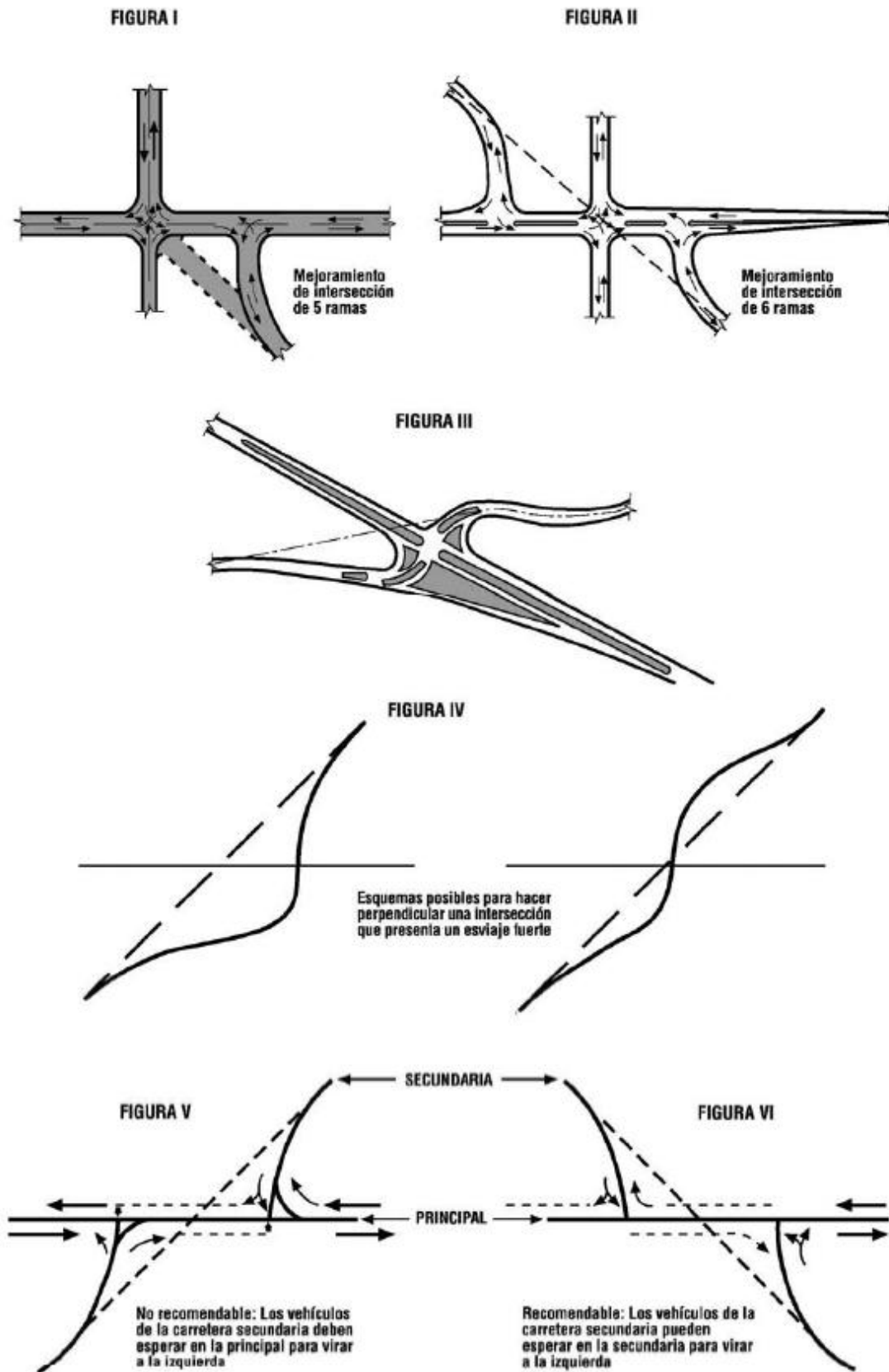
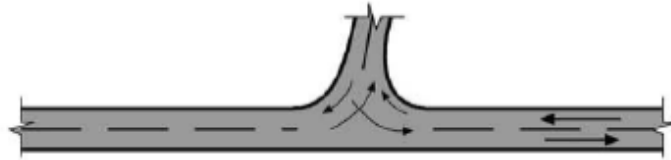
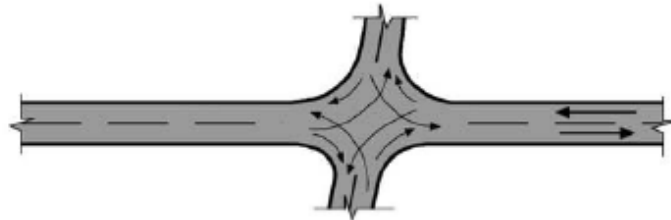


Figura 3.1_43
EMPALMES E INTERSECCIONES SIMPLES

A. EMPALME



B. INTERSECCION



C. INTERSECCION DE UN CAMINO DE DOBLE VIA

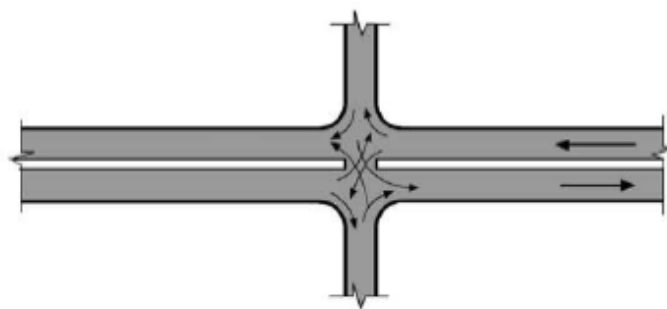
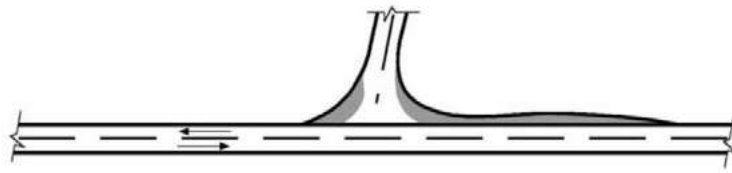
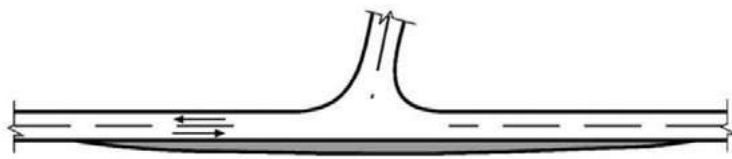


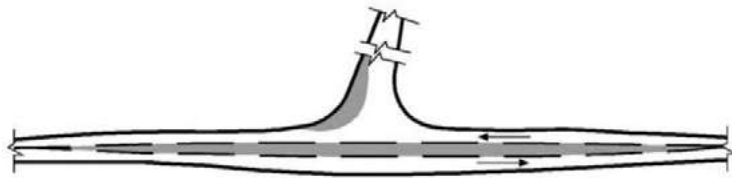
Figura 3.1_44 ENSANCHES PARA EMPALMES "I" O "Y" E INTERSECCIONES EN CRUZ



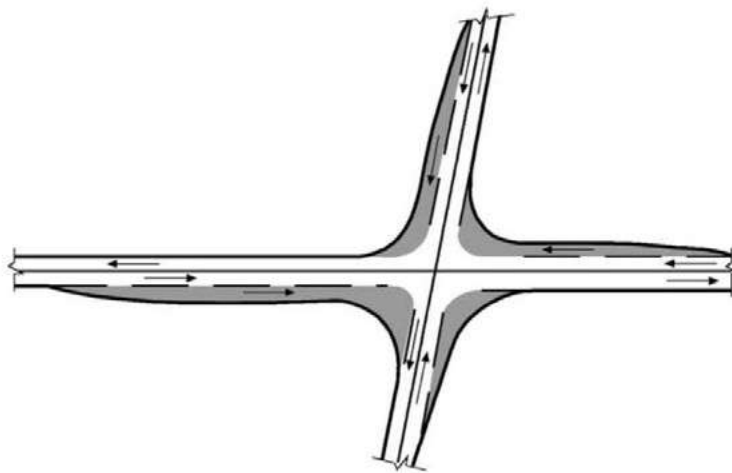
A. ENSANCHE MEDIANTE CARRIL ADYACENTE AL MISMO LADO DEL CAMINO INTERCEPTADO



B. ENSANCHE MEDIANTE CARRIL OPUESTO AL CAMINO INTERCEPTADO



C. SOLUCIÓN DE ENSANCHE CON CARRIL INTERMEDIO Y ENSANCHE EN EL CAMINO INTERCEPTADO



D. ENSANCHES LATERALES EN AMBOS CAMINOS

Figura 3.1_45
EMPALMES CANALIZADOS VÁLIDOS PARA TIPOS “X” O “Y”.

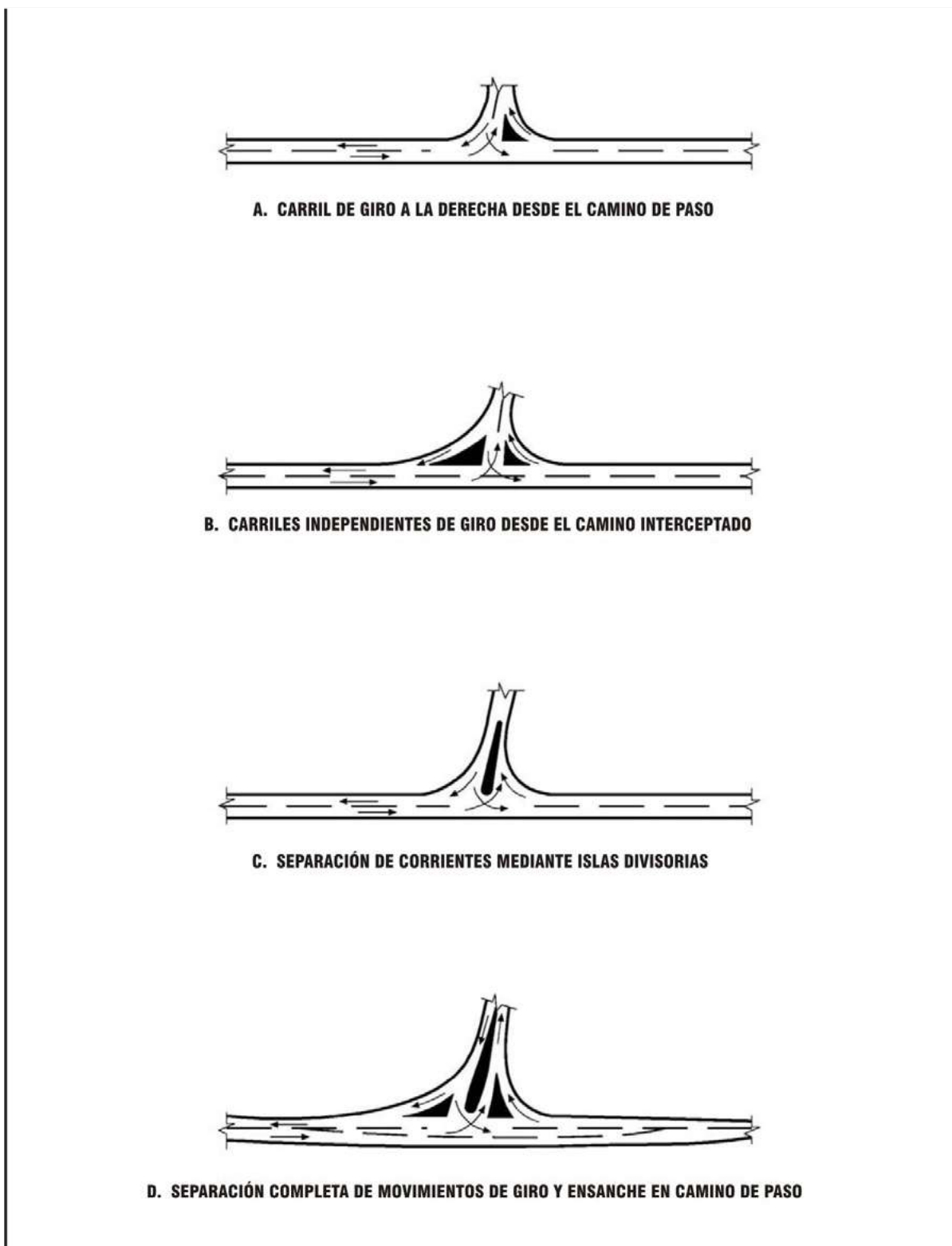
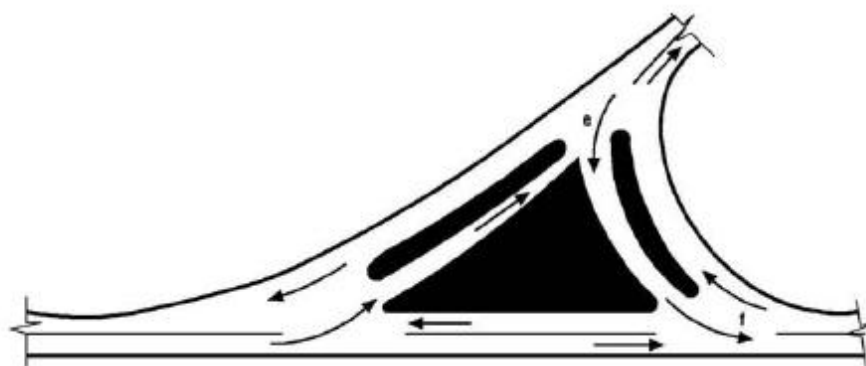
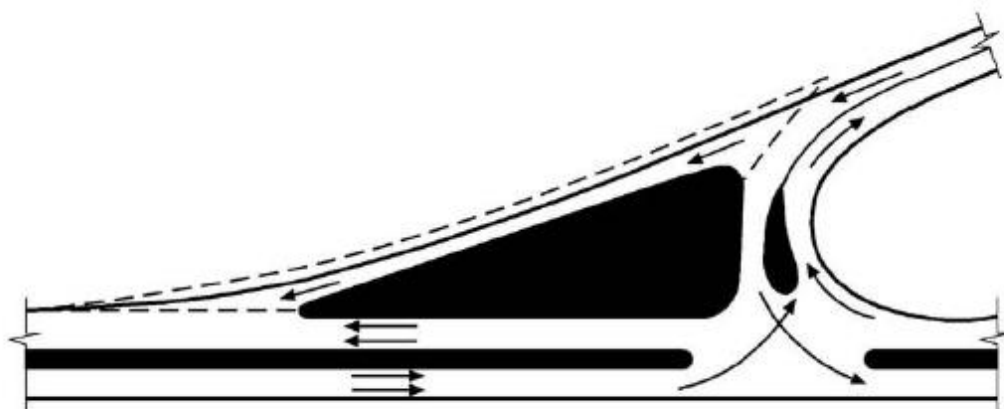


Figura 3.1_46
EMPALMES CANALIZADOS EN "Y"



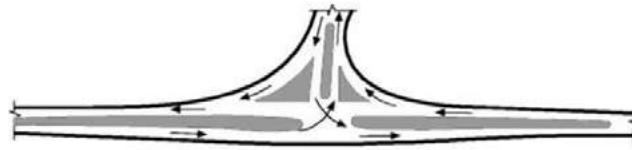
A. PISTAS DE GIRO BIDIRECCIONALES, CAMINO DE PASO DE SIMPLE VIA



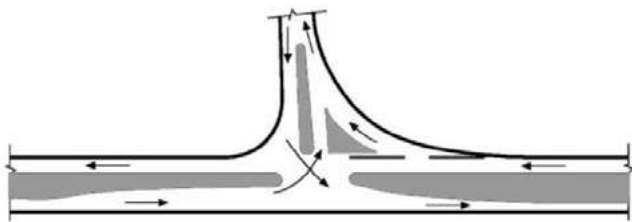
B. SEPARACION DE PISTAS DE GIRO VALIDA CUANDO EL CAMINO DE PASO TIENE DOBLE VIA

NOTA:
ESTE TIPO DE SOLUCION IMPLICA ISLAS TRIANGULARES DE GRANDES DIMENSIONES.
LADO MINIMO 30 A 50 METROS.

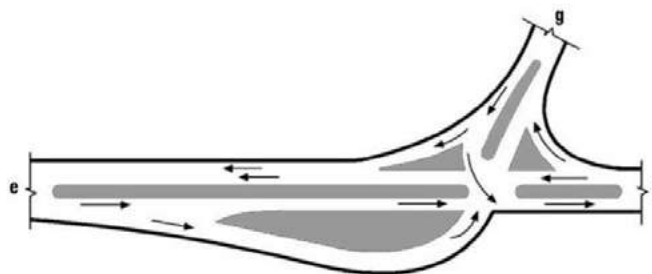
Figura 3.1_47 EMPALMES CANALIZADOS DE ALTO COSTO



A. EMPALME T DE ALTO COSTO



B. EMPALME T CON ENSANCHE EN MEDIANA



C. EMPALME DE ALTO COSTO

NOTA: SOLO PARA VOLUMENES DE PUNTA MUY PRONUNCIADOS Y DE CORTA DURACIÓN.

Figura 3.1_48
INTERSECCIONES CANALIZADAS

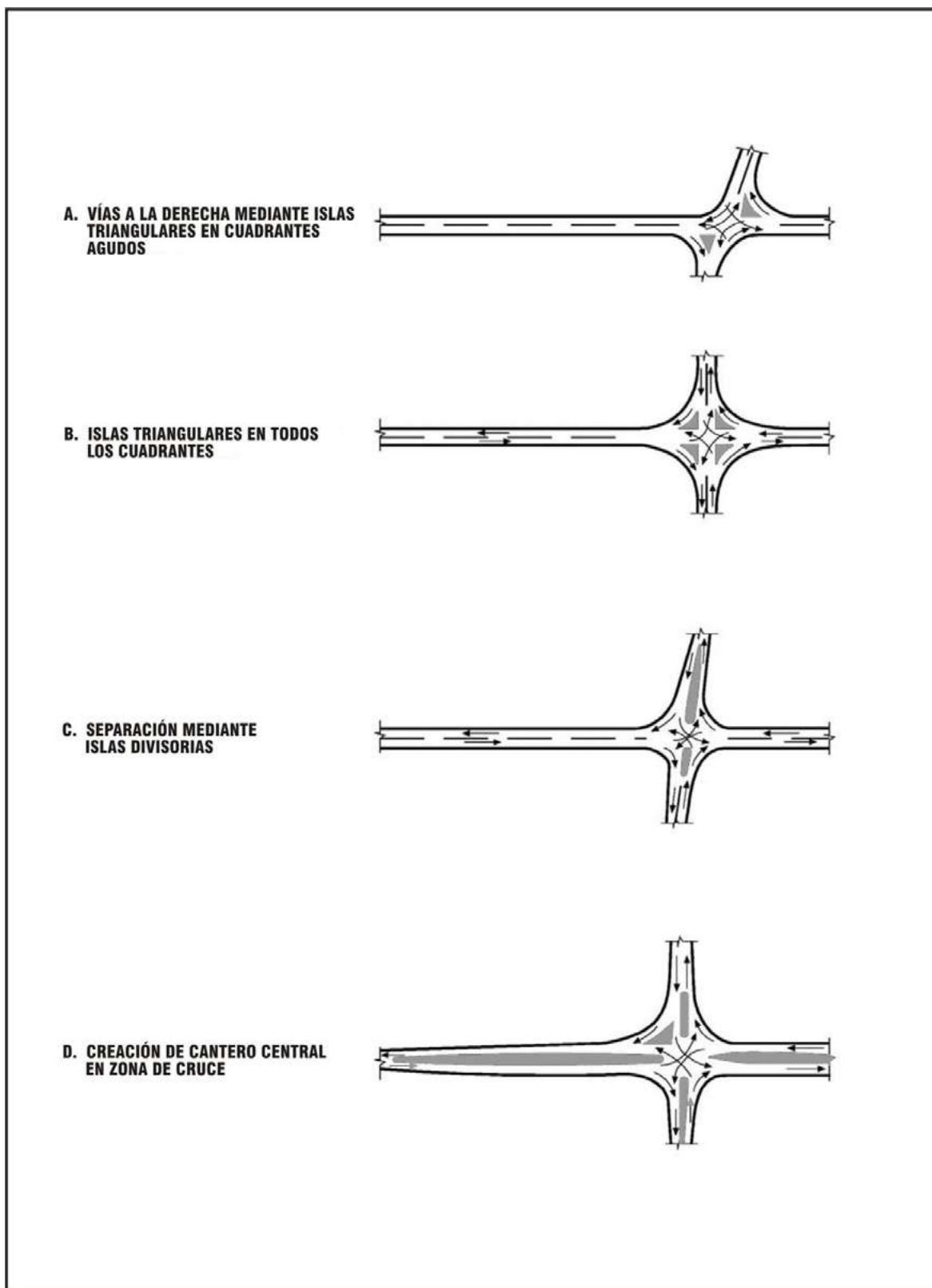


Figura 3.1_49 INTERSECCIONES CON IMPORTANTES GIROS A LA IZQUIERDA EN UN CUADRANTE

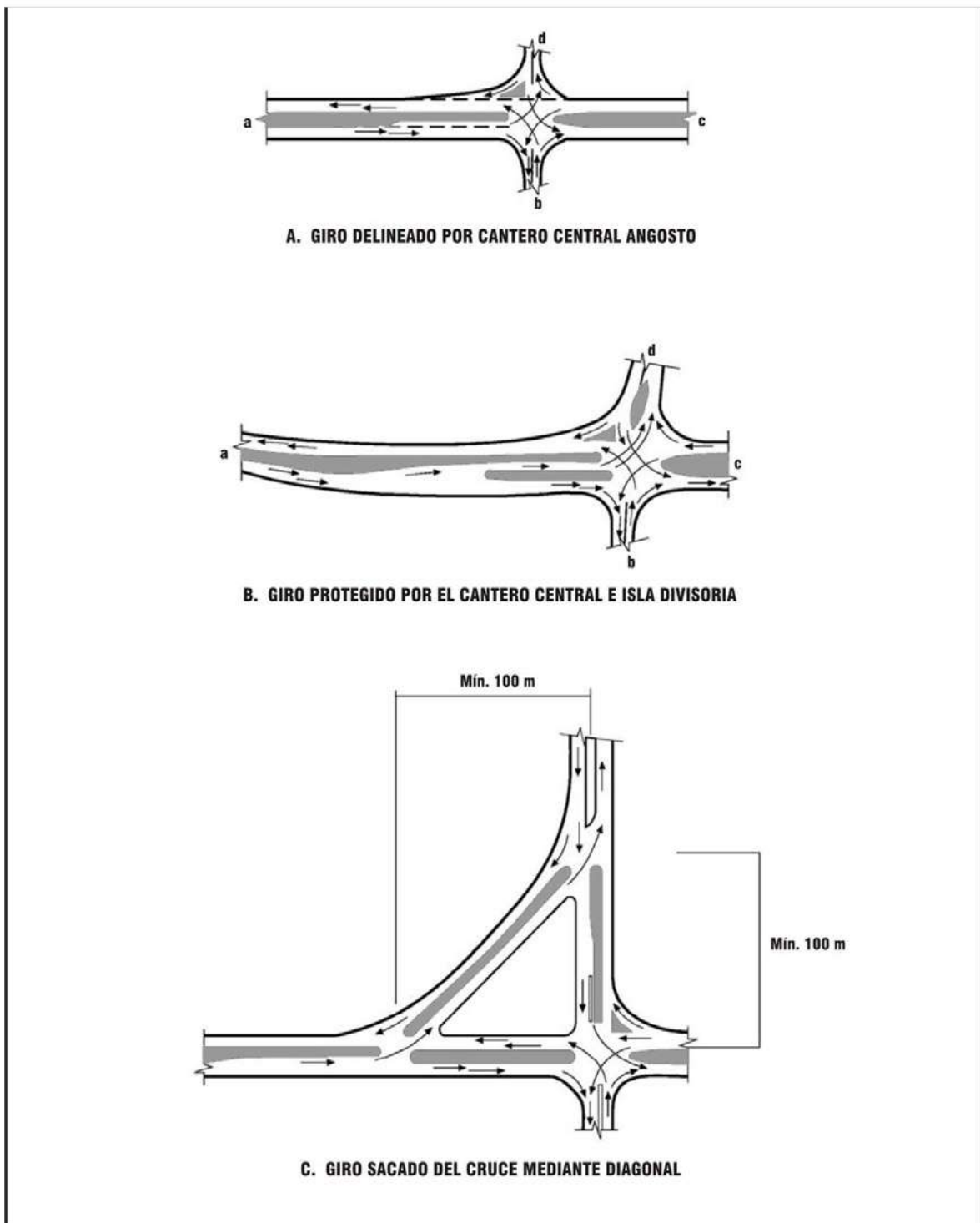


Figura 3.1_50
VISIBILIDAD EN INTERSECCIONES

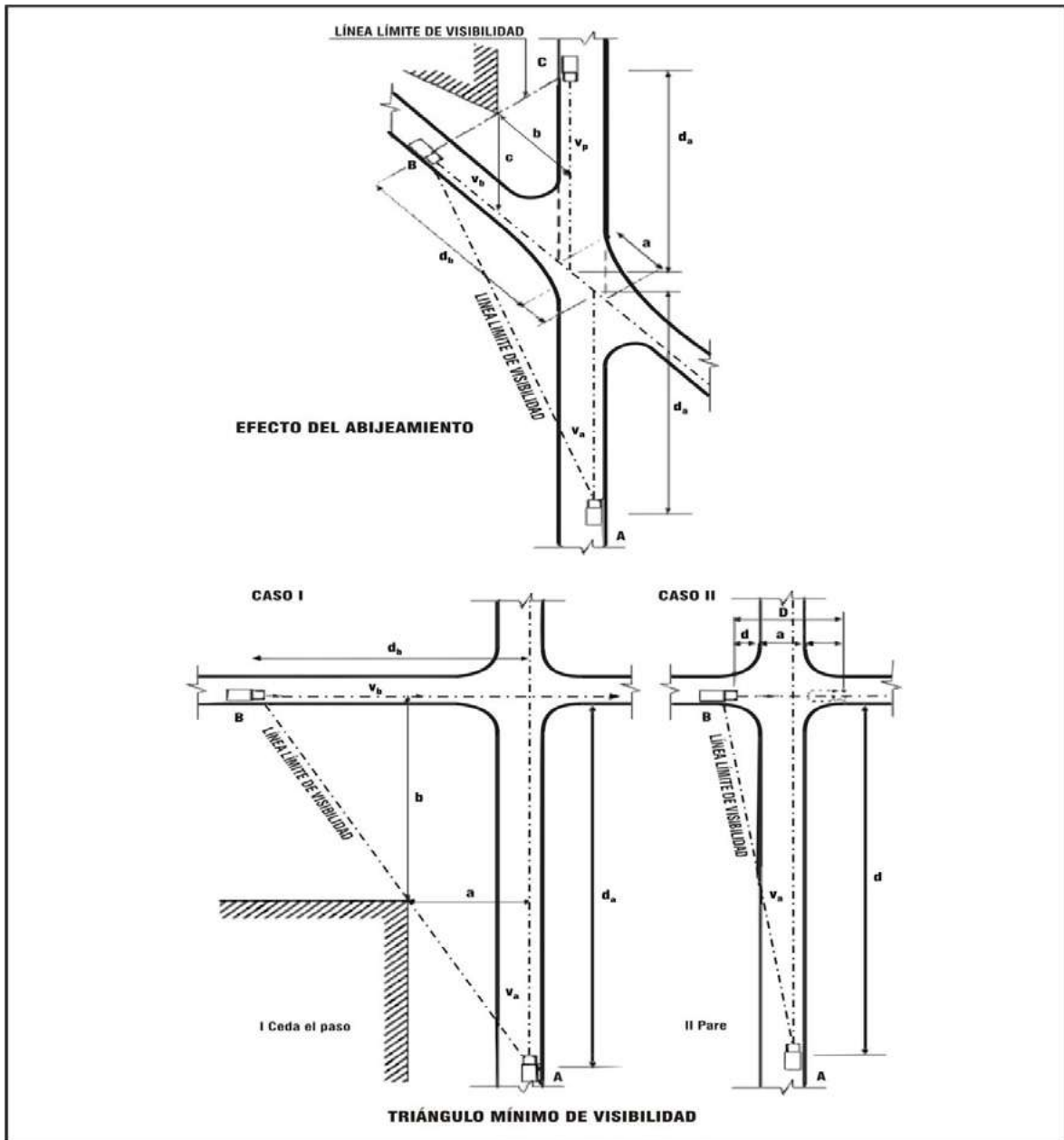


Figura 3.1_51
ESQUEMAS EN PLANTA Y ALZADO (ELEVACIÓN) DE CRUCES A NIVEL
CON VÍAS FÉRREAS

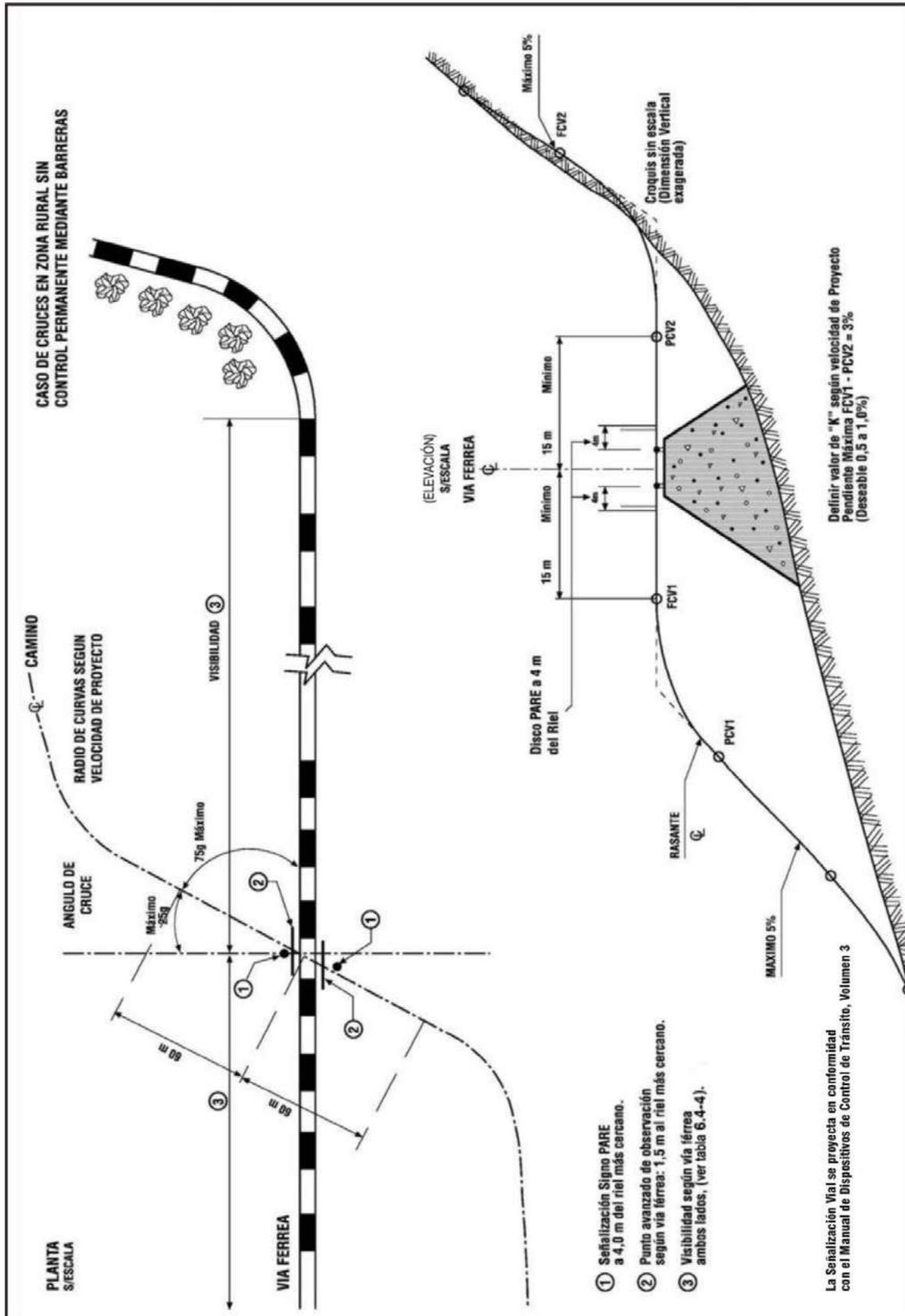


Figura 3.1_52
TRAZADO DE CURVA DE TRES CENTROS

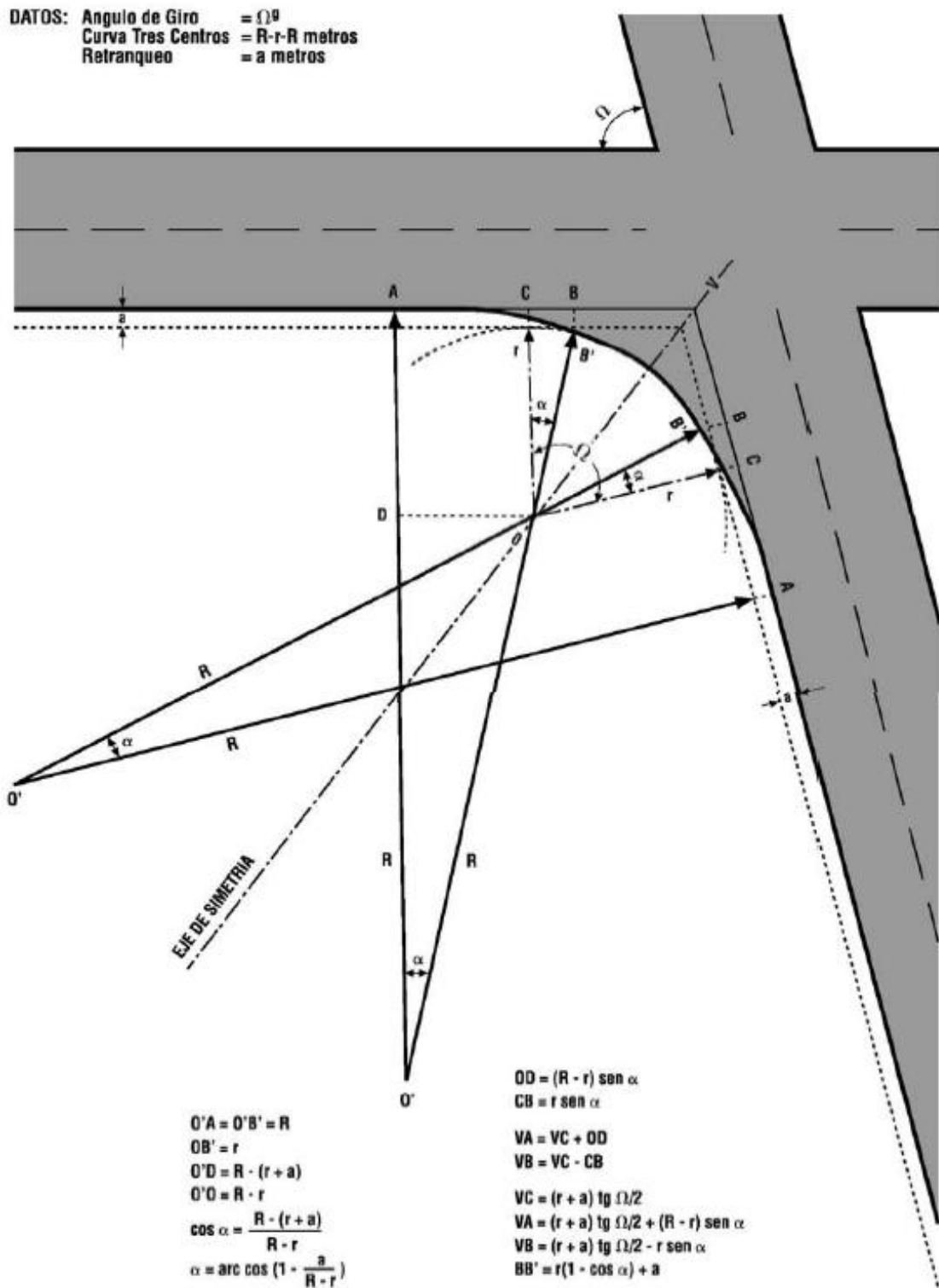


Figura 3.1_53
TRAZADOS MÍNIMOS PARA VEHÍCULOS LIVIANOS (L)

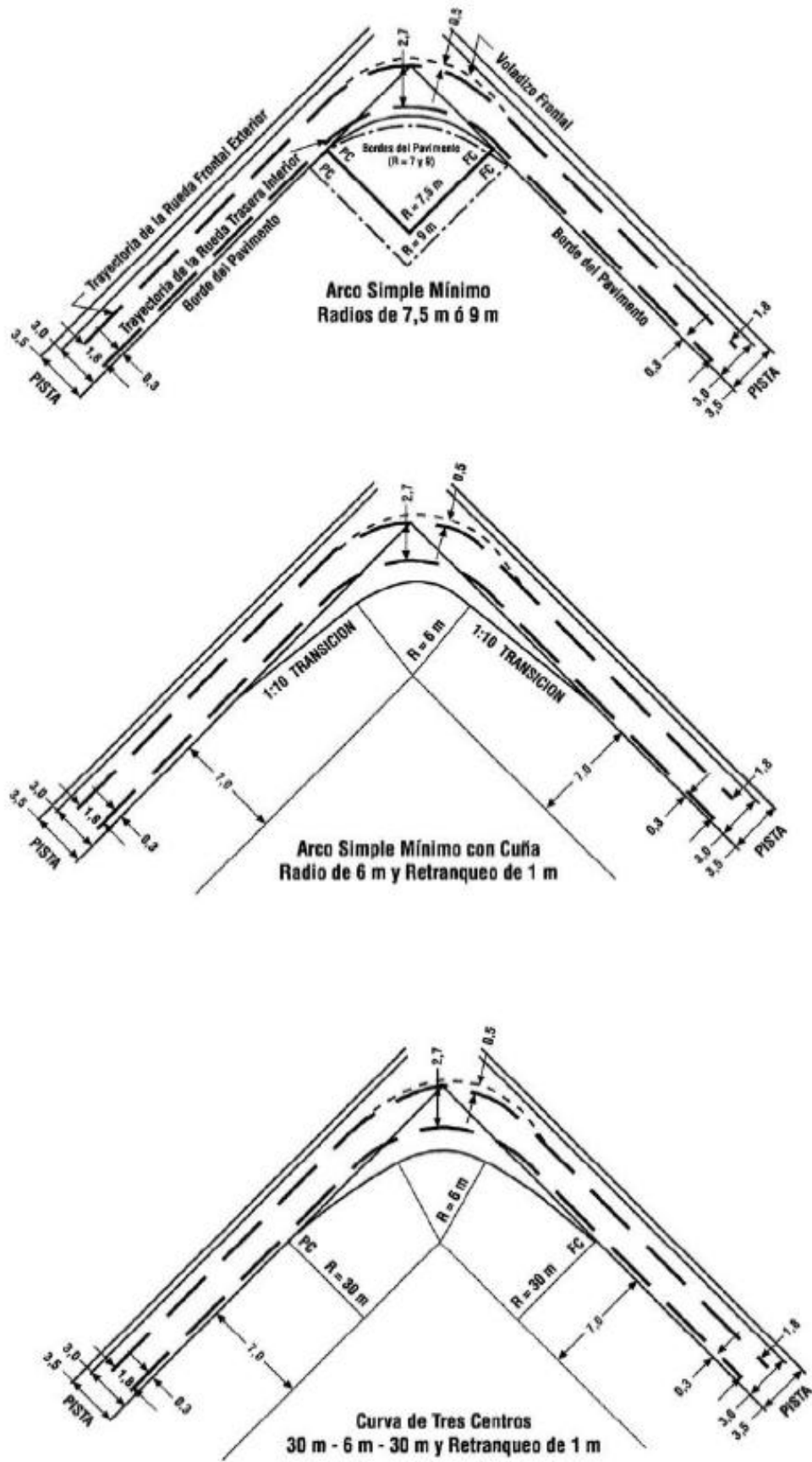


Figura 3.1_54
TRAZADOS MÍNIMOS PARA CAMIÓN SIMPLE (C)
APLICABLE A OMNIBUS

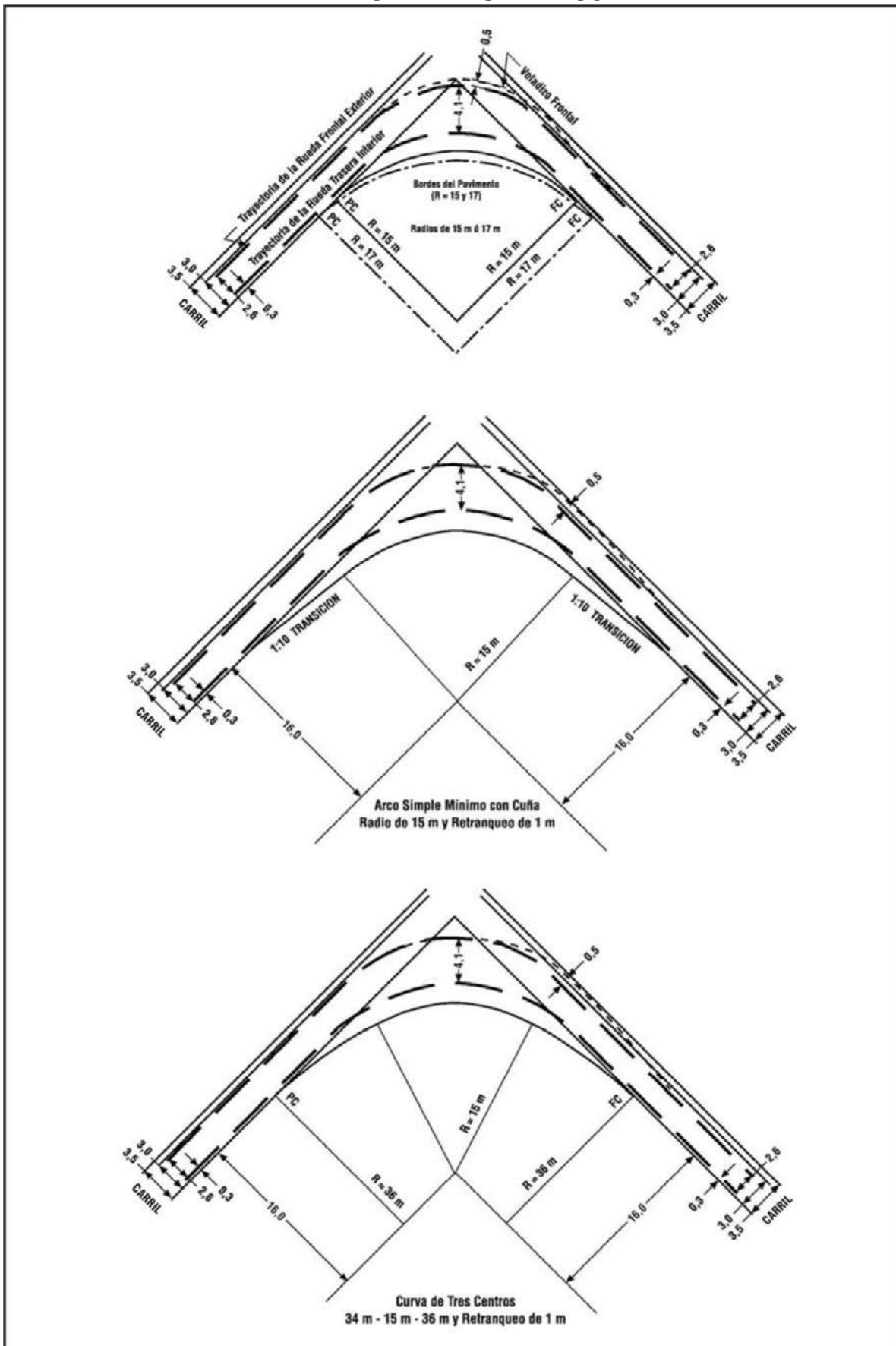


Figura 3.1_55
TRAZADOS MÍNIMOS PARA TRACTO CAMIÓN CON SEMIREMOLQUE
CORRIENTE (VA)

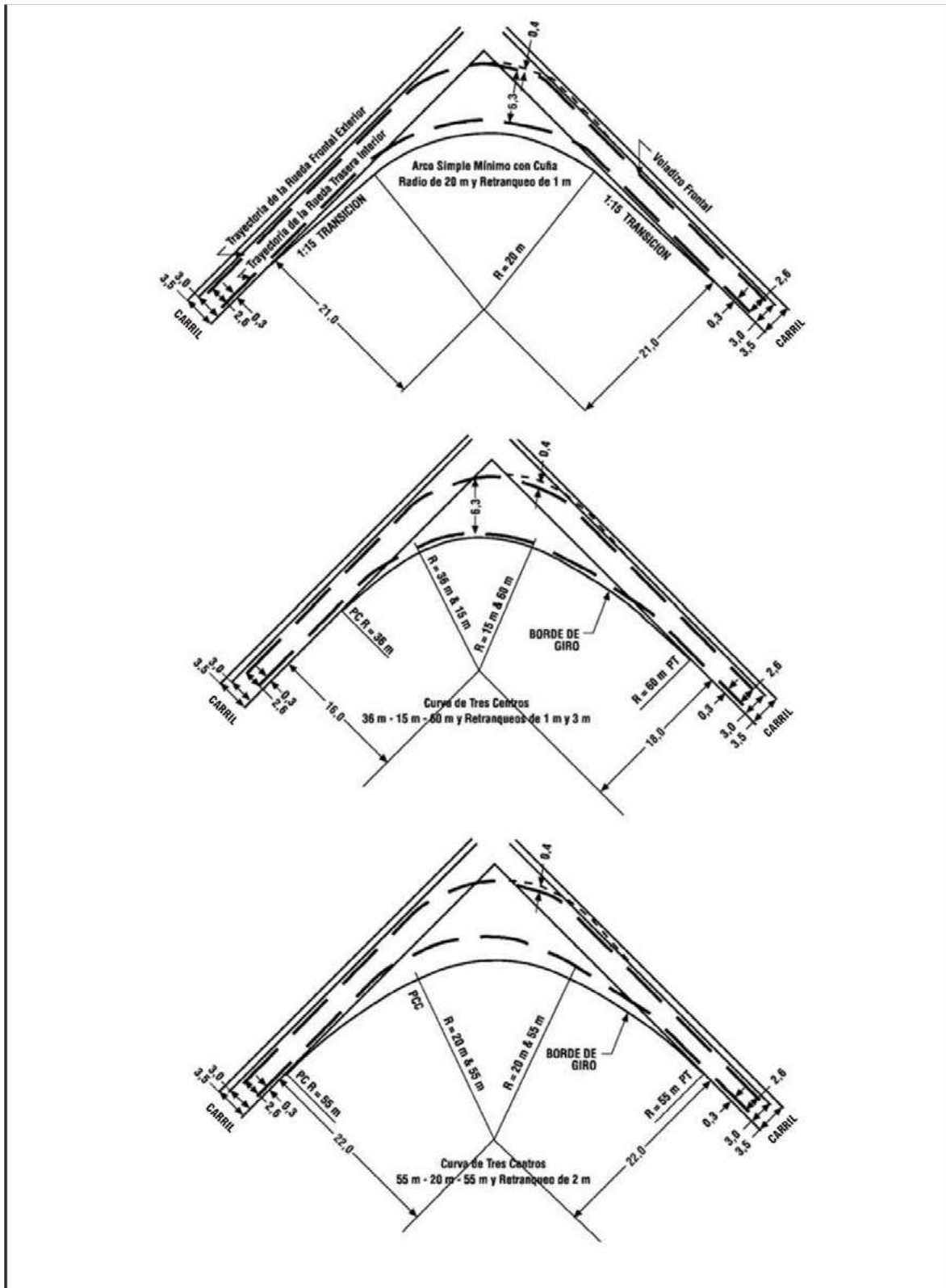


Figura 3.1_56
TRAZADOS PARA RAMALES DE GIRO CON ISLAS MÍNIMAS

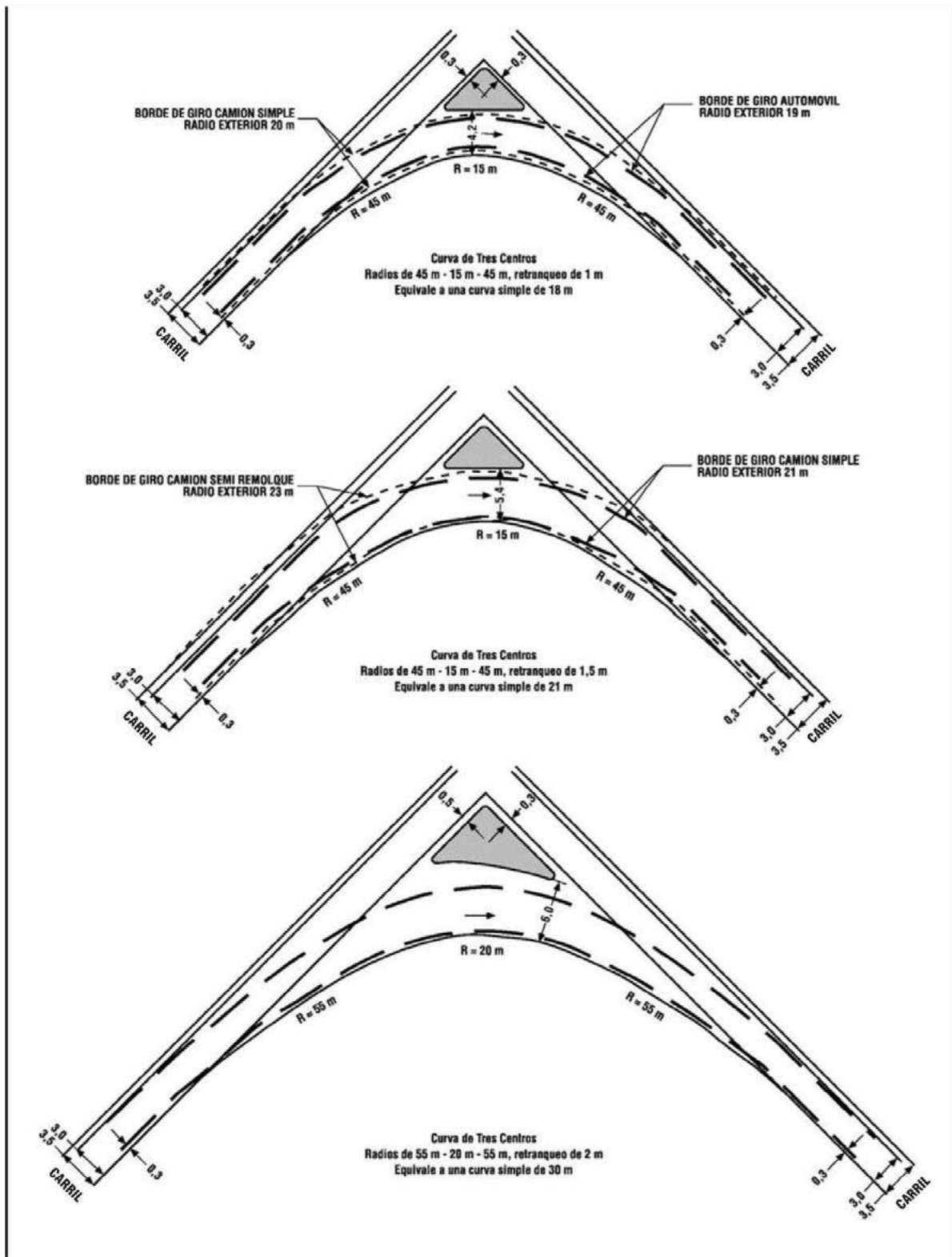


Figura 3.1_57
CARRILES DE CAMBIO DE VELOCIDAD

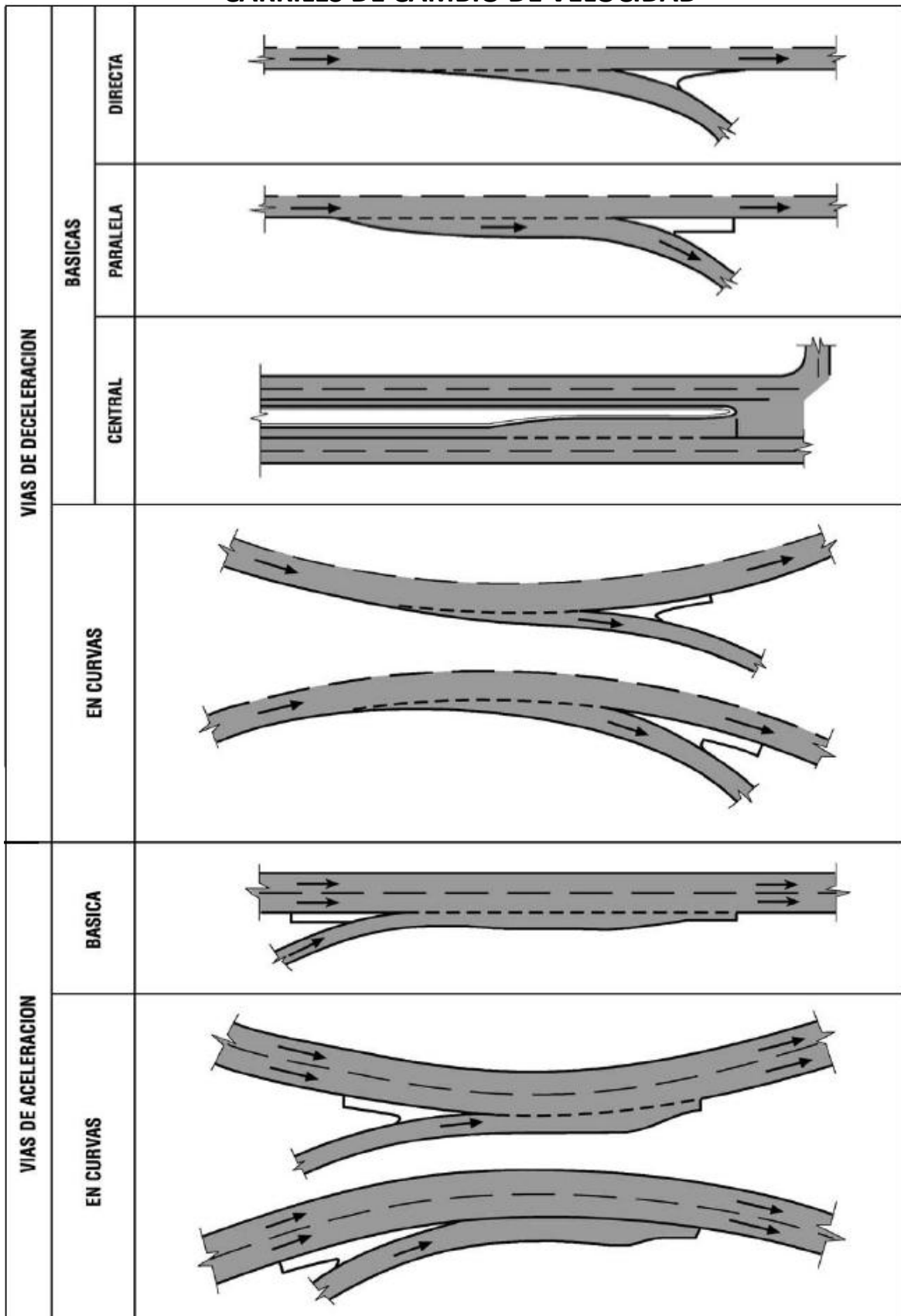
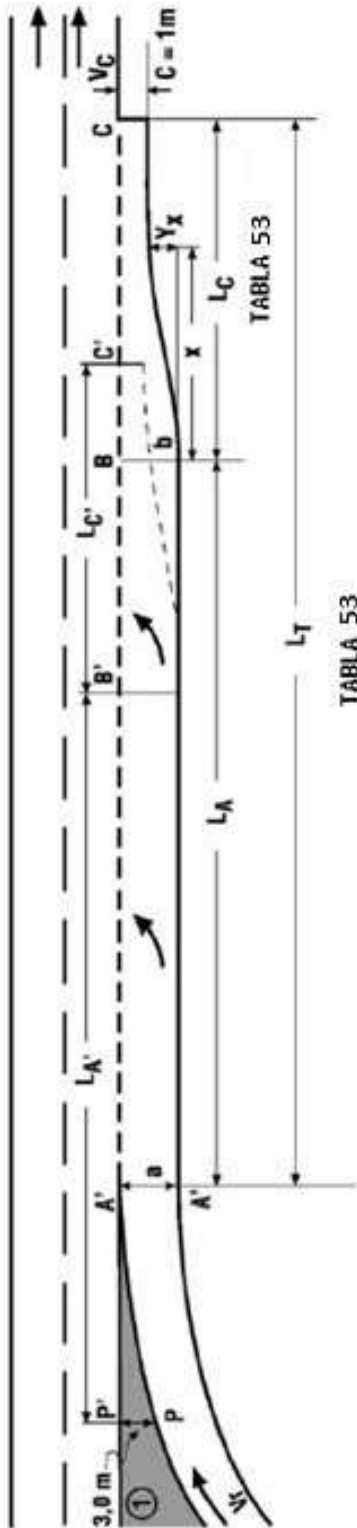


Figura 3.1_58
CARRILES DE ACCELERACIÓN

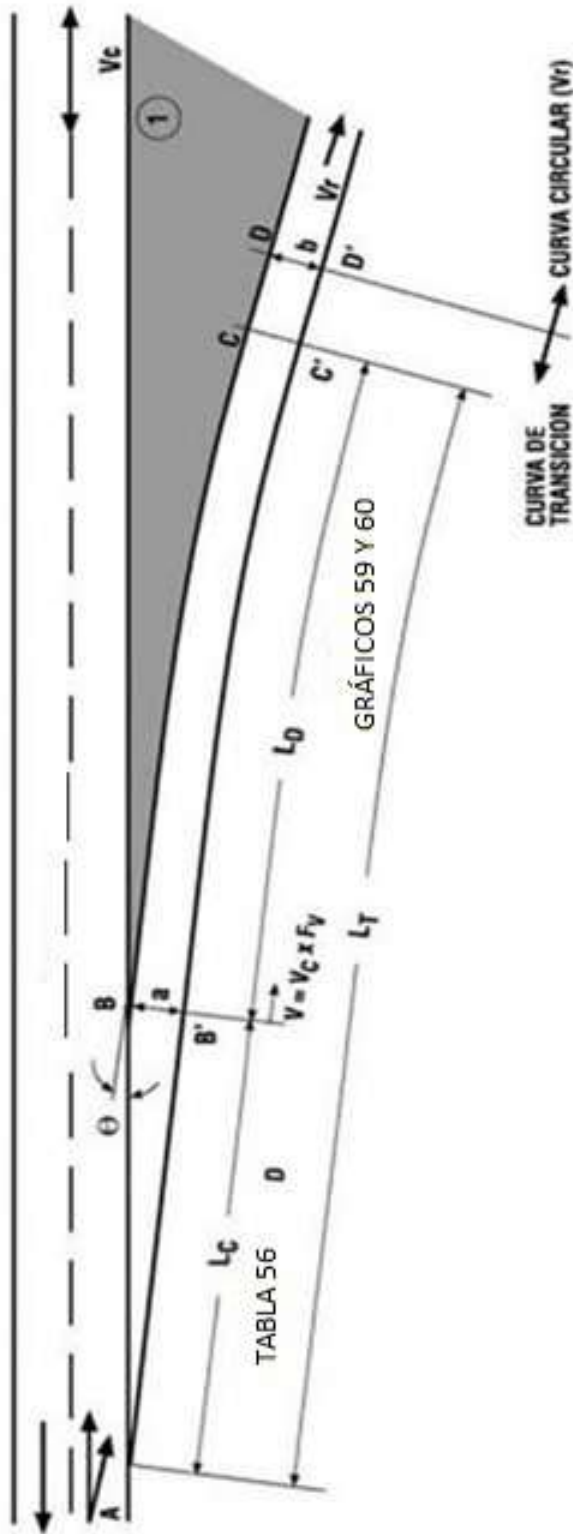


NOTAS:

- (1) Esta zona se define según párrafos 801.04.3.(g1) y 801.04.3.(g2). Si el ramal se define en elevación mediante eje longitudinal independiente, véase también 801.04.5.(c)
- (2) Peraltes y Transiciones en numeral 801.04.6.(b)
- (3) $Y_x = F(b-c)$ (F en tabla)

		DISTANCIAS "X" DESDE EL PUNTO B O B' (M)														
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
Velocidad de Proyecto (Km/h)	Largo de Cuña (Lc) (m)	VALORES "F" PARA EL CALCULO DE Y _x														
	60 - 80	0,0127	0,0629	0,1656	0,3190	0,5000	0,6810	0,8344	0,9371	0,9873	1,0000					
90 - 120	75	0,0053	0,0245	0,0629	0,1252	0,2129	0,3190	0,4382	0,5618	0,6810	0,7881	0,8748	0,9371	0,9755	0,9947	1,0000

Figura 3.1_59
CARRILES DE DECELERACIÓN CASO I: DIRECTA



NOTA:

Caso óptimo: $CD = 0$, o sea \overline{BD} (curva de transición) = L_0

Figura 3.1_60
CARRILES DE DECELERACIÓN CASO II: EN PARALELO

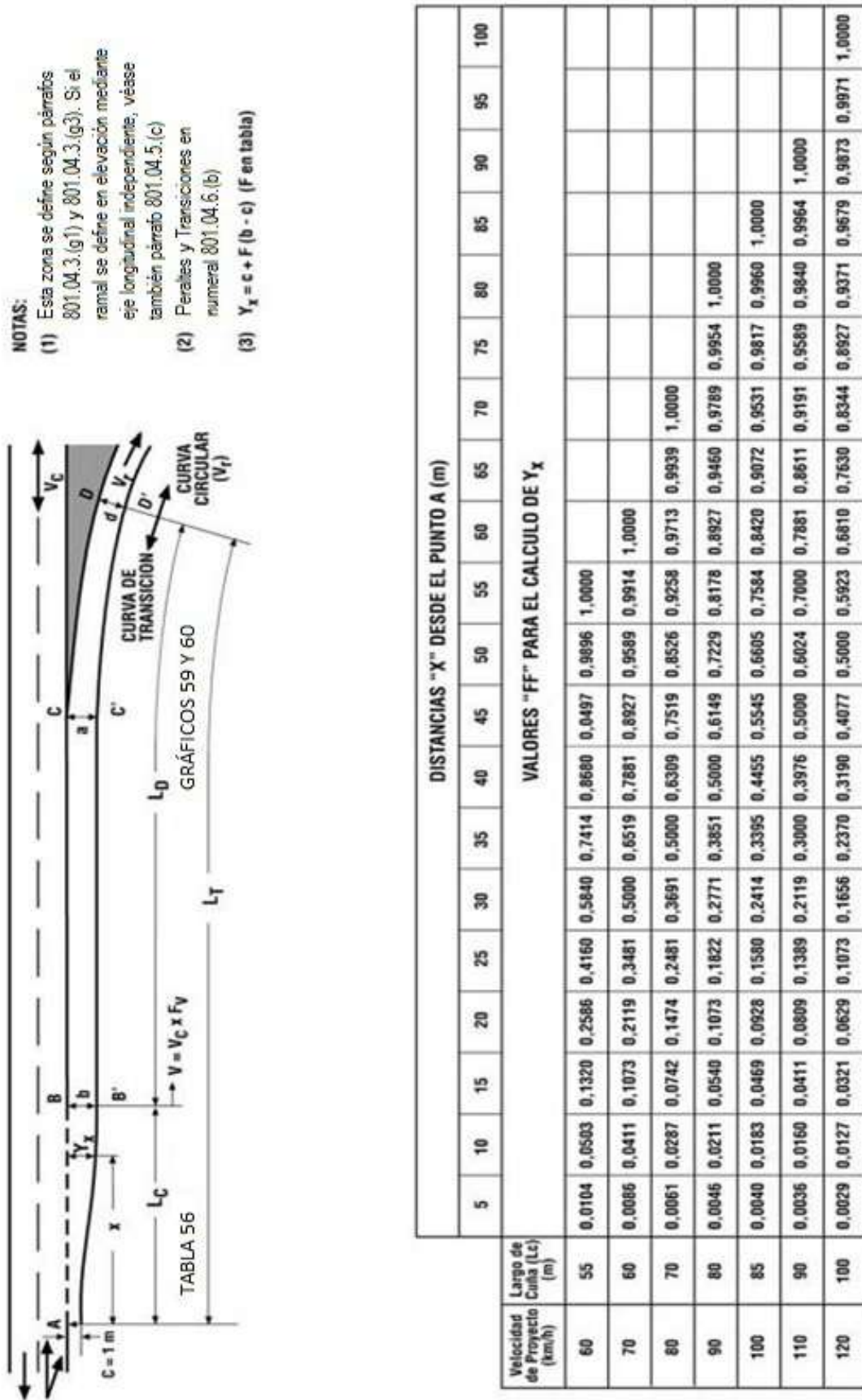


Figura 3.1_61
LONGITUDES DE CARRIL DE DECELERACION

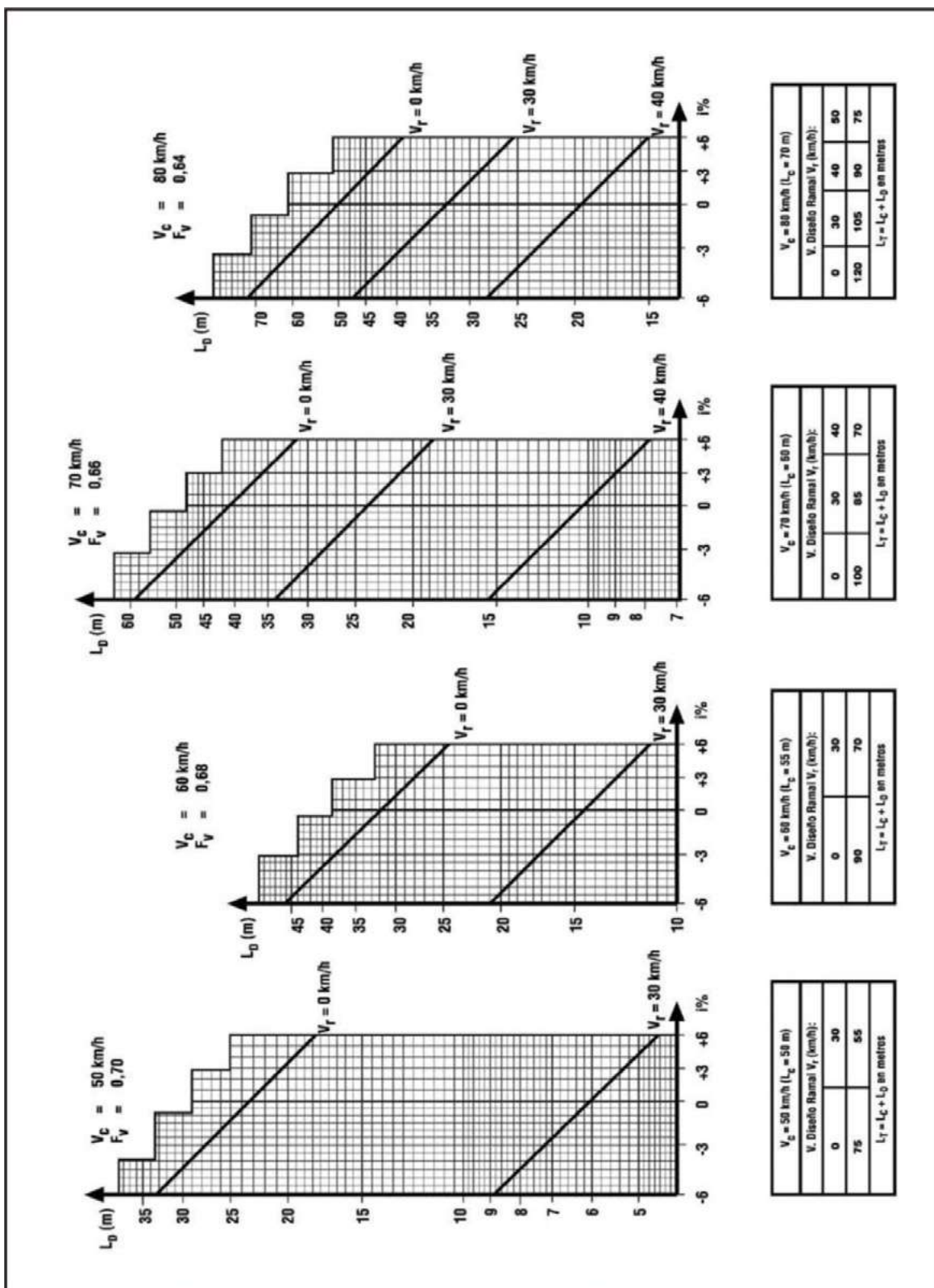


Figura 3.1_62
LONGITUDES DE CARRIL DE DECELERACION

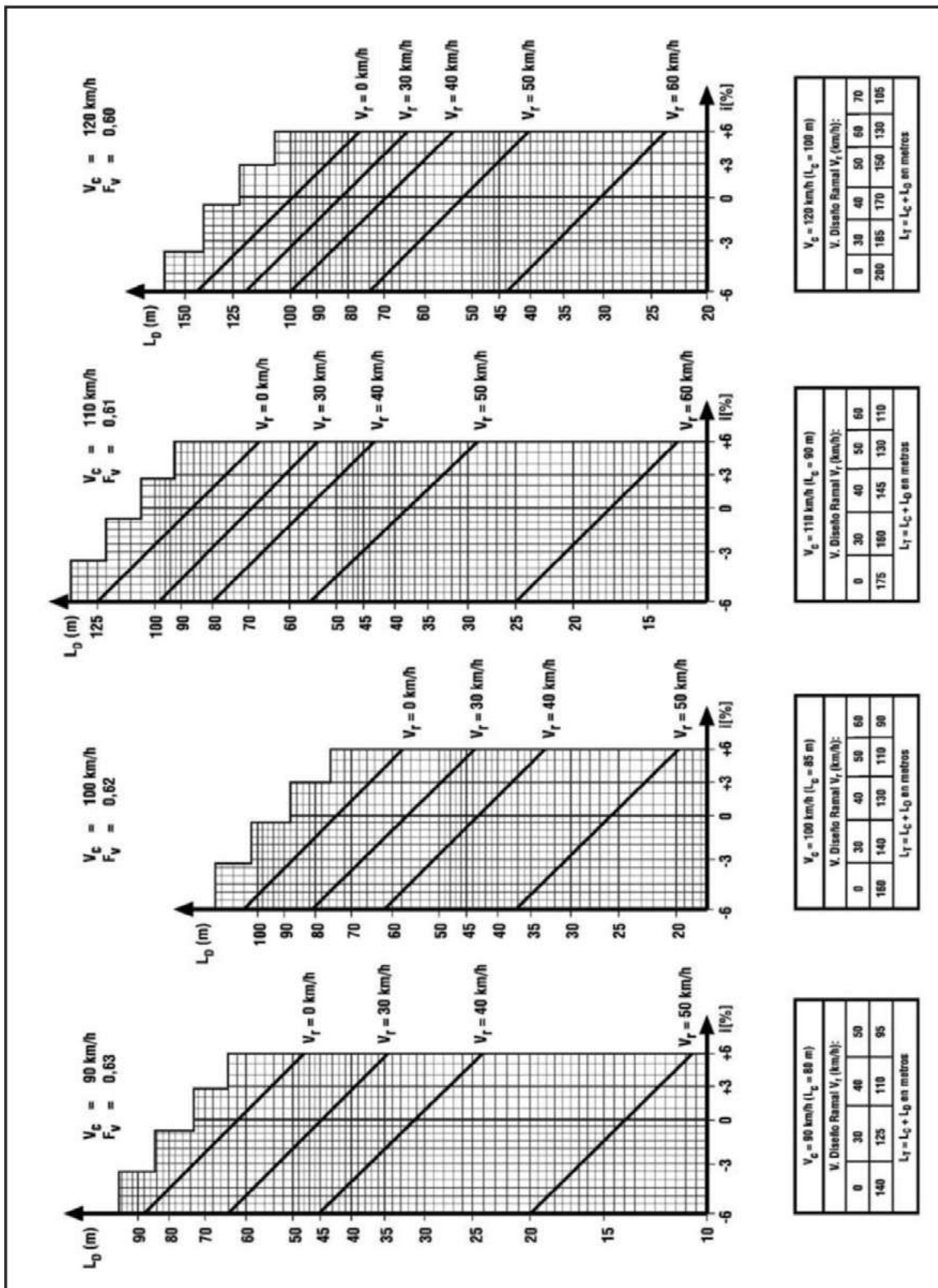
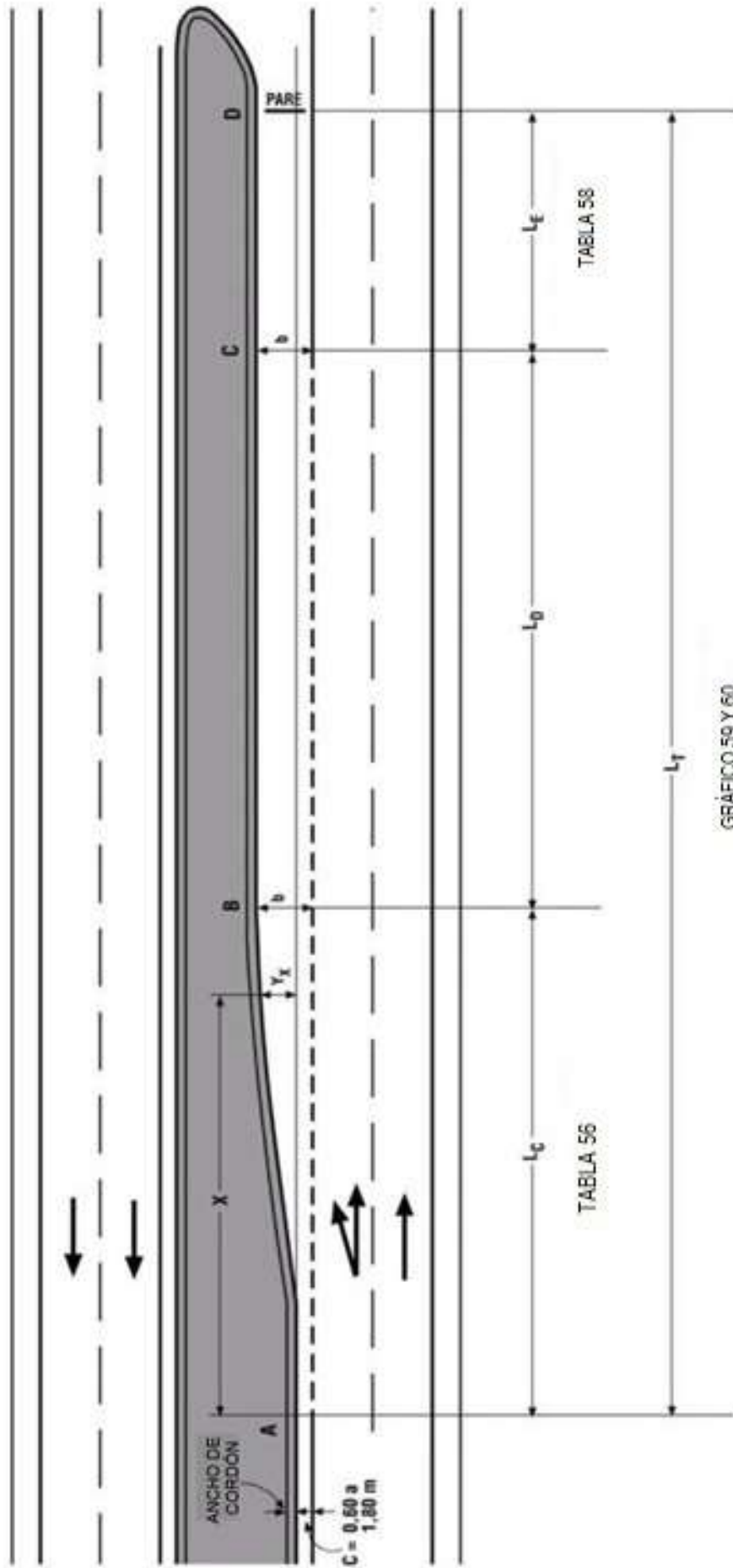


Figura 3.1_63
CARRIL DE DECELERACIÓN CENTRAL



NOTA.- Para valores de $Y_x = f(x)$, véase tabla en GRÁFICO 60 ($c = 0,60$ m a $1,20$ m)

Figura 3.1_64
TRAZADO MÍNIMO CON CANALIZACIÓN PARA GIROS A LA IZQUIERDA
CON ENSANCHE DEL CAMINO Y PINTURA.

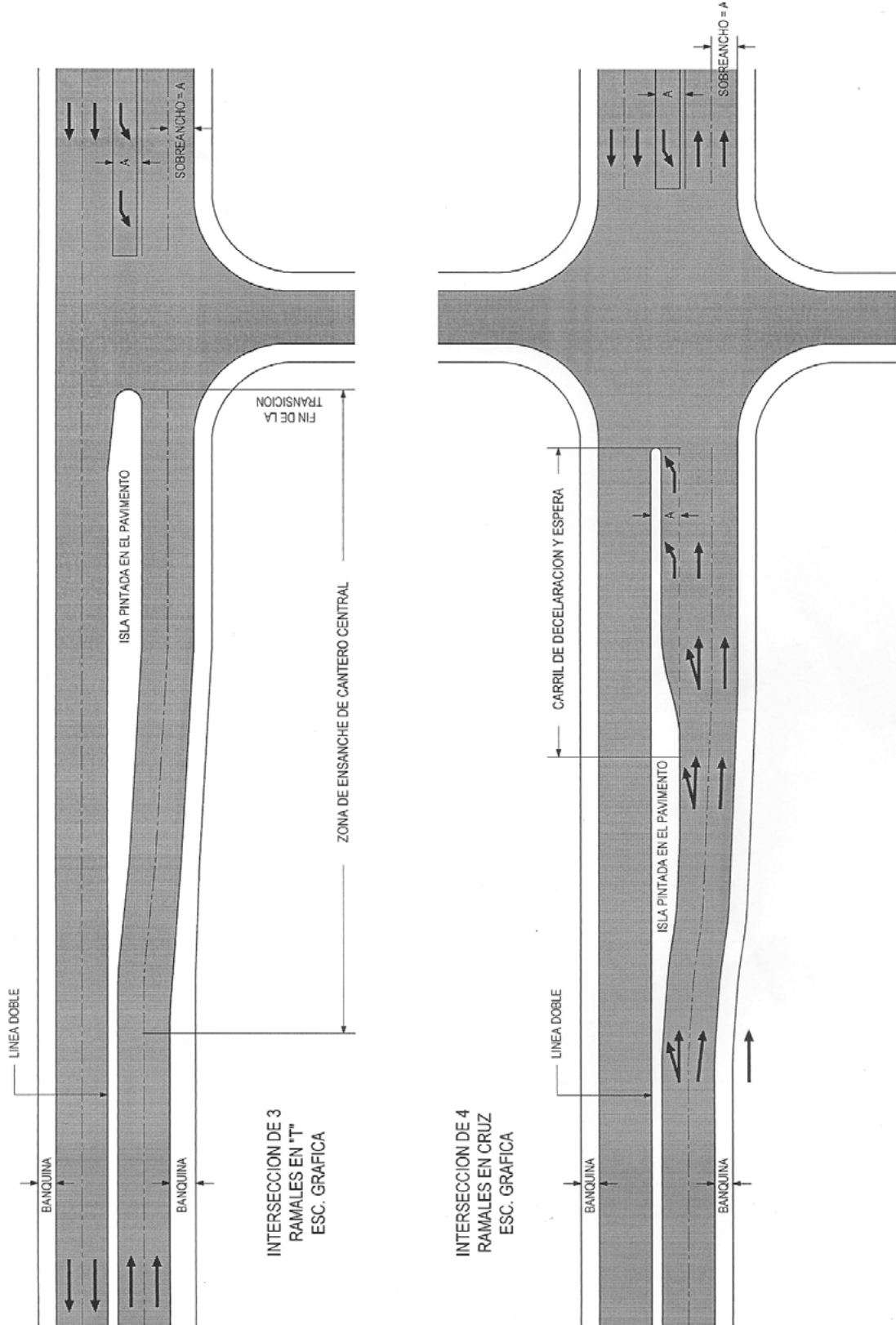


Figura 3.1_65
ABERTURAS DE CANTEROS CENTRALES, TRAZADOS PARA RADIOS DE GIRO MÍNIMOS CON Y SIN ESVAIAJE EN EL CRUCE.

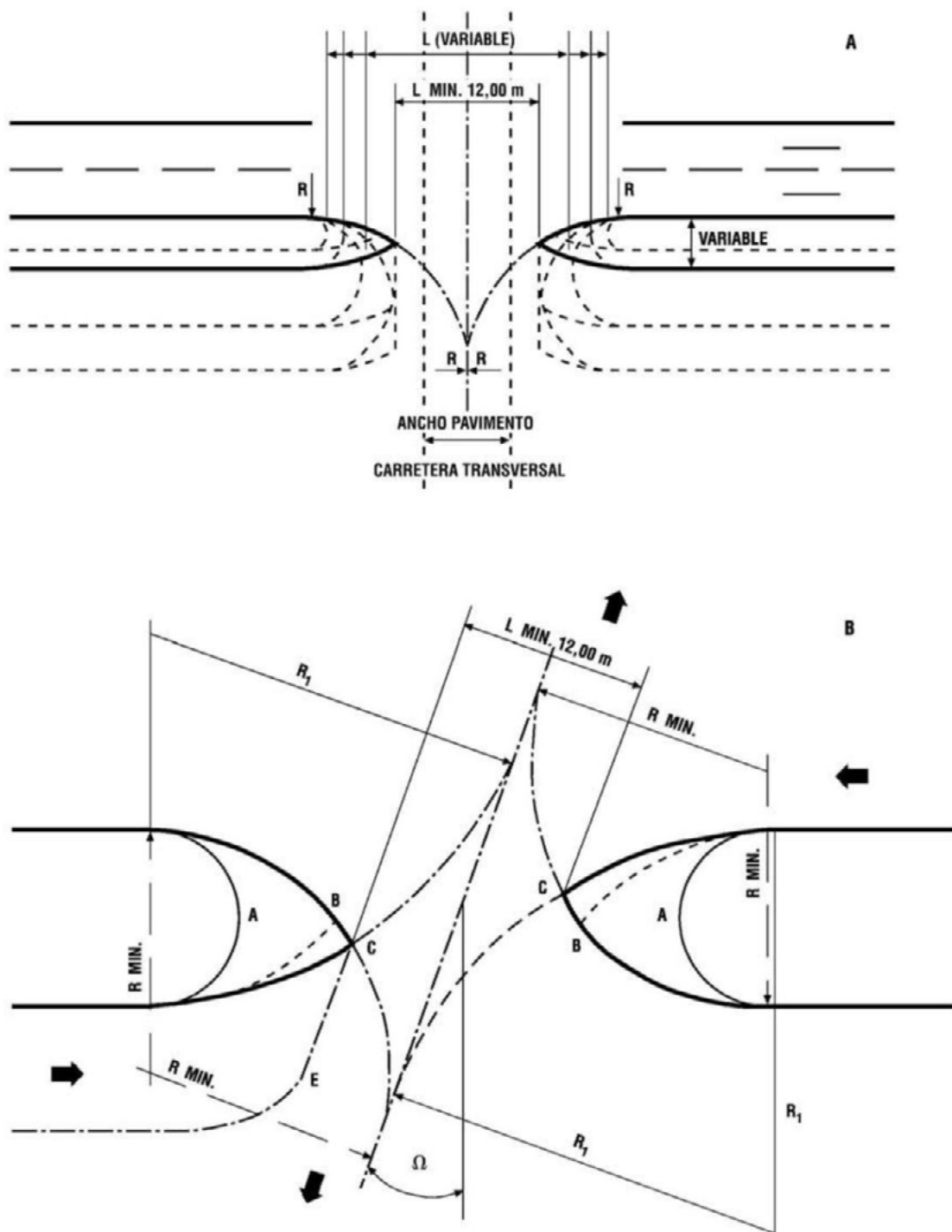
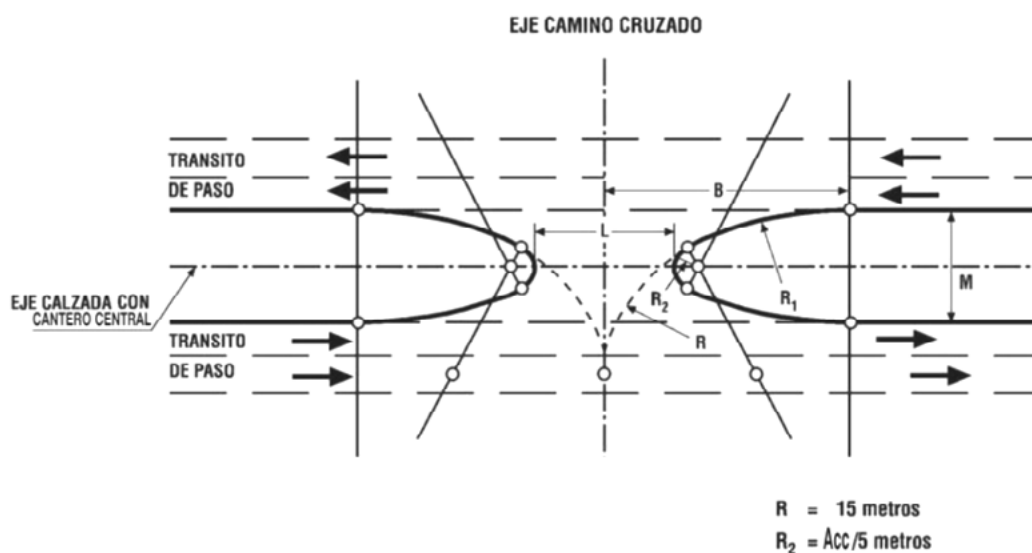


Figura 3.1_66
ABERTURAS DE CANTERO CENTRAL DE DISEÑO SOBRE LOS MÍNIMOS
PARA REMATES EN PUNTA DE PROYECTIL.



Acc Ancho CANTERO CENTRAL metros	DIMENSIONES (m)					
	R ₁ = 30		R ₁ = 45		R ₁ = 70	
	L	B	L	B	L	B
6	18	20	20	24	21,5	27,5
9	15	21	17	26	19,5	31
12	12,5	22	15	27,5	17,5	33
15	-	-	13,5	29	15,5	35
18	-	-	-	-	14	37
21	-	-	-	-	12,5	39

Figura 3.1_67
APERTURAS DE CANTERO CENTRAL, TRAZADOS MÍNIMOS PARA
GIROS EN “U”.

TIPO DE MANIOBRA		ANCHO MÍNIMO DEL CANTERO CENTRAL Acc EN m PARA VEHICULOS TIPO		
		L	C	VA
CARRIL INTERIOR A CARRIL INTERIOR		12	21	20,50
	Acc			
CARRIL INTERIOR A CARRIL EXTERIOR		8,50	17,50	17
	Acc			
CARRIL INTERIOR A BERMA		5,50	14,50	14
	Acc			
CARRIL EXTERIOR A CARRIL EXTERIOR		5	14	13,50
	Acc			
CANAL EXTERIOR A BANQUINA		2	11	10,50
	Acc			
BANQUINA A BANQUINA		0	8	7,50
	Acc			
LONGITUD MINIMA DE APERTURA, m	L - REMATE CON TRANSICION (1)	6	6	9
	L ¹ - REMATE SEMICIRCULAR (2)	7	6	9
<p>NOTAS:</p> <p>1. Usar las siguientes combinaciones de radios: Para Acc = 9 m ó menos 15 - 0,4 m - 15 Para Acc = 12 a 15 m 22,5 - 0,4 m - 22,5 Para Acc = 18 a 24 m 30 - 0,4 m - 30</p> <p>2. La longitud L' es mayor cuando Acc > 15 m remate con transiciones preferible</p>				

Figura 3.1_68
TRAZADOS PARA GIROS EN "U" CON CANTERO CENTRAL ESTRECHO.

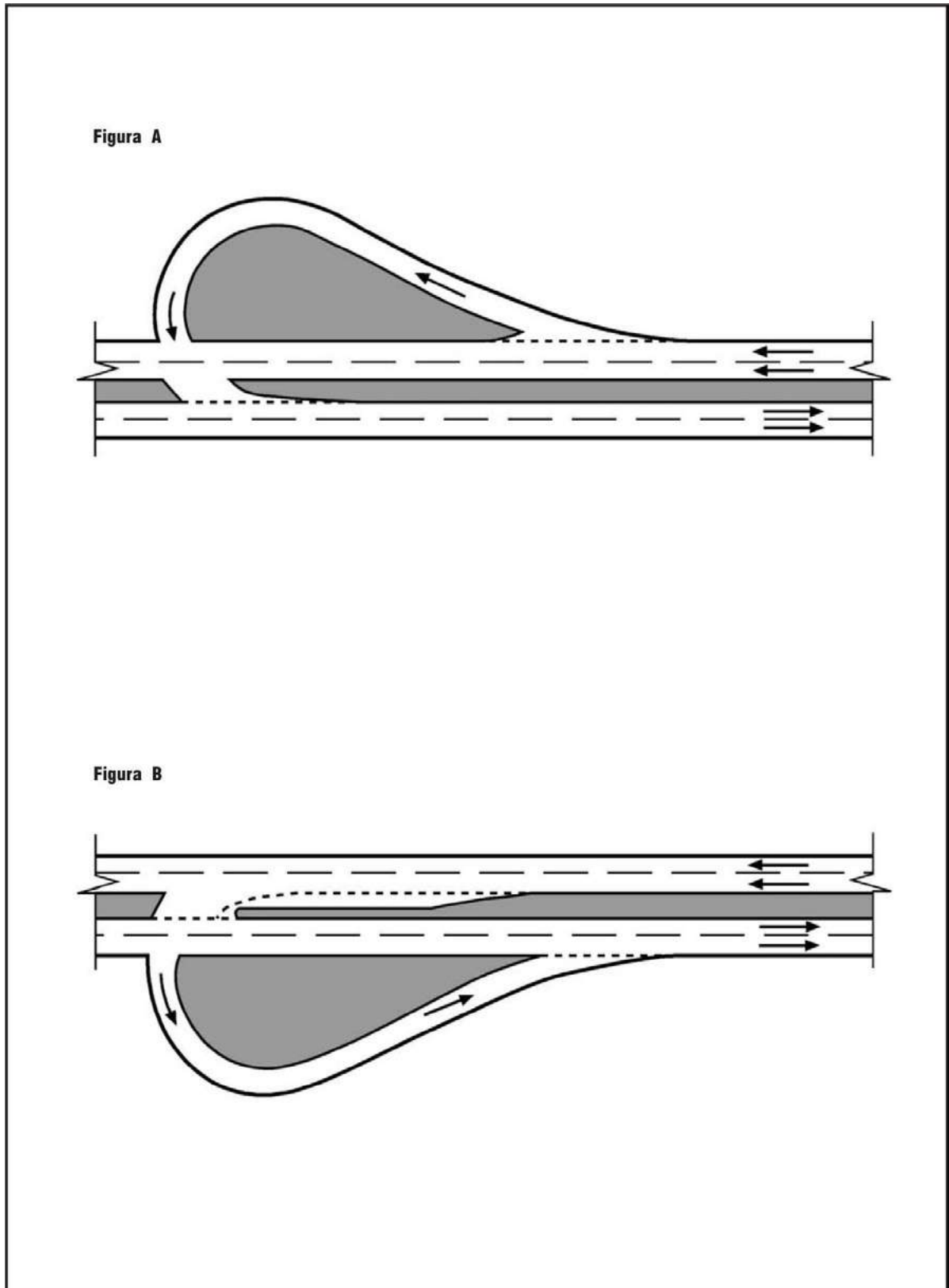


Figura 3.1_69
TIPOS Y FORMAS GENERALES DE ISLAS

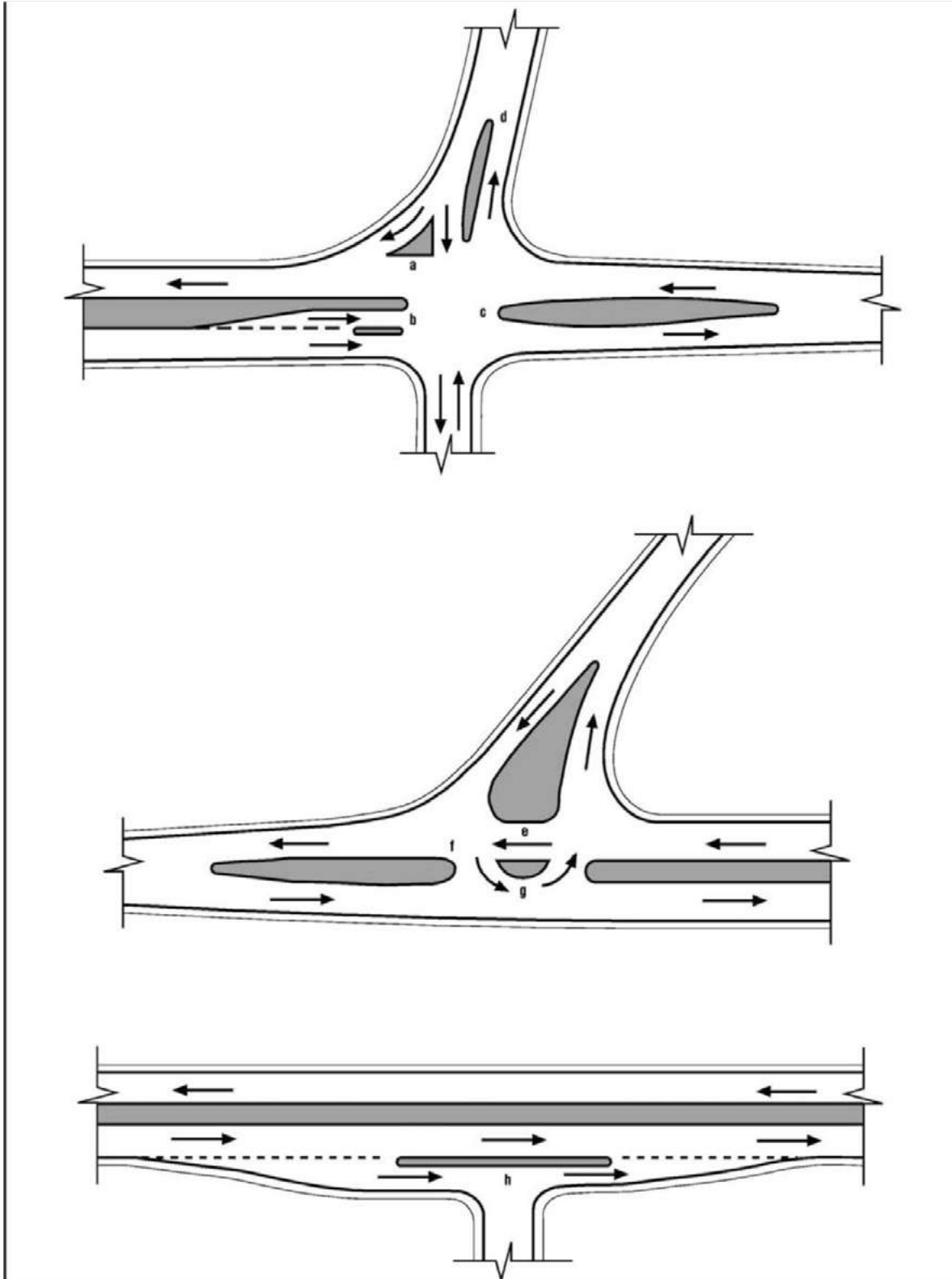


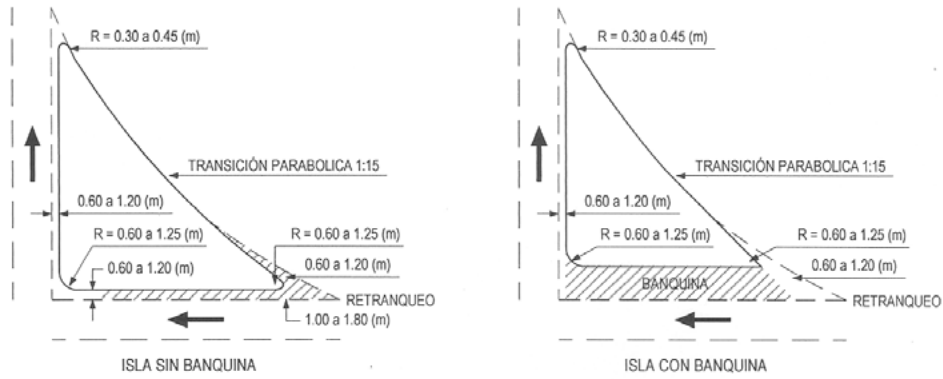
Figura 3.1_70
TRANSICIONES PARABÓLICAS MÁS CORRIENTES PARA
EL RETRANQUEO DE VÉRTICES DE ISLAS

ORDENADAS, y, PARA UNA ABCISA DADA, x																
Abcisa x en m	3	4,50	6	7,50	9	12	13,50	15	18	21	22,50	24	27	30	33	36
L, long. T, transición	TRANSICION 1:5															
7,50	0,24	0,54	0,96	1,50	1,08	1,92		3,00								
15,00	0,12	0,48	0,48													
15,00	0,06		0,24		0,54	0,96		1,50		1,47		1,92	2,43	3,00		
30,00	0,03		0,12		0,27	0,48		0,75		1,08		1,47	1,92	2,43	3,00	
	TRANSICION 1:10															
	TRANSICION 1:15															
7,50	0,08	0,18	0,32	0,50	0,40	0,71	0,90		0,67	0,96	1,31	1,50				
13,50	0,045		0,177		0,24	0,43			0,55	0,80	1,09		1,42	1,80		
22,50	0,027		0,108		0,20	0,36			0,42	0,60	0,82		1,07	1,35	1,67	
27,00	0,021		0,09		0,15	0,27										
36,00	0,018		0,066												2,02	2,40

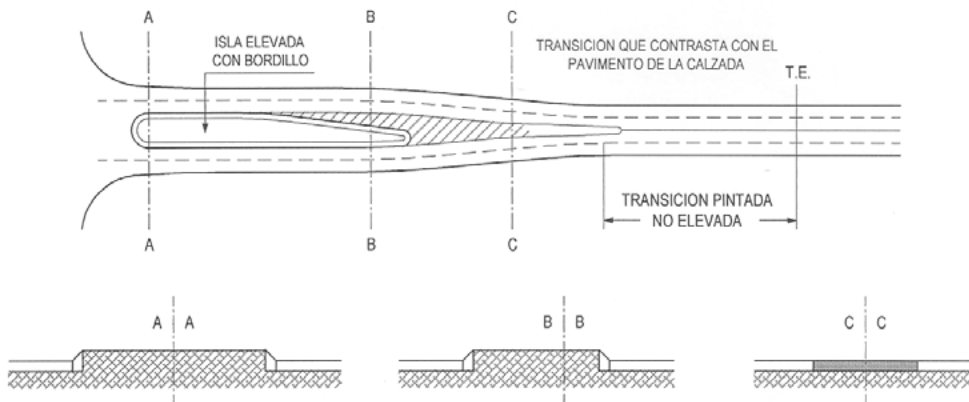
$$Y = \frac{R X^2}{L^2}$$

L = Longitud transición, m
 R = Retranqueo total, m
 X = Abcisa, m
 Y = Ordenadas, m

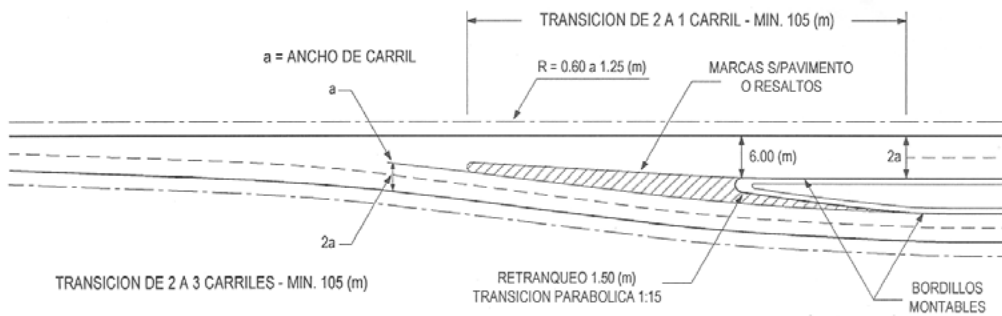
Figura 3.1_71
DETALLES DEL TRAZADO PARA ISLAS



DETALLE DEL TRAZADO DE ISLAS TRIANGULARES



TRANSICION PARA LA APROXIMACION DE UNA ISLA DE SEPARACION DE SENTIDOS EN UNA CARRETERA DE CIRCULACION RAPIDA



DETALLE DE TRANSICION DE DOS CARRILES A CUATRO CON CALZADAS SEPARADAS

Figura 3.1_72
DISEÑOS PARA TERMINALES DE SALIDA

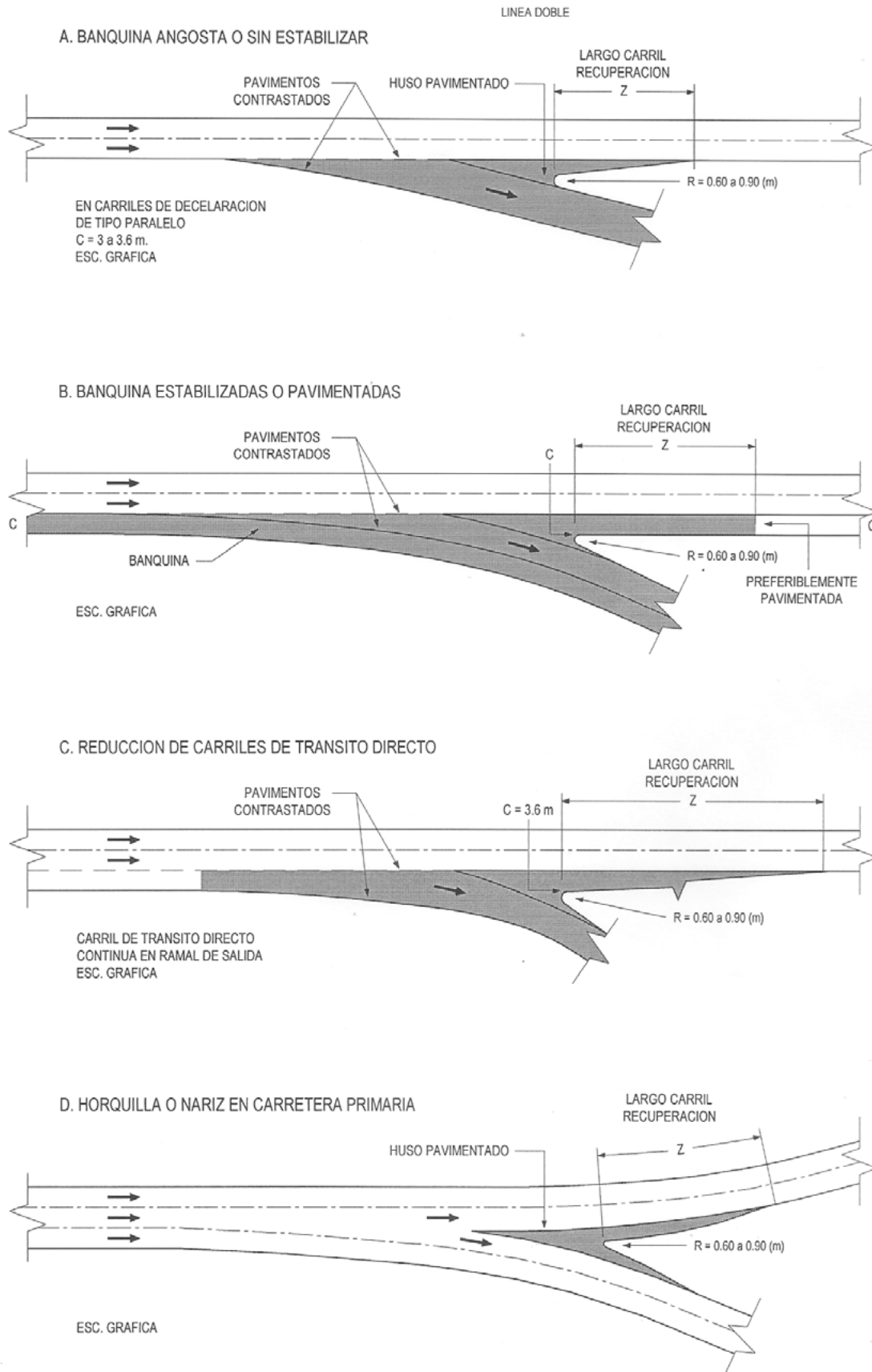


Figura 3.1_73
DISEÑOS PARA TERMINALES DE ENTRADA

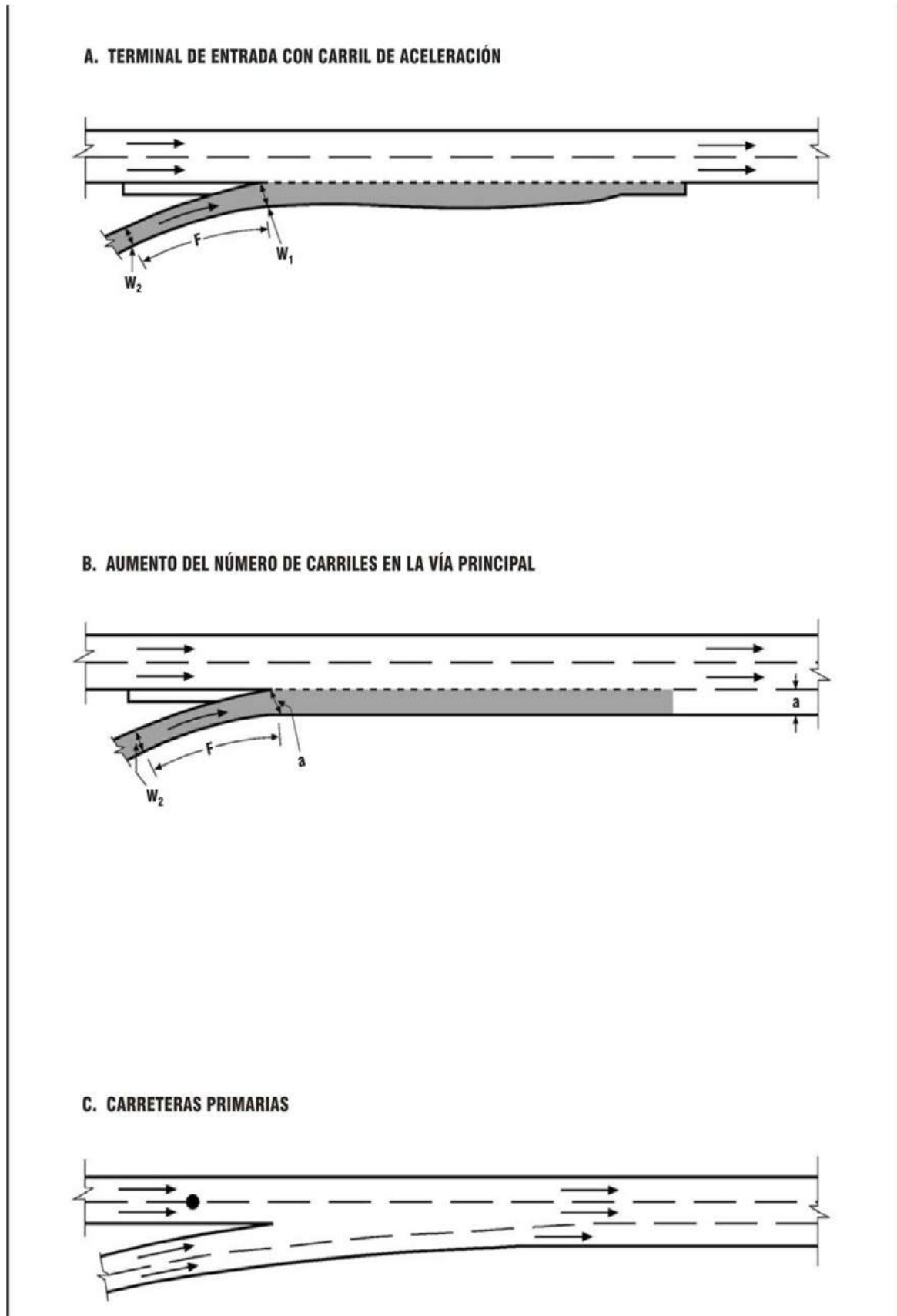
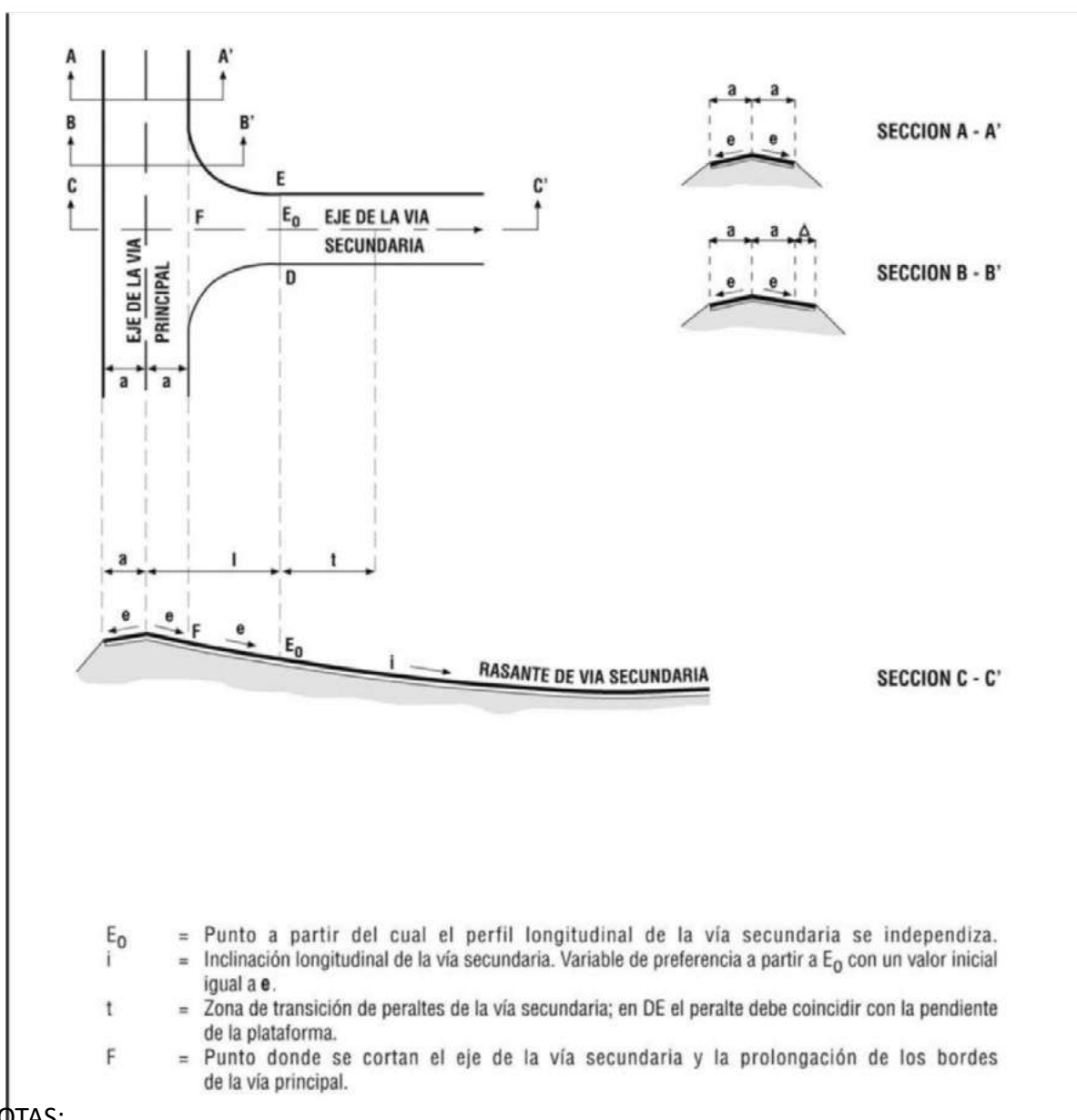


Figura 3.1_74
ELEVACIÓN EN INTERSECCIONES, EJEMPLO: CASO
DE PLATAFORMA ÚNICA

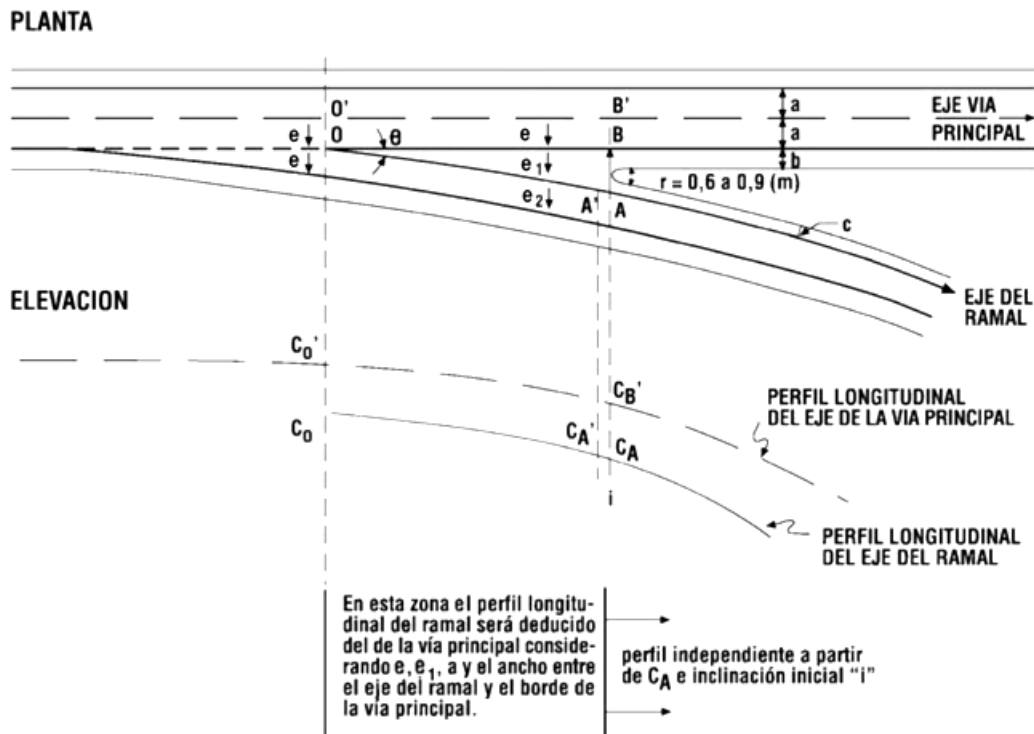


NOTAS:

1) El perfil longitudinal de la vía secundaria puede iniciarse en un punto cualquiera entre E_0 y F . si esto es necesario o conveniente. Con esto, el plano en el que se inscribirá la intersección seguirá siendo una prolongación del carril correspondiente, pero con una pendiente variable en el sentido del eje de la vía secundaria si existe algún acuerdo vertical en esa parte de dicho eje.

2) La pendiente inicial del perfil longitudinal de la vía secundaria deberá ser de preferencia la del carril prolongado. Sin embargo, en casos justificados, podrá permitirse una artista con diferencias de inclinación hasta un 4% en el caso de condición de frenado, y de un 0.5% en el caso de un "CEDA EL PASO".

Figura 3.1_75
PERFIL LONGITUDINAL DE RAMAL, EJEMPLO DE SOLUCIÓN



- a = ancho carril vía principal (V.P.)
- O = origen del eje ramal (en este caso, sobre el borde de la calzada de V.P.)
- O' = proyección de O sobre el eje de la vía principal
- e = peralte del carril de la V.P. contigua al ramal
- e_1 = inclinación transversal de la punta (de preferencia igual a e)
- e_2 = peralte del ramal (es variable en la zona de transición)
- \overline{AB} = ancho de la punta en la nariz: distancia entre bordes de calzada a partir del cual el eje longitudinal del ramal se independiza. En este caso:
 $c + b + 0,6 < \overline{AB} < c + b + 0,9$ (véase figura B figura 6.4-23 A; se supone perpendicularidad aproximada)
- A' = punto próximo a A dentro de la cuña y sobre el eje del ramal ($\overline{AA'} \cong 1m$)
- C_0' = Cota en O'
- C_0 = Cota de origen del ramal ($C_0 = C_0' \pm a \cdot e$)
- CB' = Cota del eje de la vía principal en la nariz (en B')
- CB = Cota del borde del carril en la nariz ($CB = CB' \pm a \cdot e$)
- CA = Cota de partida del perfil longitudinal del ramal en su zona independiente ($CB \pm \overline{AB} \cdot e_1$)
- CA' = Cota del puente A' (Se deduce igual que CA)
- i = Pendiente inicial del P.L. del ramal en su zona independiente
($CA - CA' / \overline{AA'}$)

Figura 3.1_76
RADIOS Y PERALTES DESEABLES EN INTERSECCIONES CUANDO NO EXISTEN CONDICIONAMIENTOS LIMITANTES

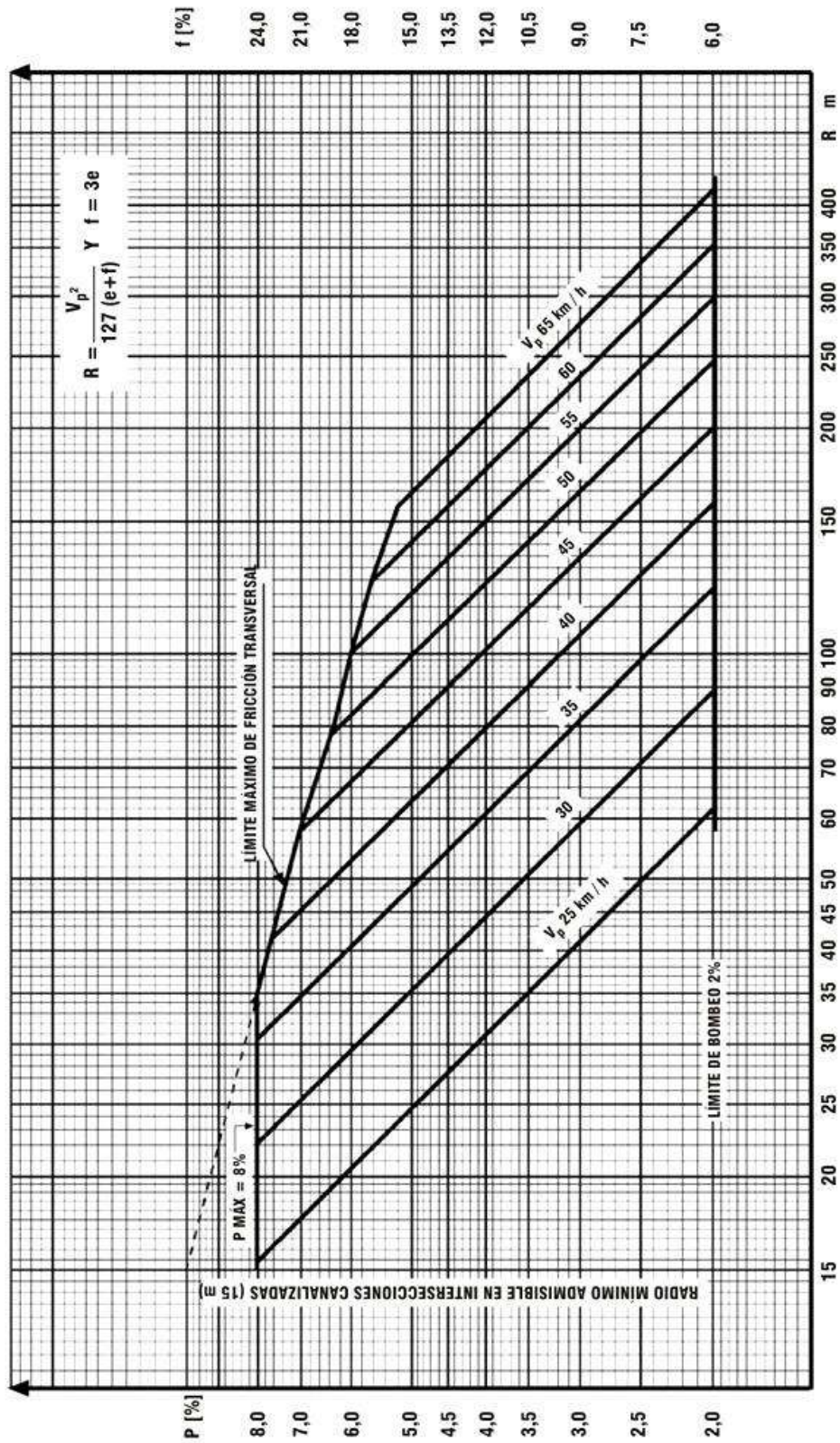


Figura 3.1_77
DESARROLLO RECOMENDABLE DE PERALTE EN EMPALMES
DE RAMAL Y CARRETERA

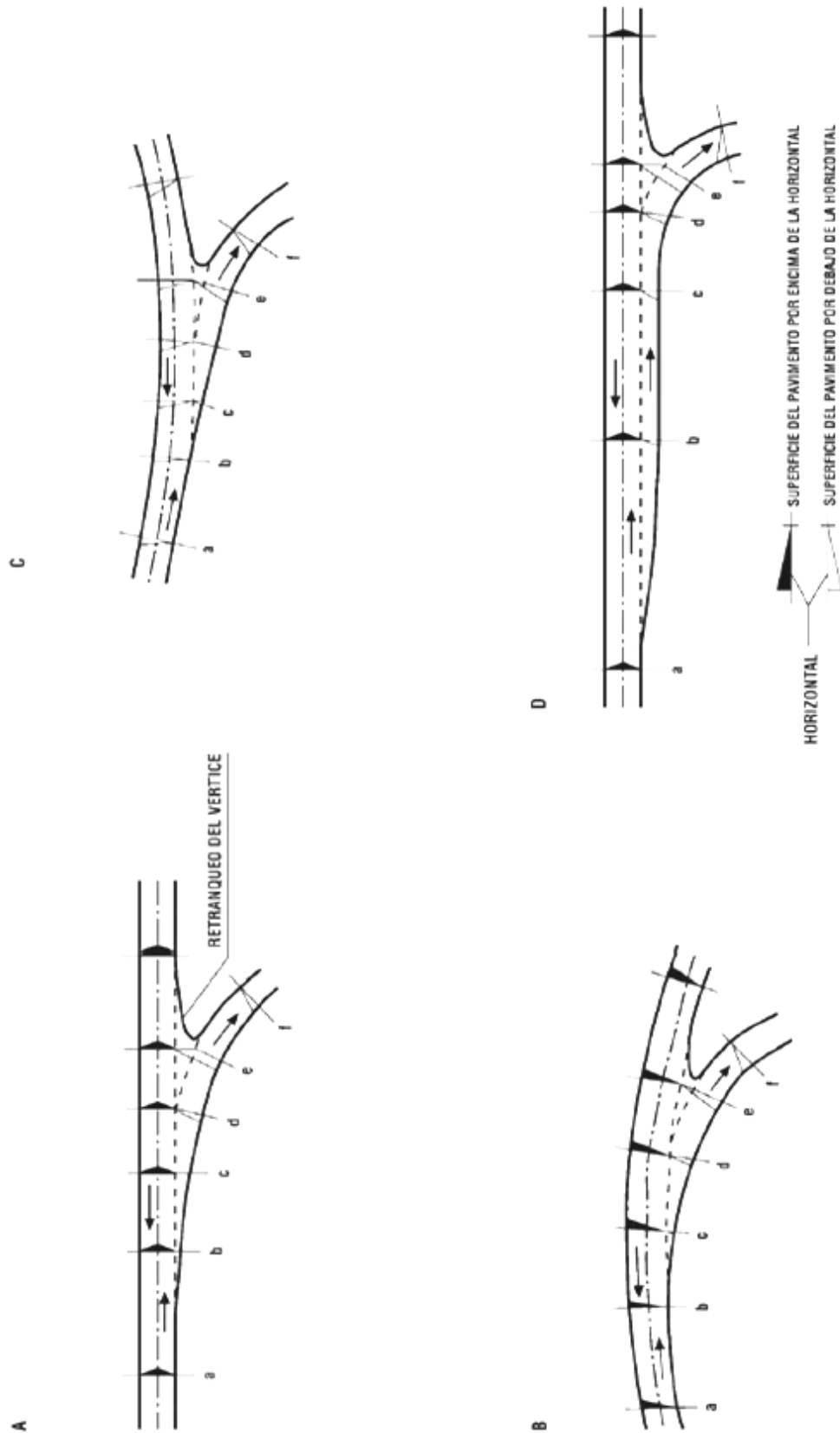


Figura 3.1_78
**TIPO DE INTERSECCIÓN APROPIADO SEGÚN INTENSIDAD MEDIA DIA-
RIA EN UN NUDO DE TRES RAMAS**

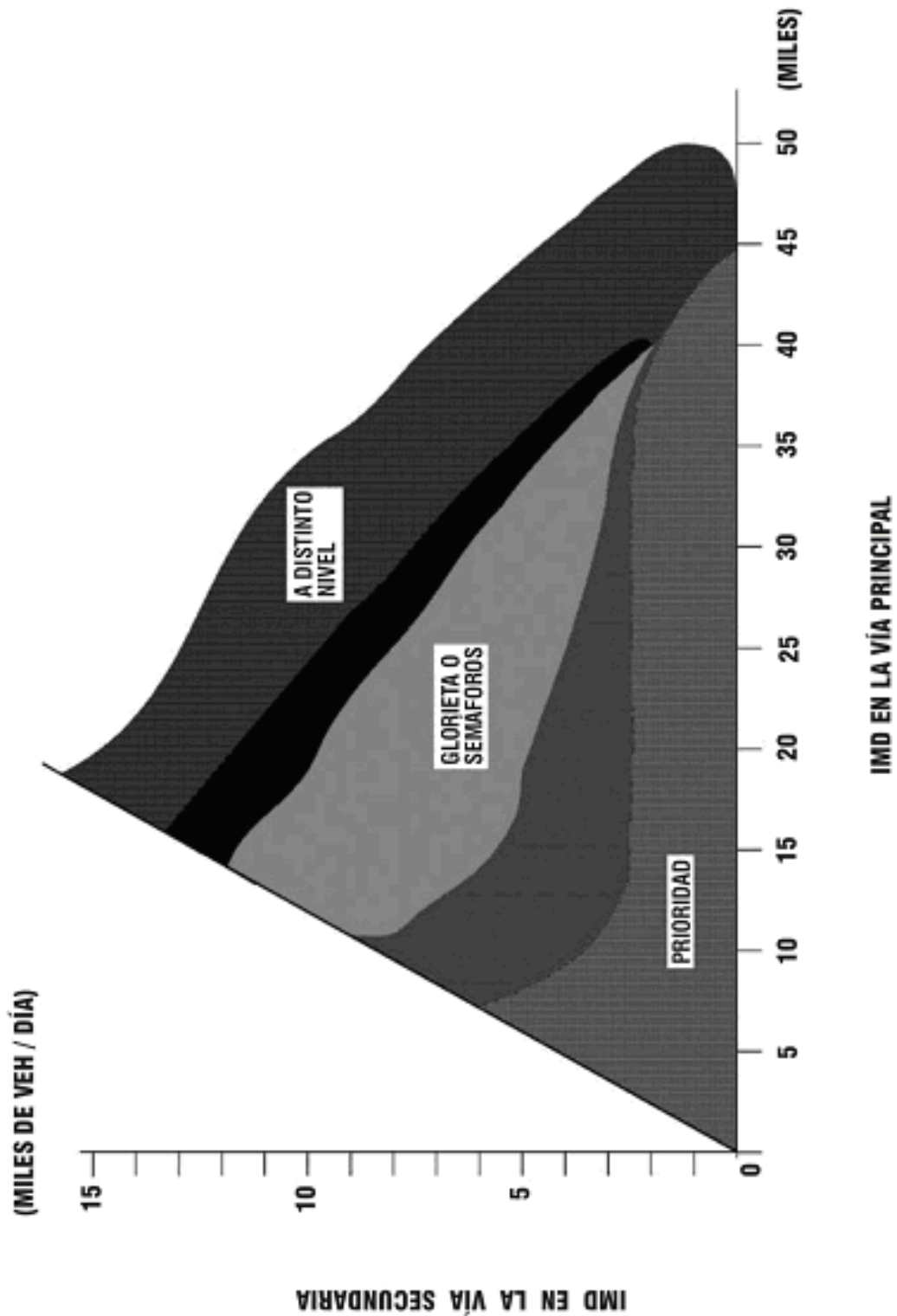


Figura 3.1_79
ROTONDAS TÍPICAS

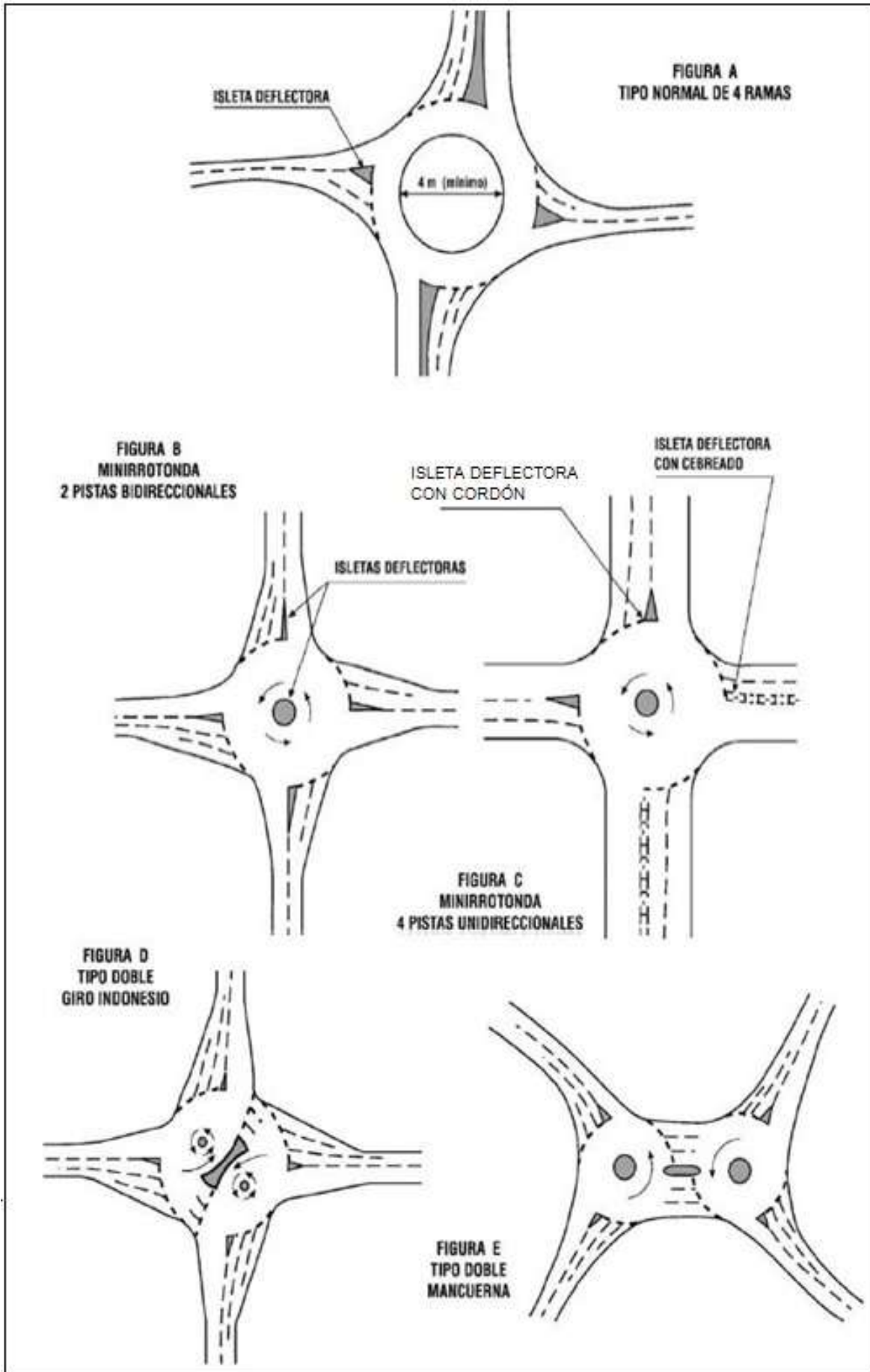
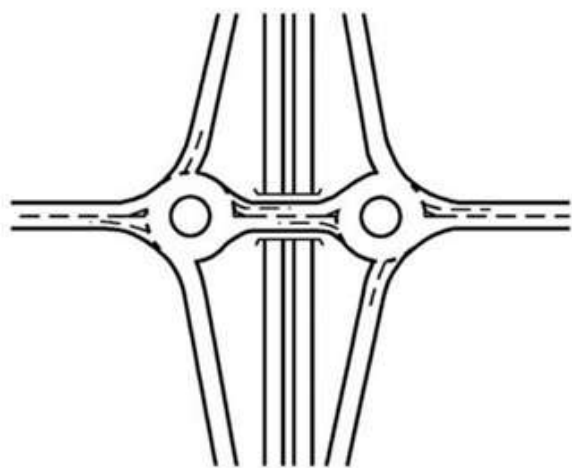
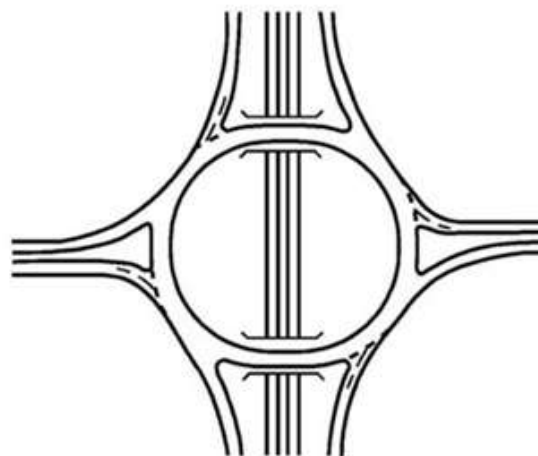


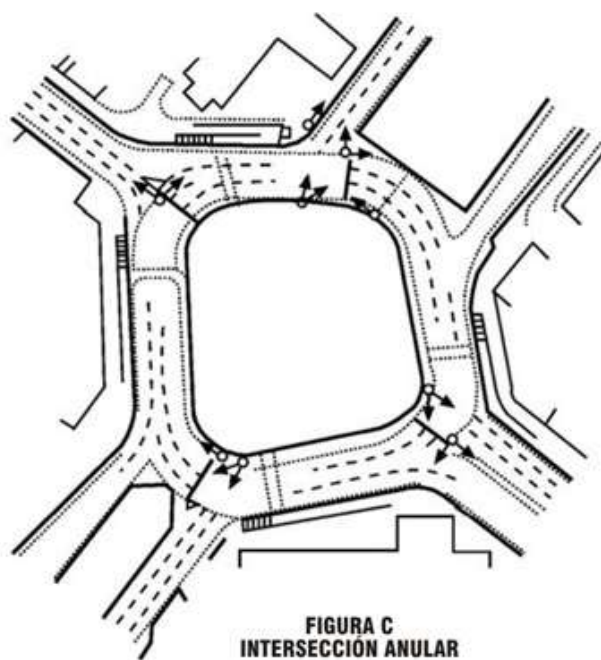
Figura 3.1_80 ROTONDAS ESPECIALES



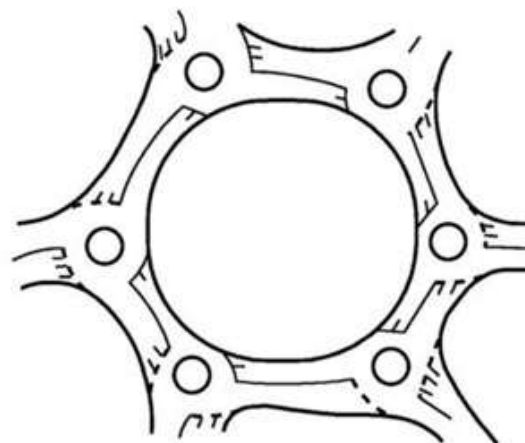
**FIGURA A
DESNIVELADA
PESA O MANCUERNA**



**FIGURA B
DESNIVELADA
DOBLE PUENTE**



**FIGURA C
INTERSECCIÓN ANULAR**



**FIGURA D
SEMAFORIZADA**

Figura 3.1_81
FACTORES RELEVANTES PARA EL DISEÑO DE ROTONDAS

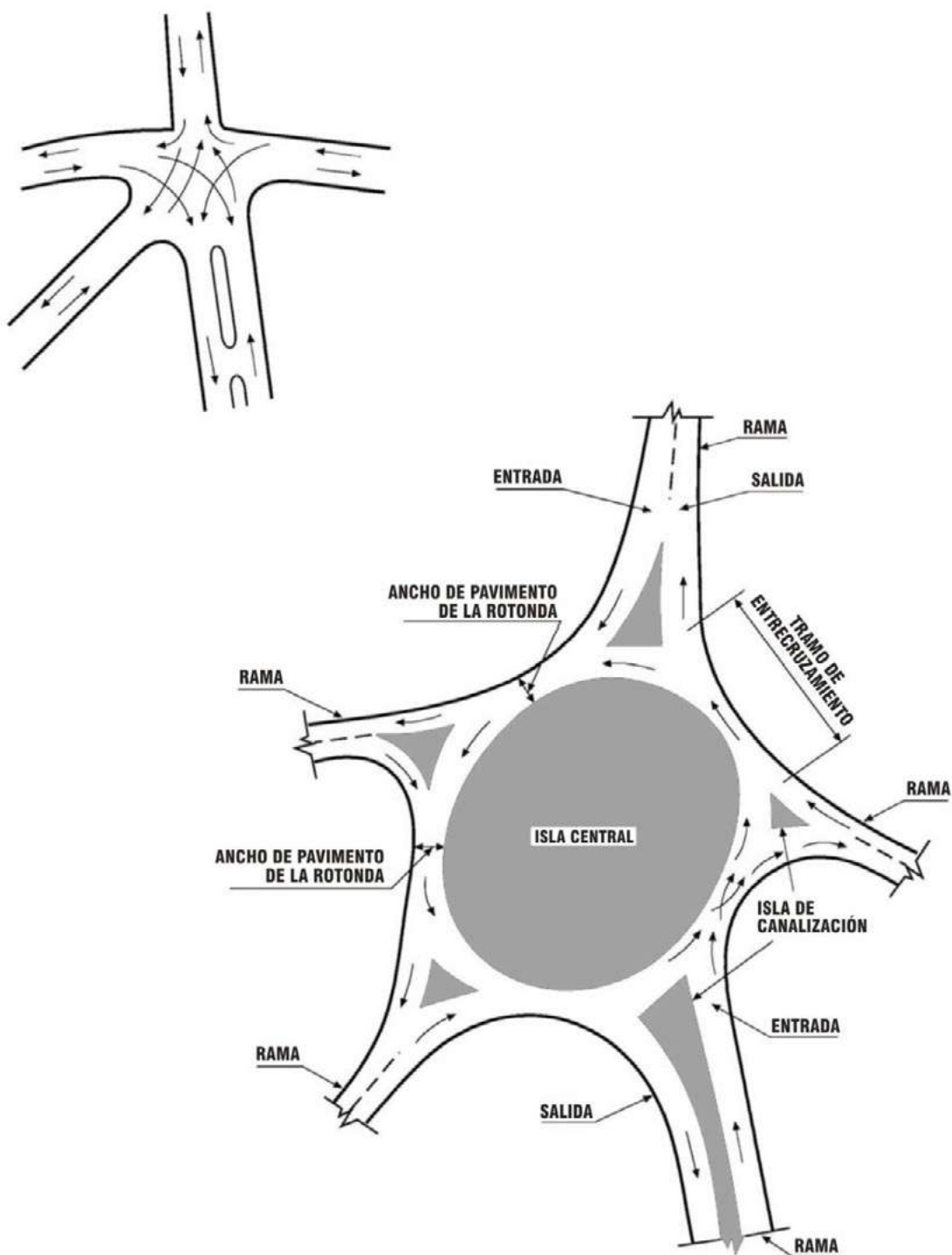


Figura 3.1_82 CAPACIDAD DE ROTONDAS, PARÁMETROS GEOMÉTRICOS PARA EL CÁLCULO

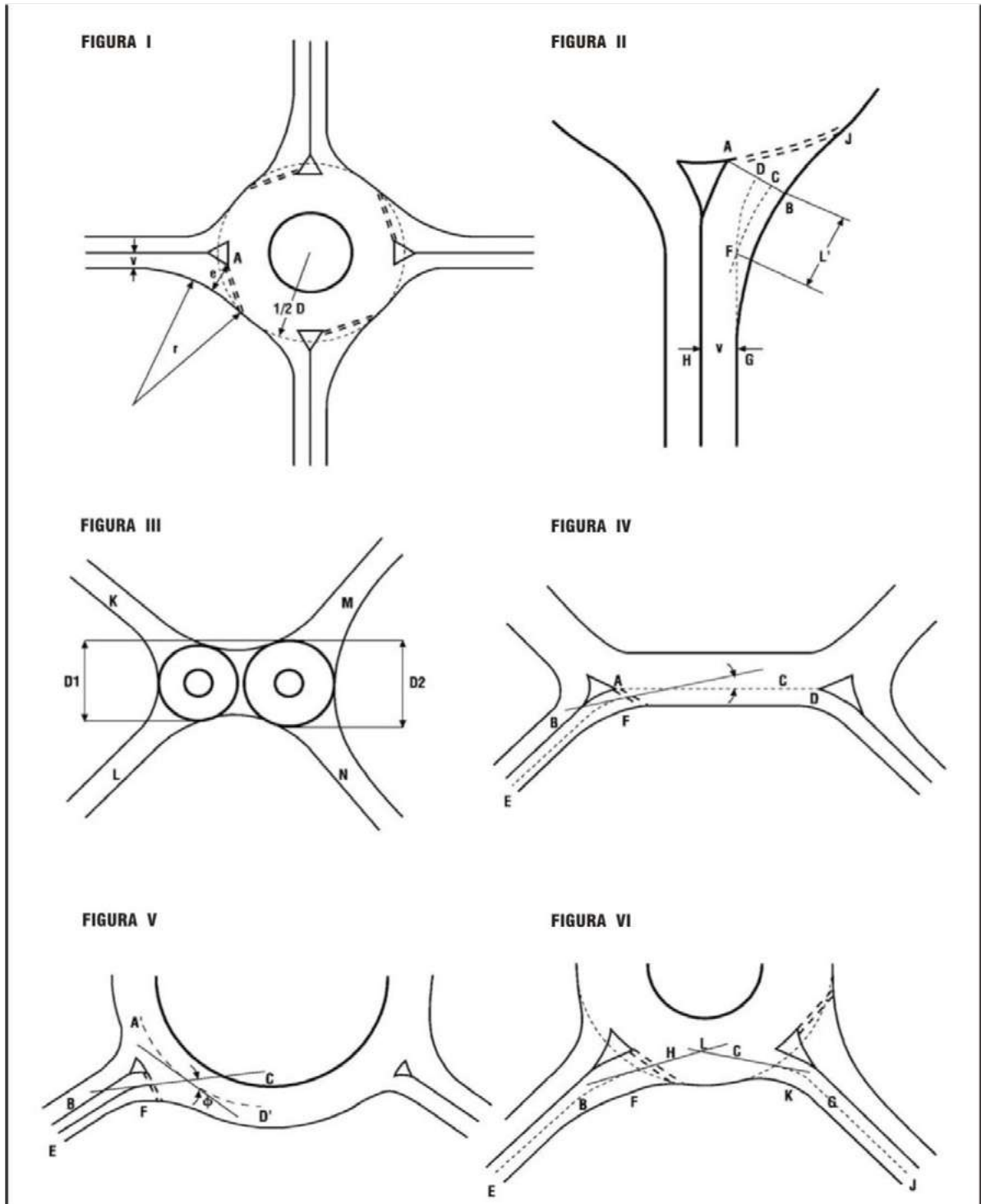


Figura 3.1_83
ESTRUCTURA DEL PROYECTO DE UN ENLACE

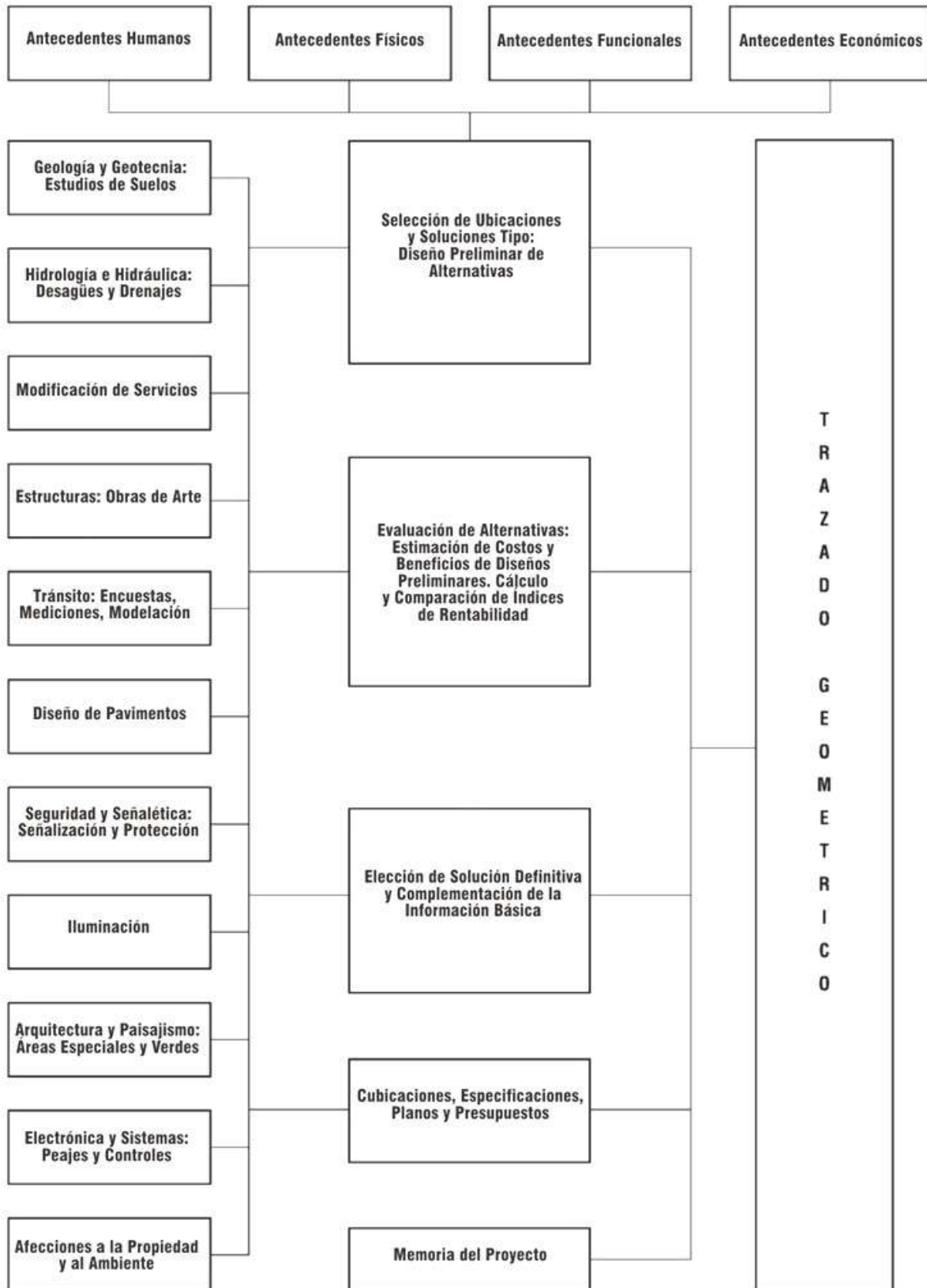


Figura 3.1_84 DISTANCIAS REQUERIDAS PARA DESNIVELACIONES EN TERRENO HORIZONTAL

Figura a)

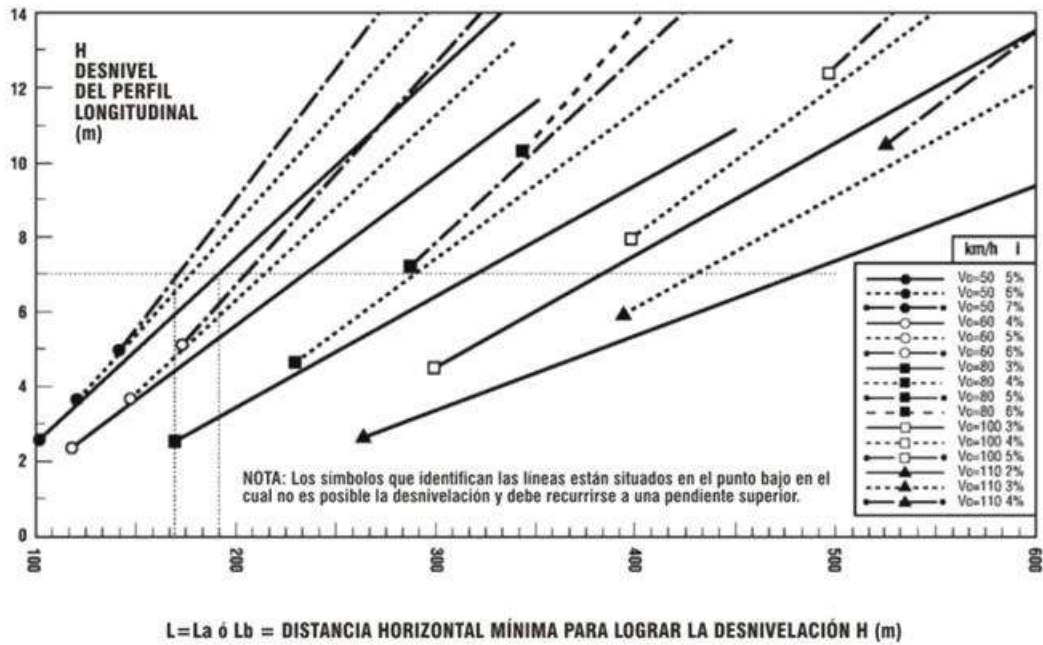


Figura b)

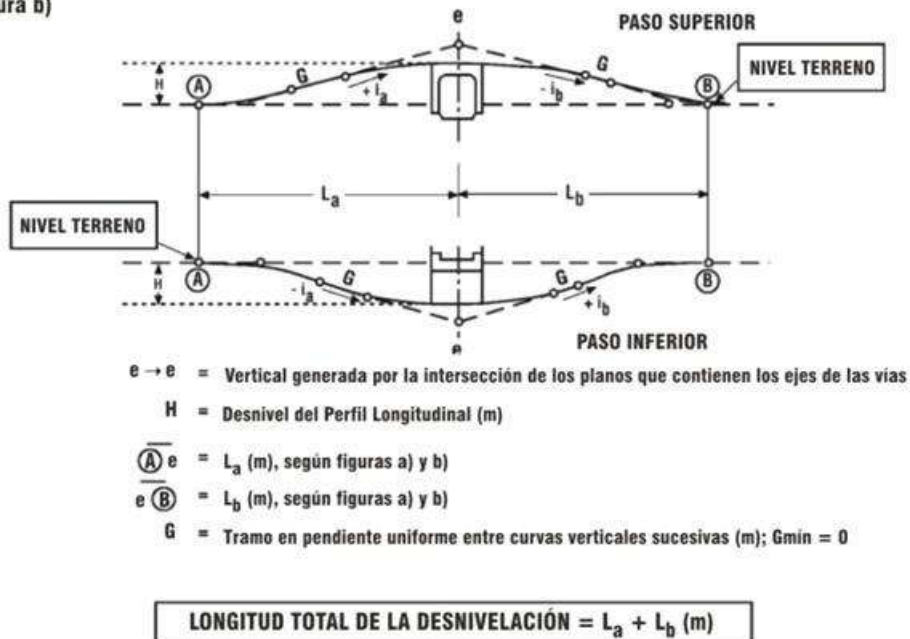


Figura 3.1_85
ENLACES TIPO

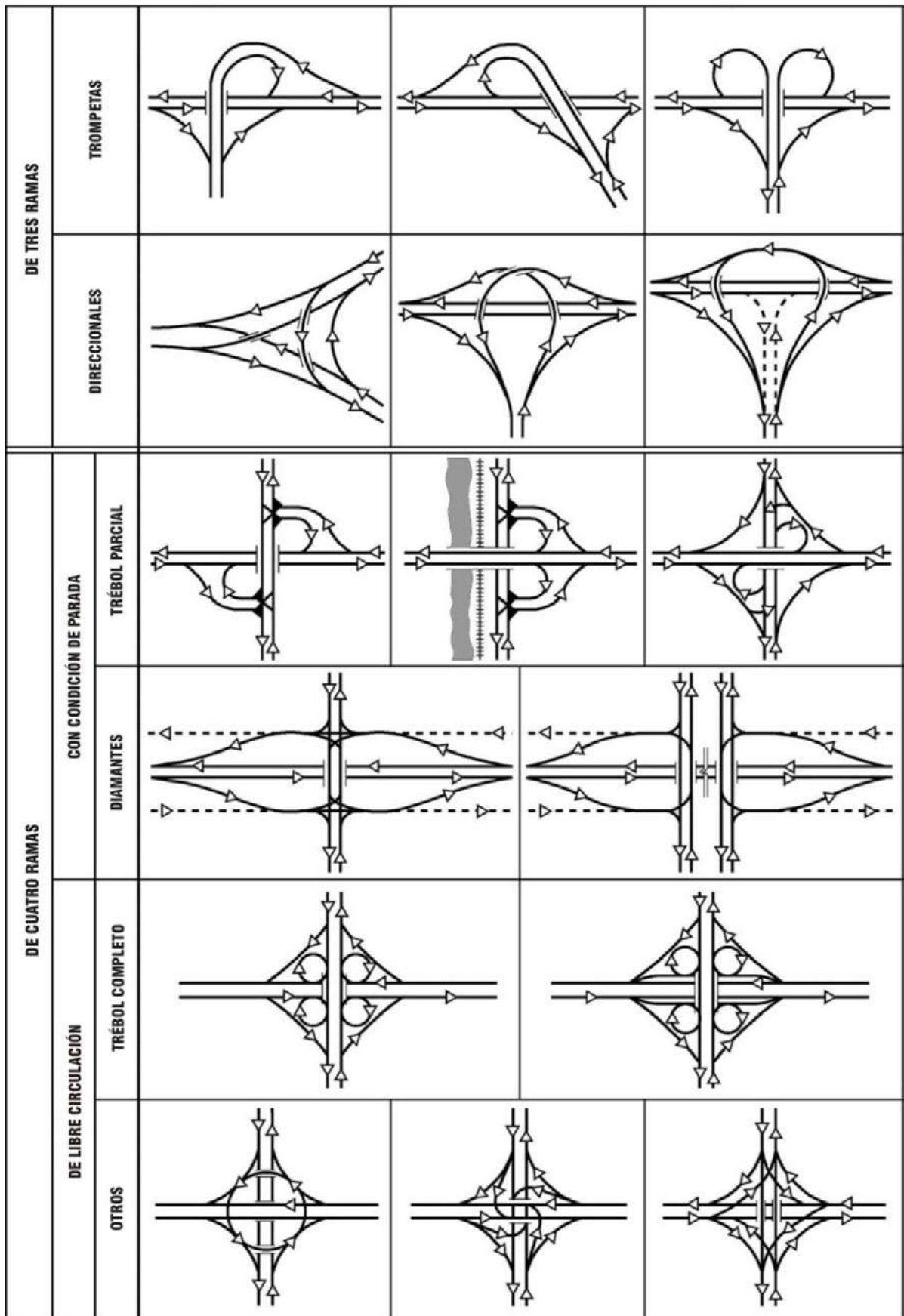
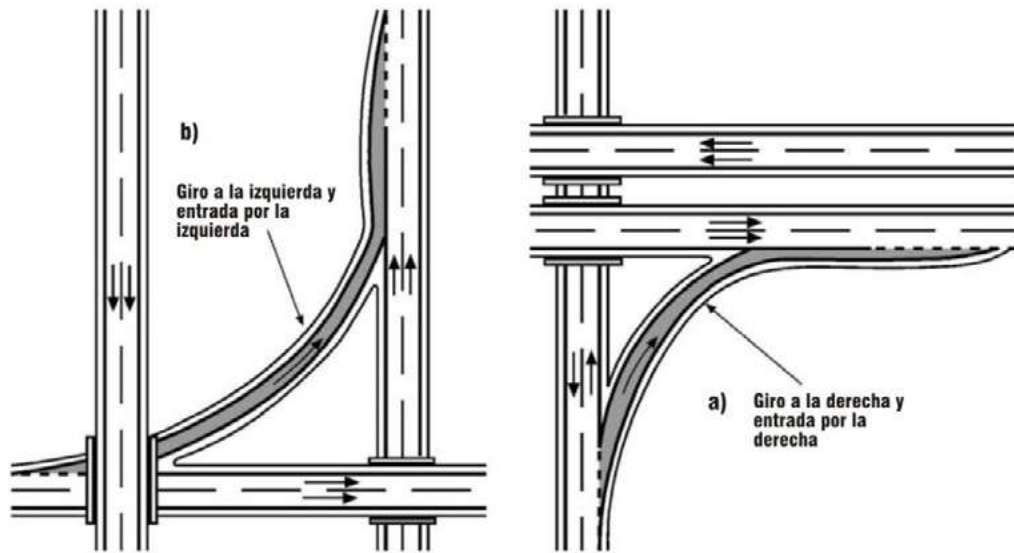


Figura 3.1_86
RAMALES DE ENLACE

Ramales Directos



Ramal Semidirecto y Lazo

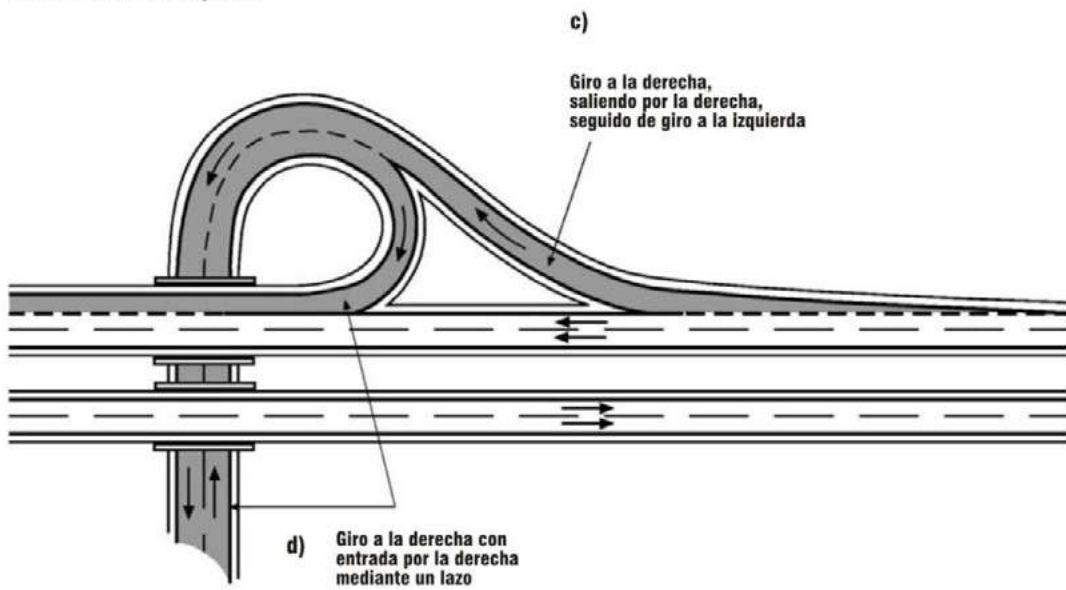


Figura 3.1_87
RAMALES DE ENLACE

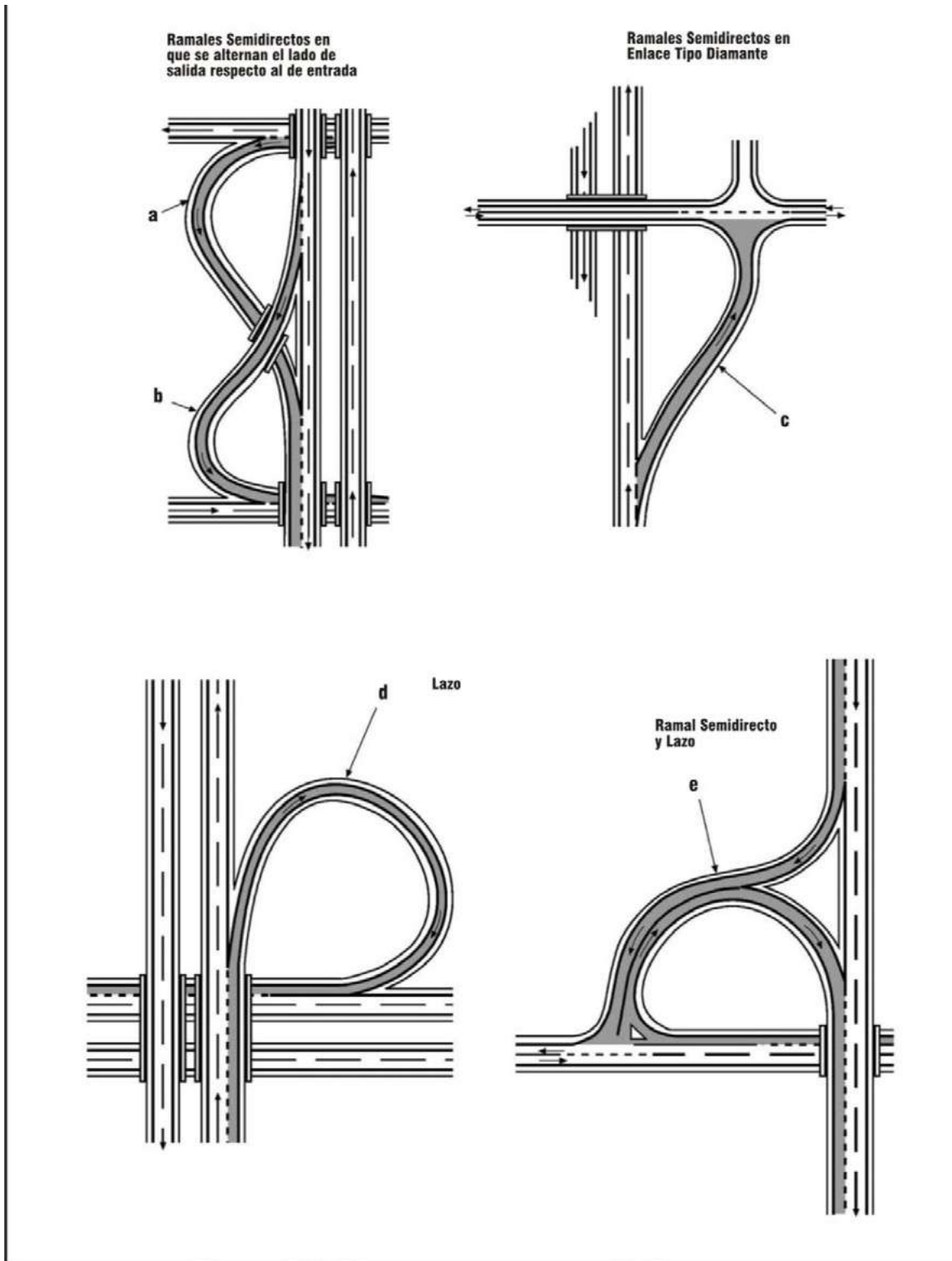


Figura 3.1_88
FORMAS DE DESAPARICIÓN DE CARRILES AUXILIARES

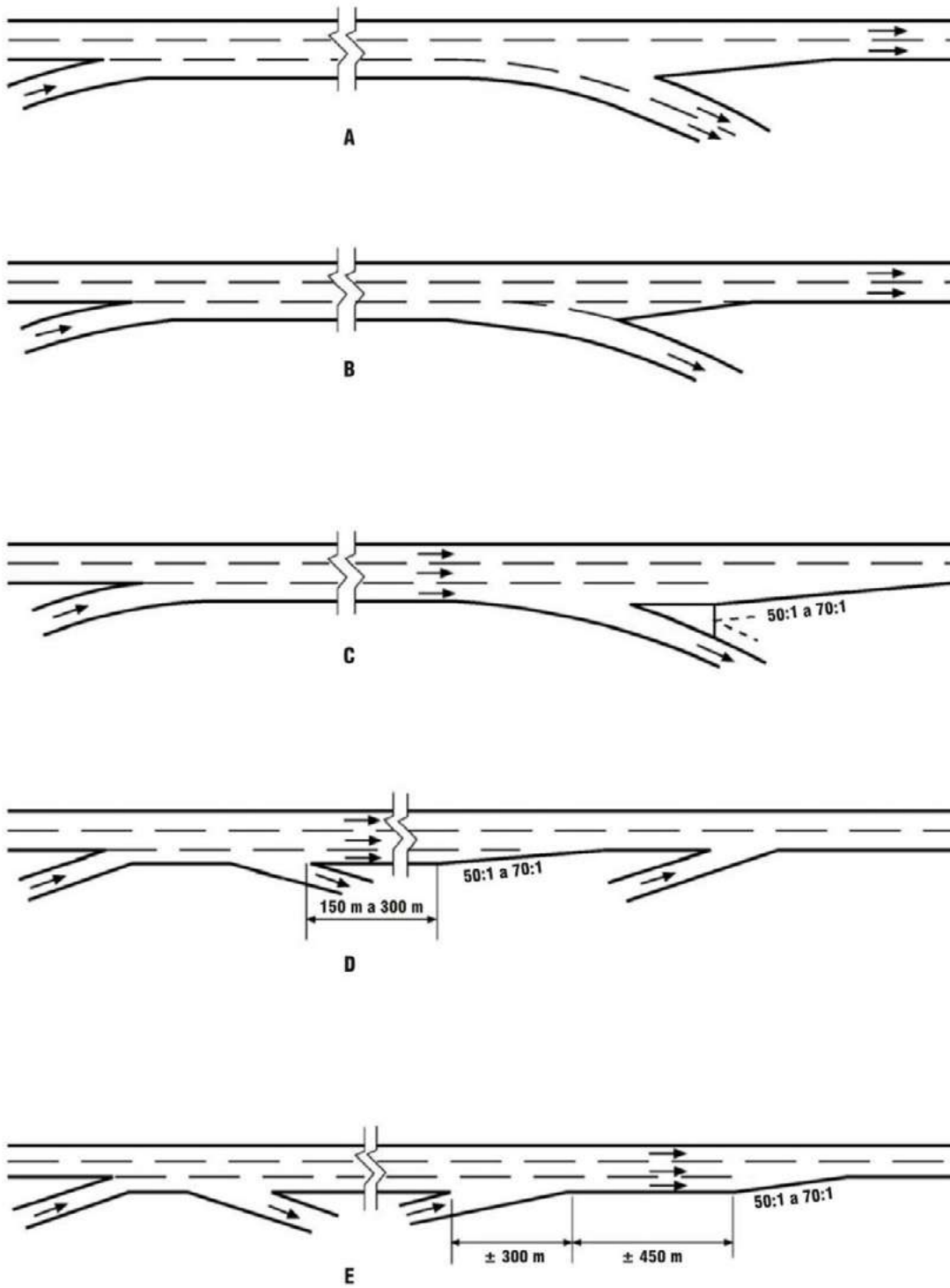


Figura 3.1_89
ENLACE TIPO DE TRES RAMAS

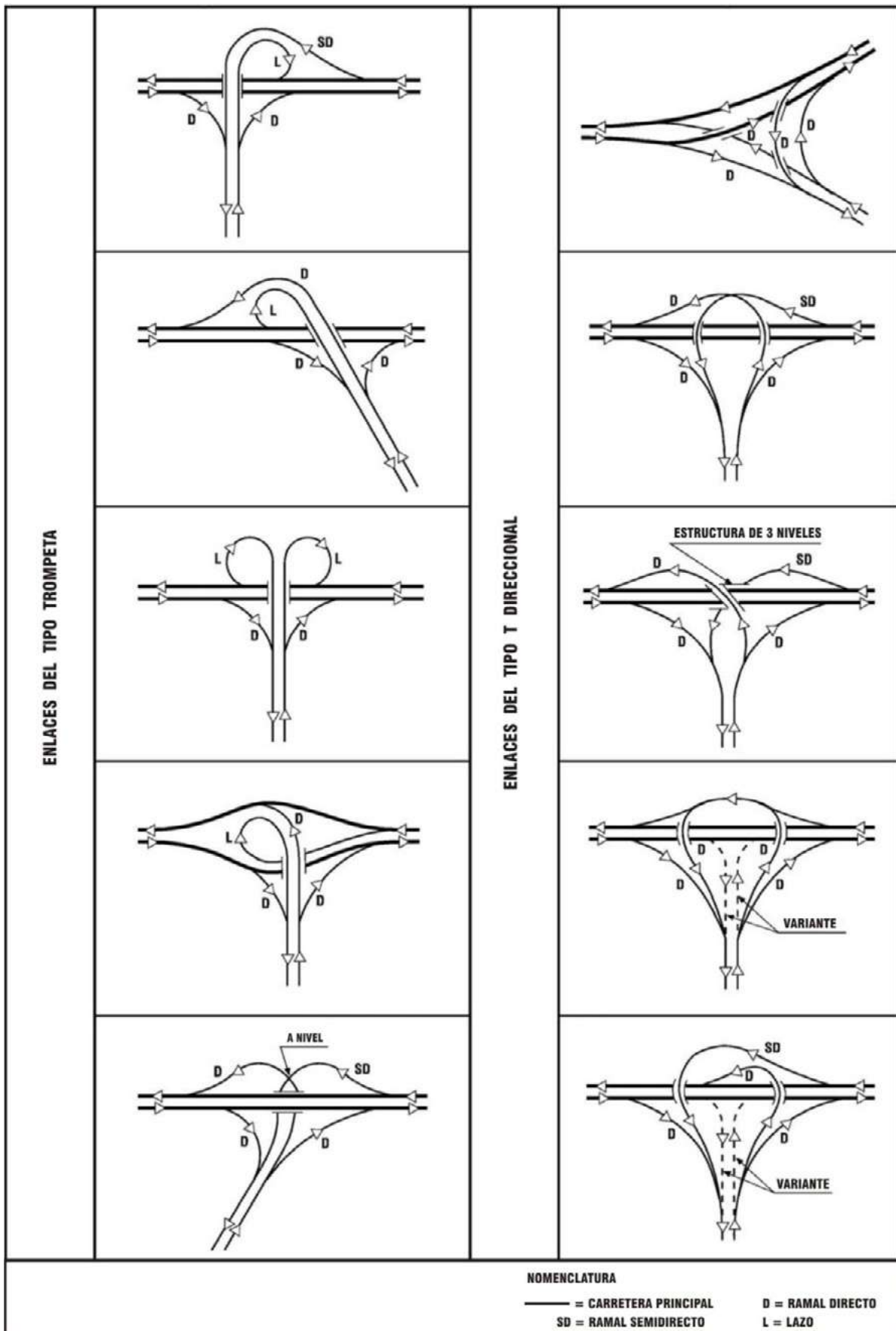
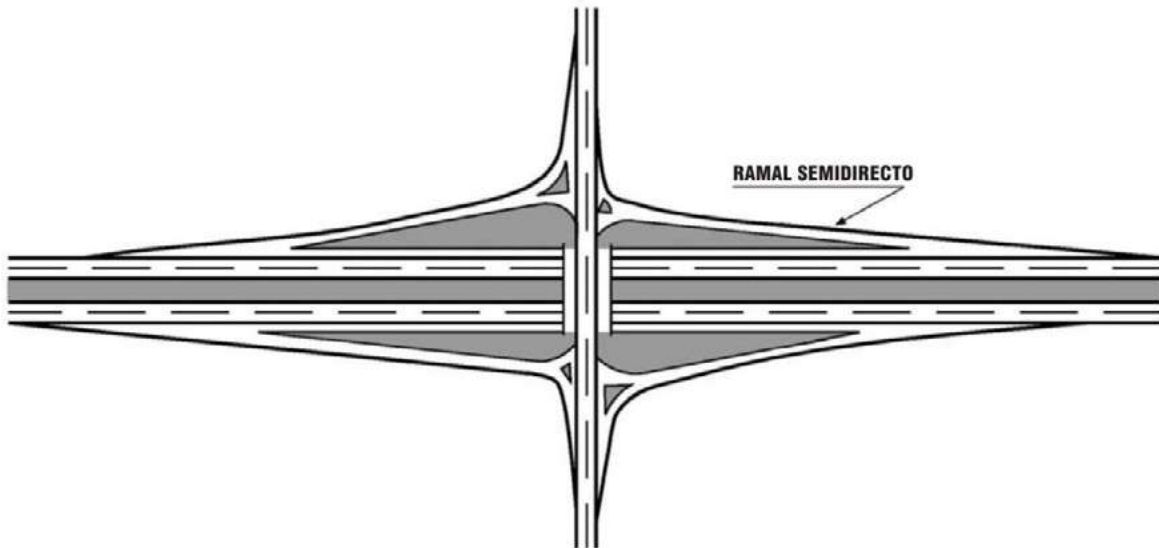


Figura 3.1_90 ENLACES DE CUATRO RAMAS

A. DIAMANTE (ELEMENTOS BÁSICOS)



B. TRÉBOL DE 4 CUADRANTES (ELEMENTOS BÁSICOS)

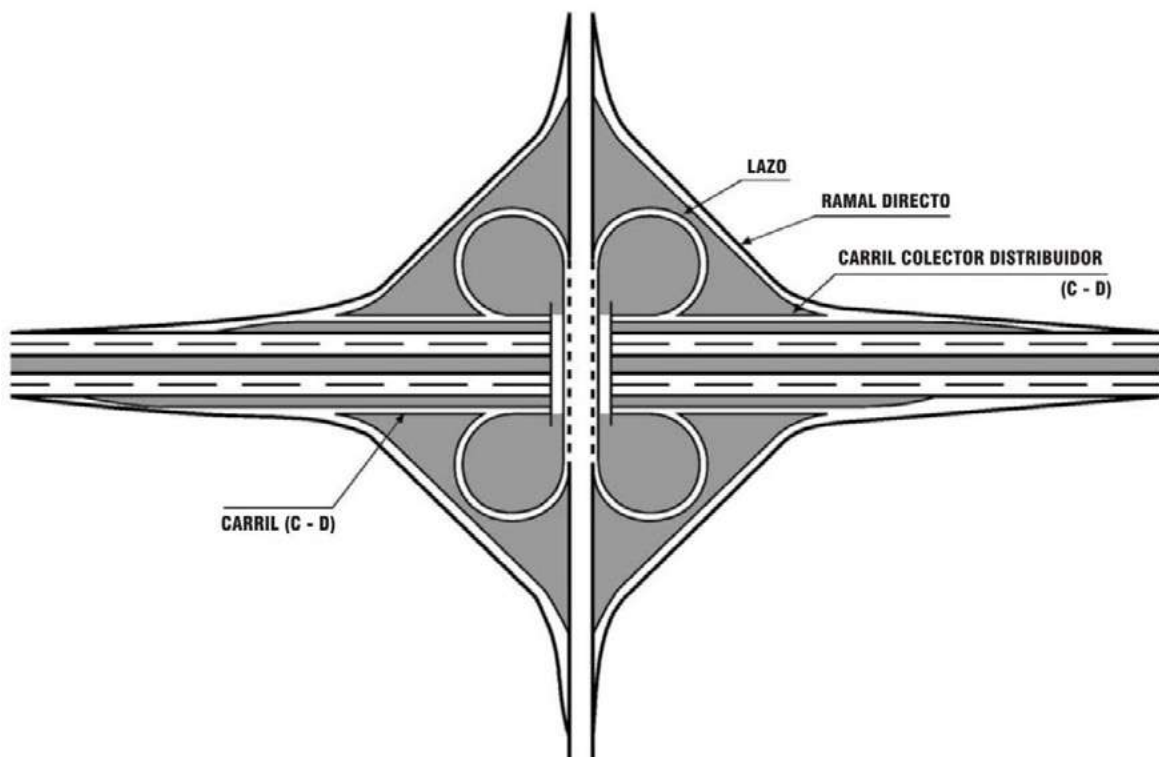
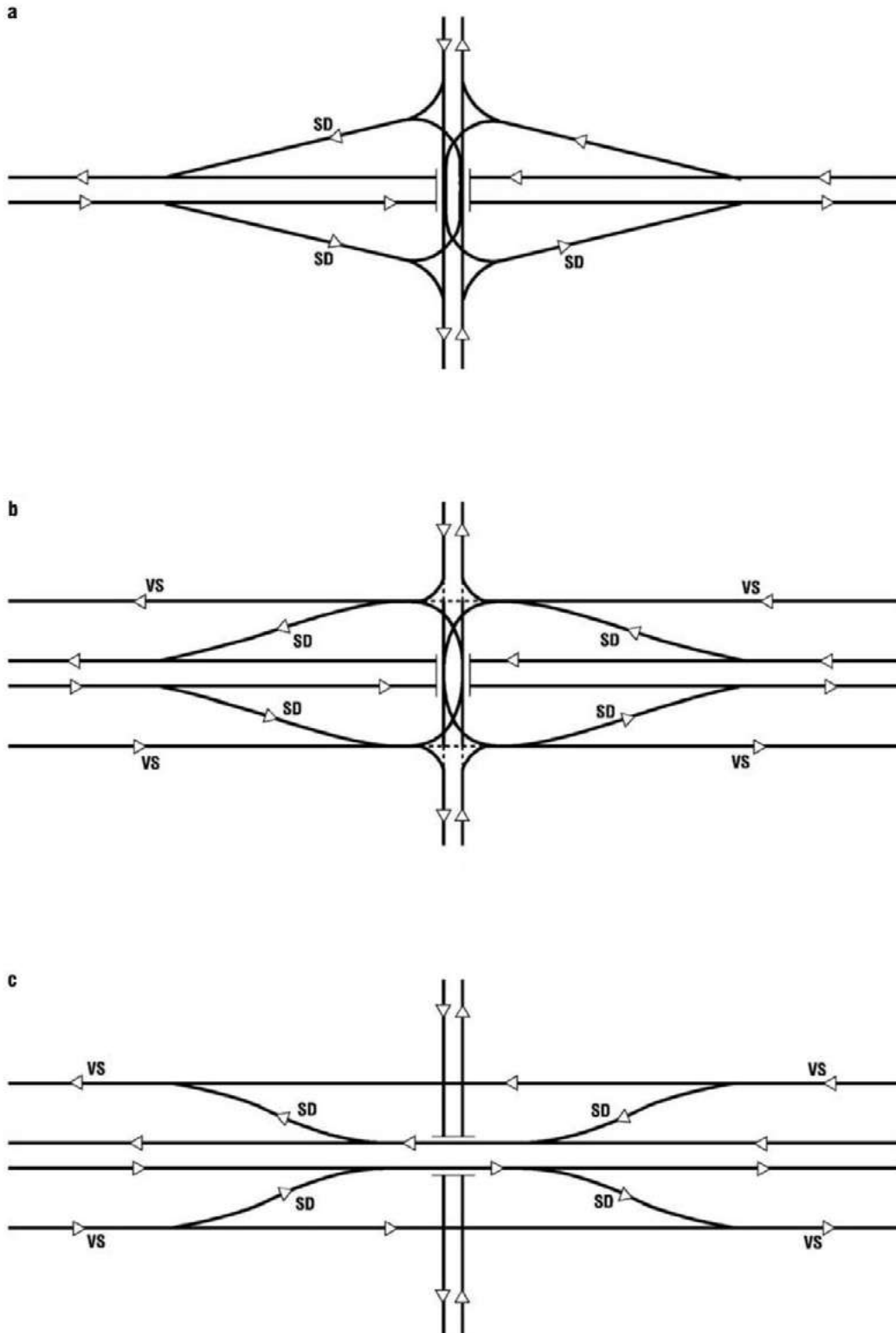


Figura 3.1_91
ENLACES TIPO DIAMANTE CLÁSICO



NOMENCLATURA
—— = CARRETERA PRINCIPAL
SD = SEMIDIRECTO
VS = VÍA DE SERVICIO

Figura 3.1_92
MODIFICACIONES DE ENLACE TIPO DIAMANTE

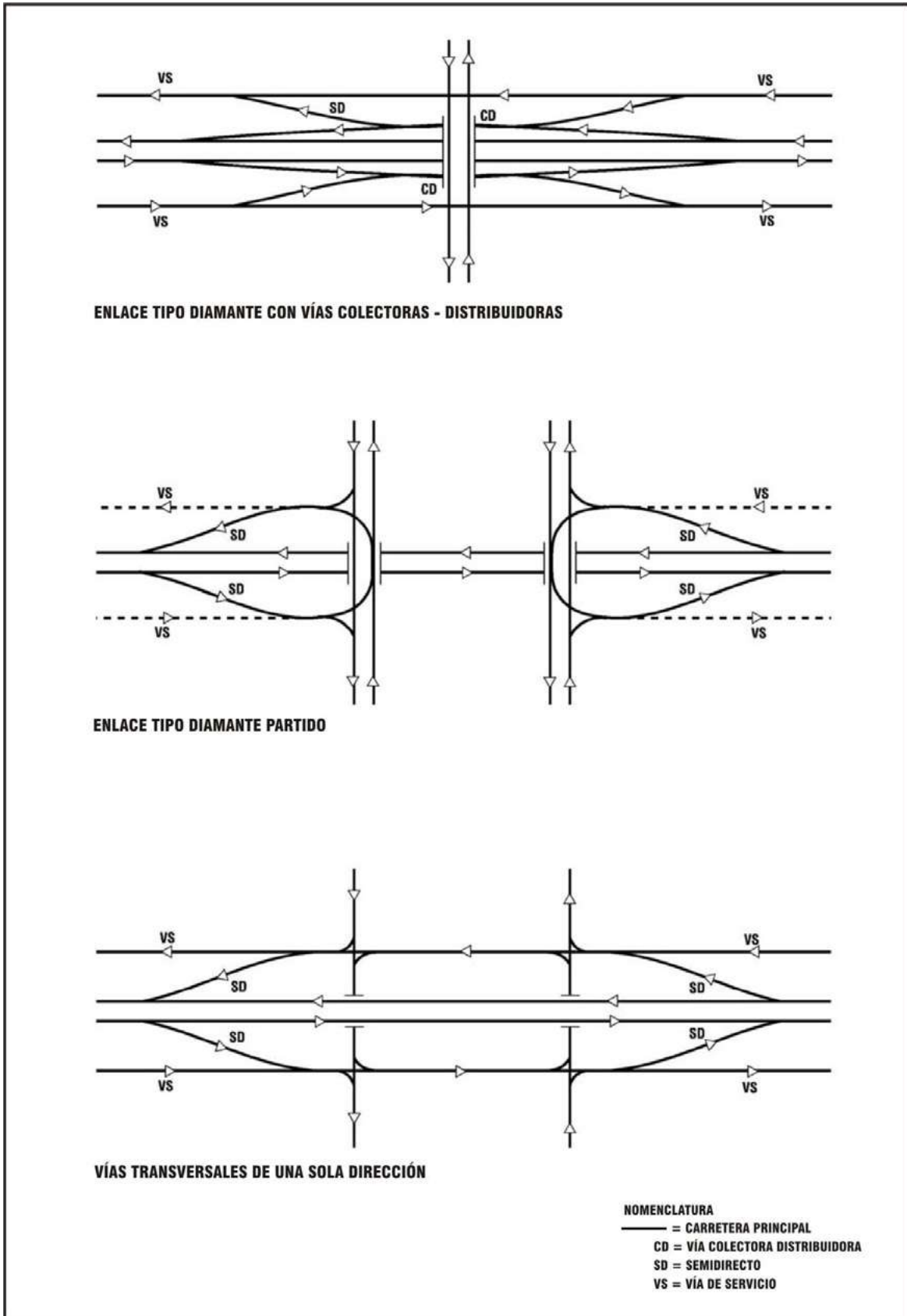
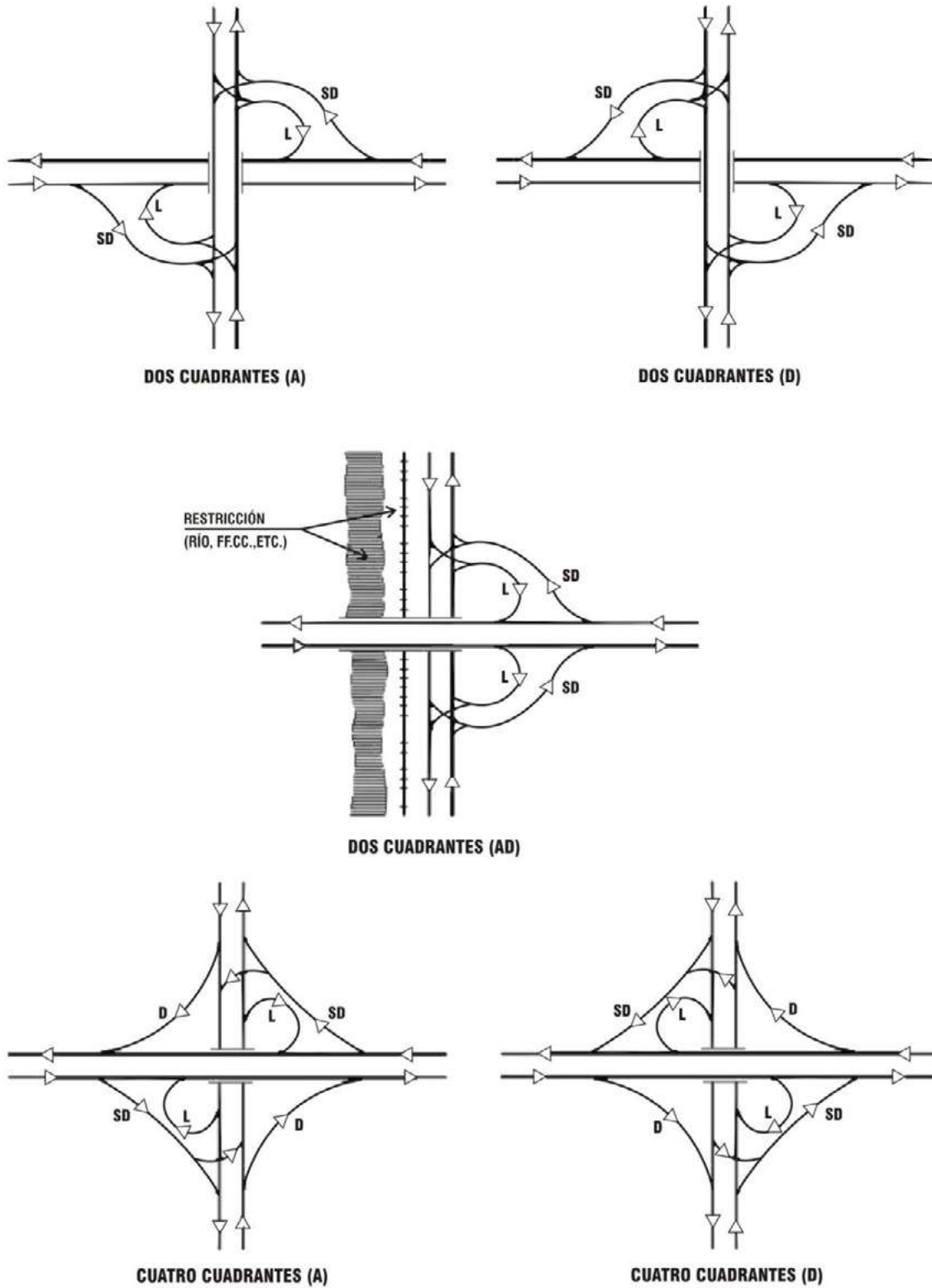


Figura 3.1_93
ENLACES TIPO TRÉBOL PARCIAL



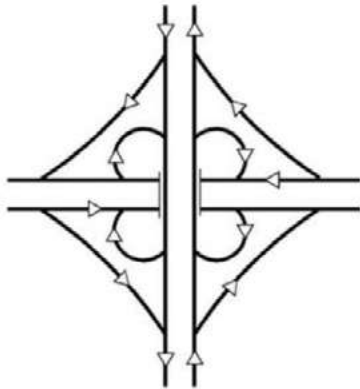
NOTA: LA DESIGNACIÓN A ó D DEL TRÉBOL PARCIAL SIGNIFICA QUE LA SALIDA DE LA CARRETERA PRINCIPAL ESTÁ ANTES O DESPUÉS DE LA ESTRUCTURA.

NOMENCLATURA

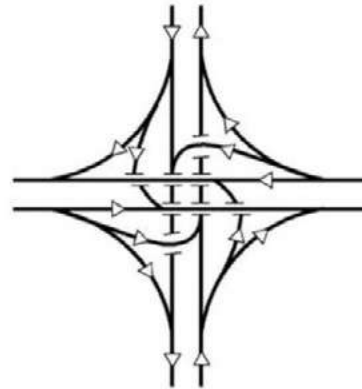
— = CARRETERA PRINCIPAL
SD = RAMAL SEMIDIRECTO

D = RAMAL DIRECTO
L = LAZO

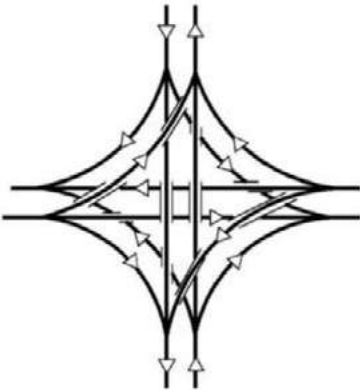
Figura 3.1_94
ENLACES SIMÉTRICOS DE LIBRE CIRCULACIÓN



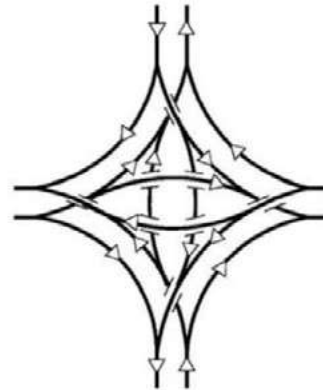
TRÉBOL



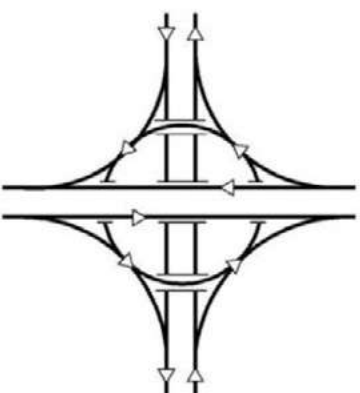
SEMI - DIRECTO
(con una salida)



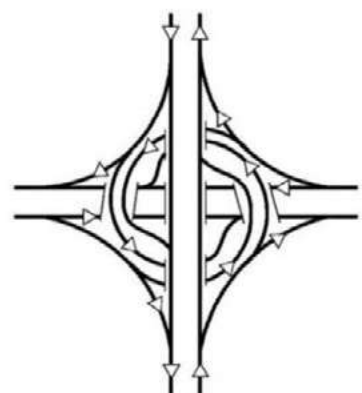
OMNI DIRECCIONAL



OMNI - DIRECCIONAL
(calzadas transpuestas)



ROTATORIO



TURBINA

Figura 3.1_95 ROTONDAS DESNIVELADAS

FIGURA A
Rotonda de Dos Puentes

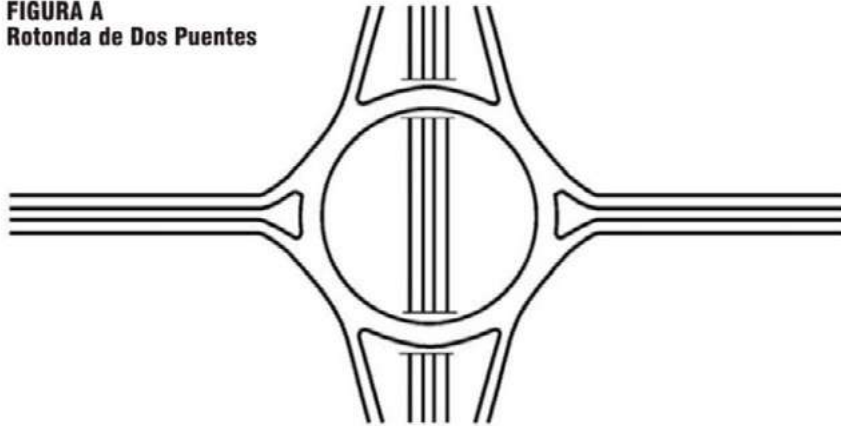


FIGURA B
Rotonda Tipo Pesa

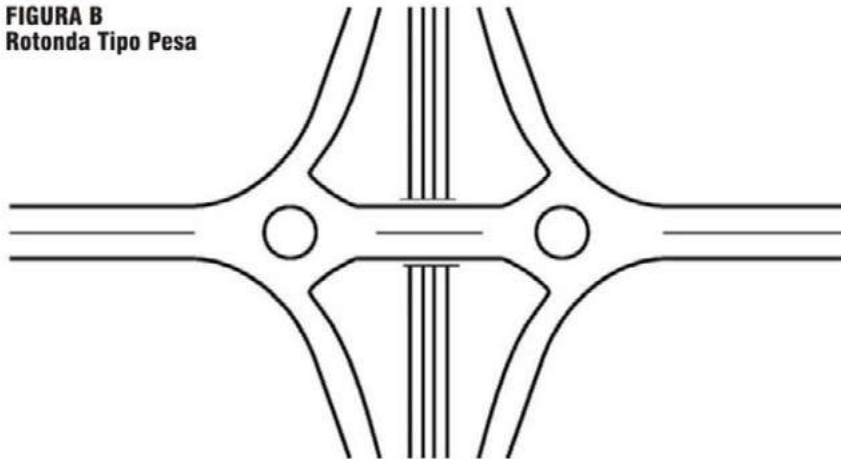


FIGURA C
Rotonda de Tres Niveles

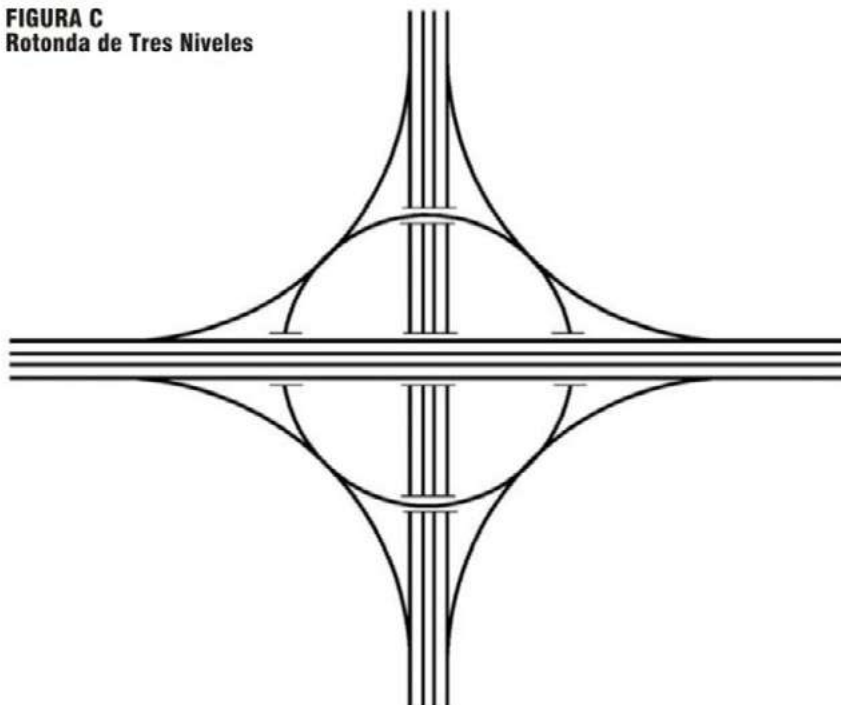


Figura 3.1_96
EJEMPLOS DE EQUILIBRIO DE CARRILES

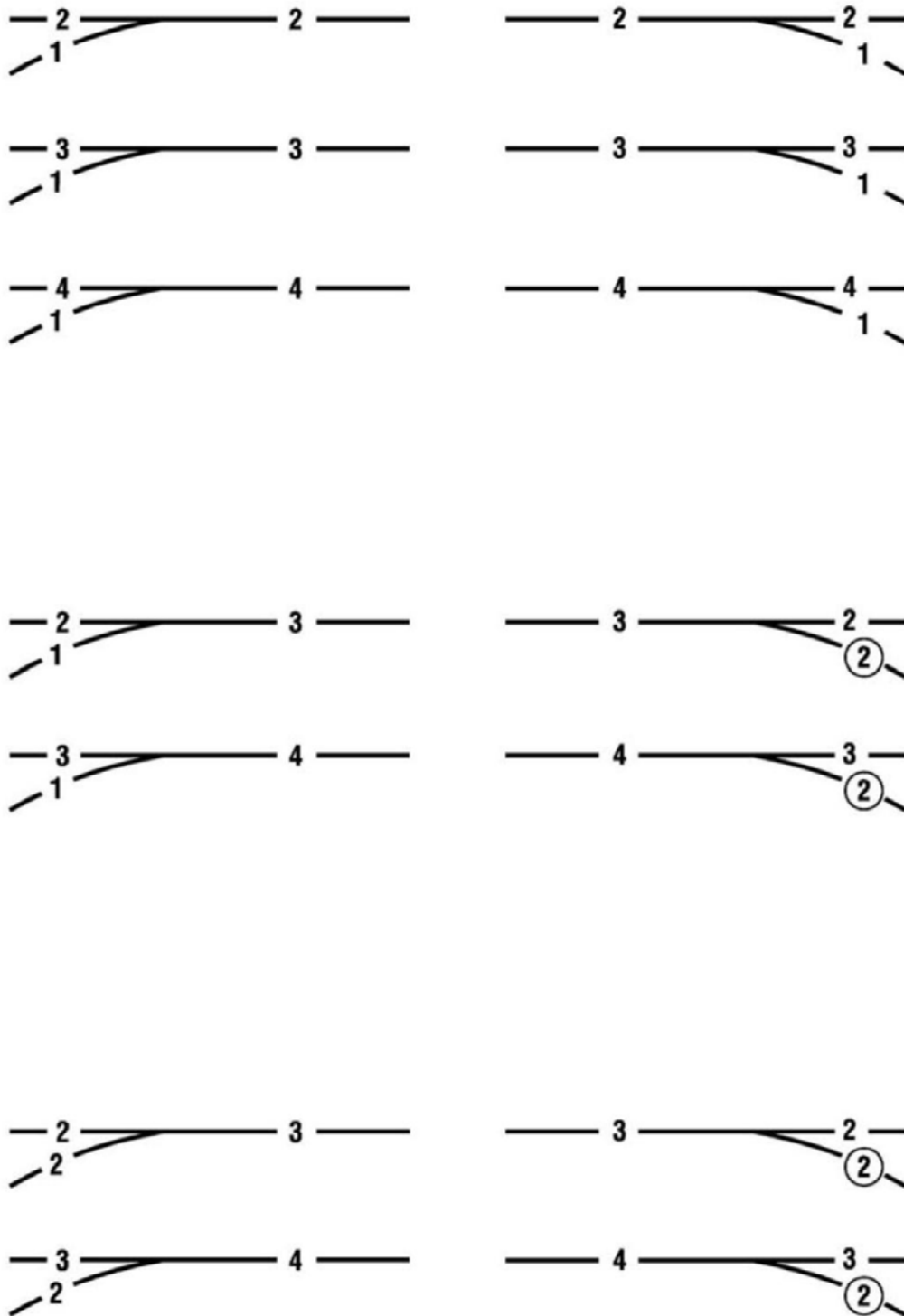




Figura 3.1_97
ESQUEMA DEL PROCESO DE DEFINICIÓN GEOMÉTRICA DE UN ENLACE

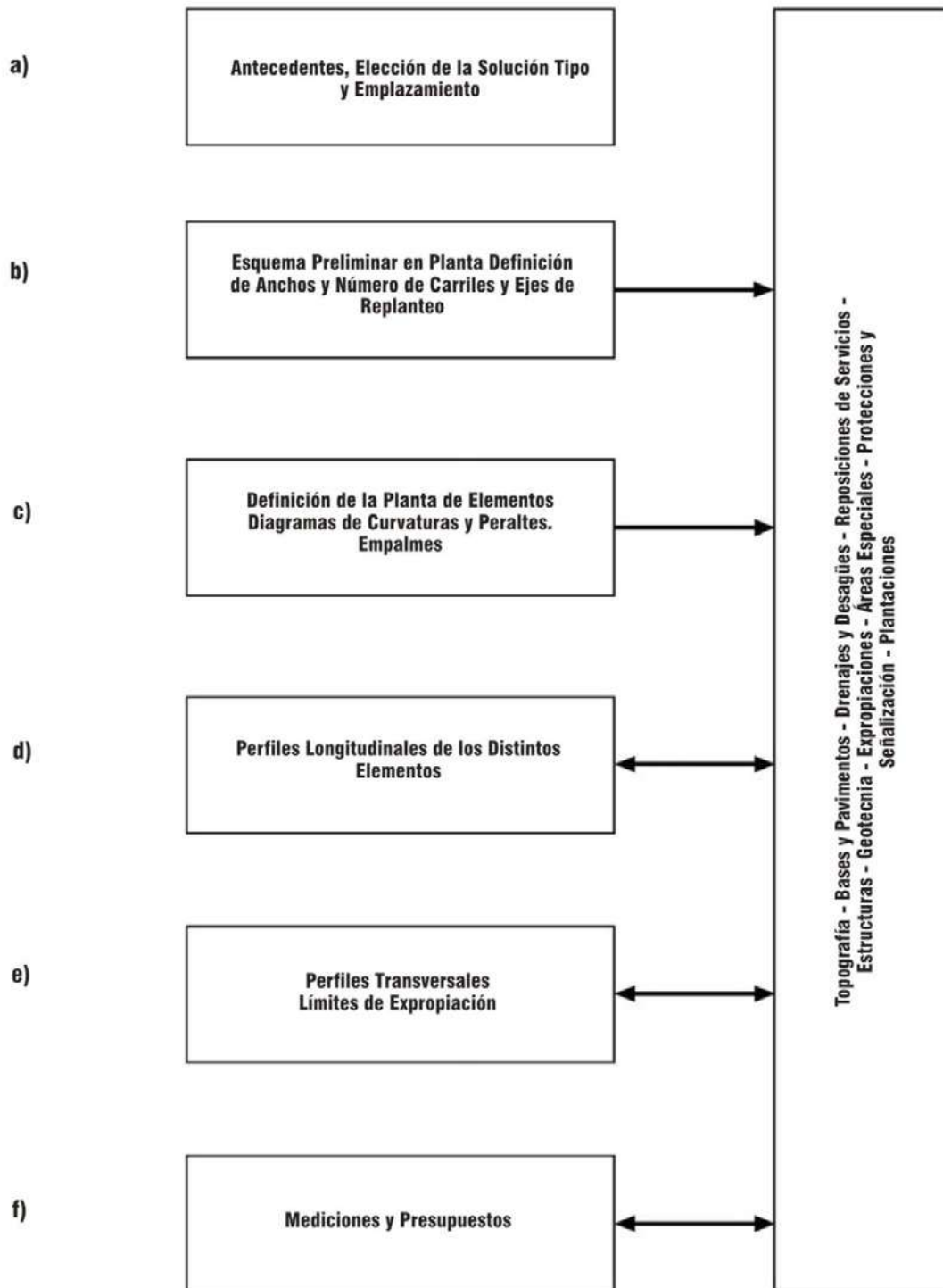


Figura 3.1_98
TERMINALES SUCESIVOS

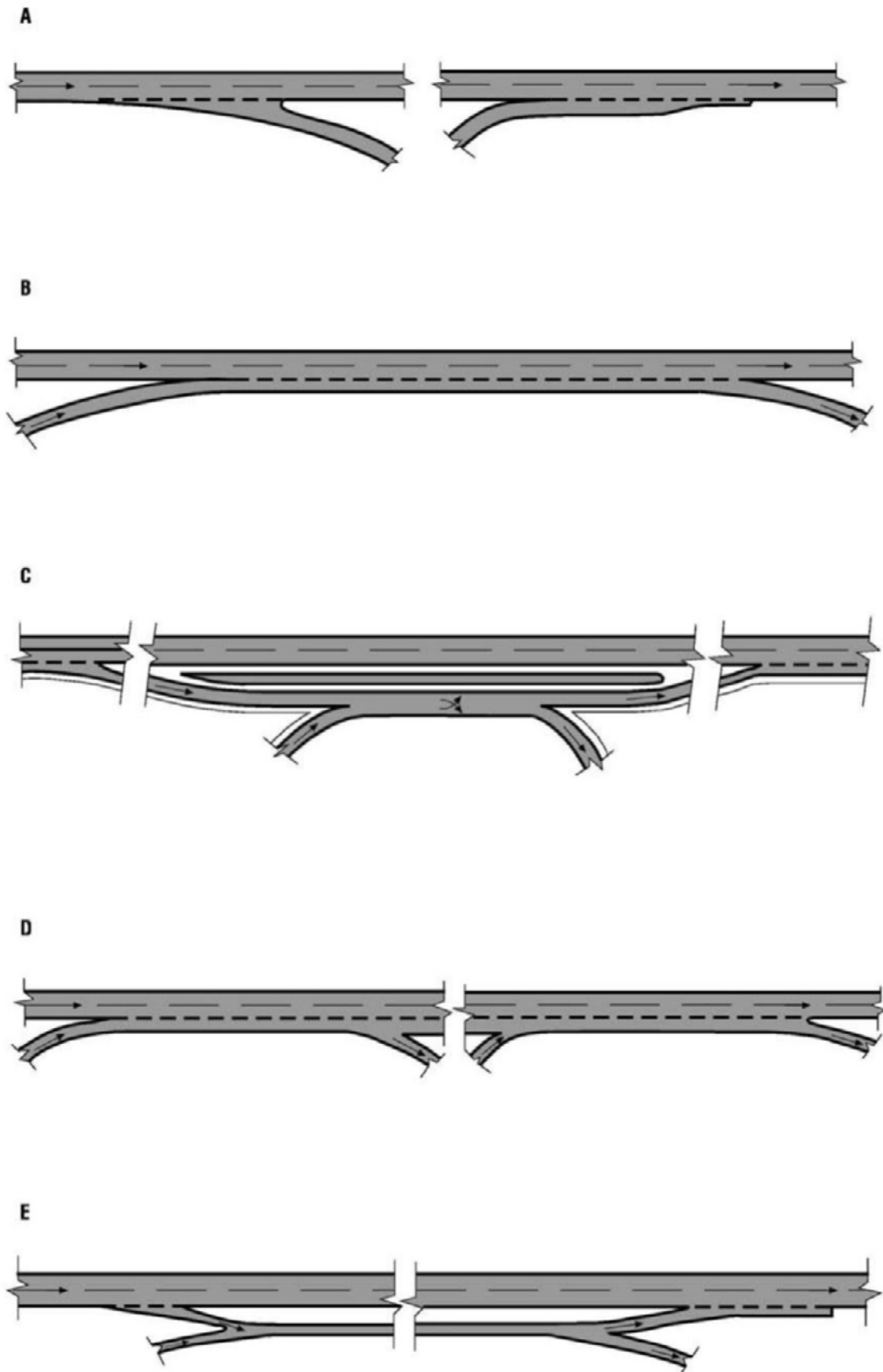
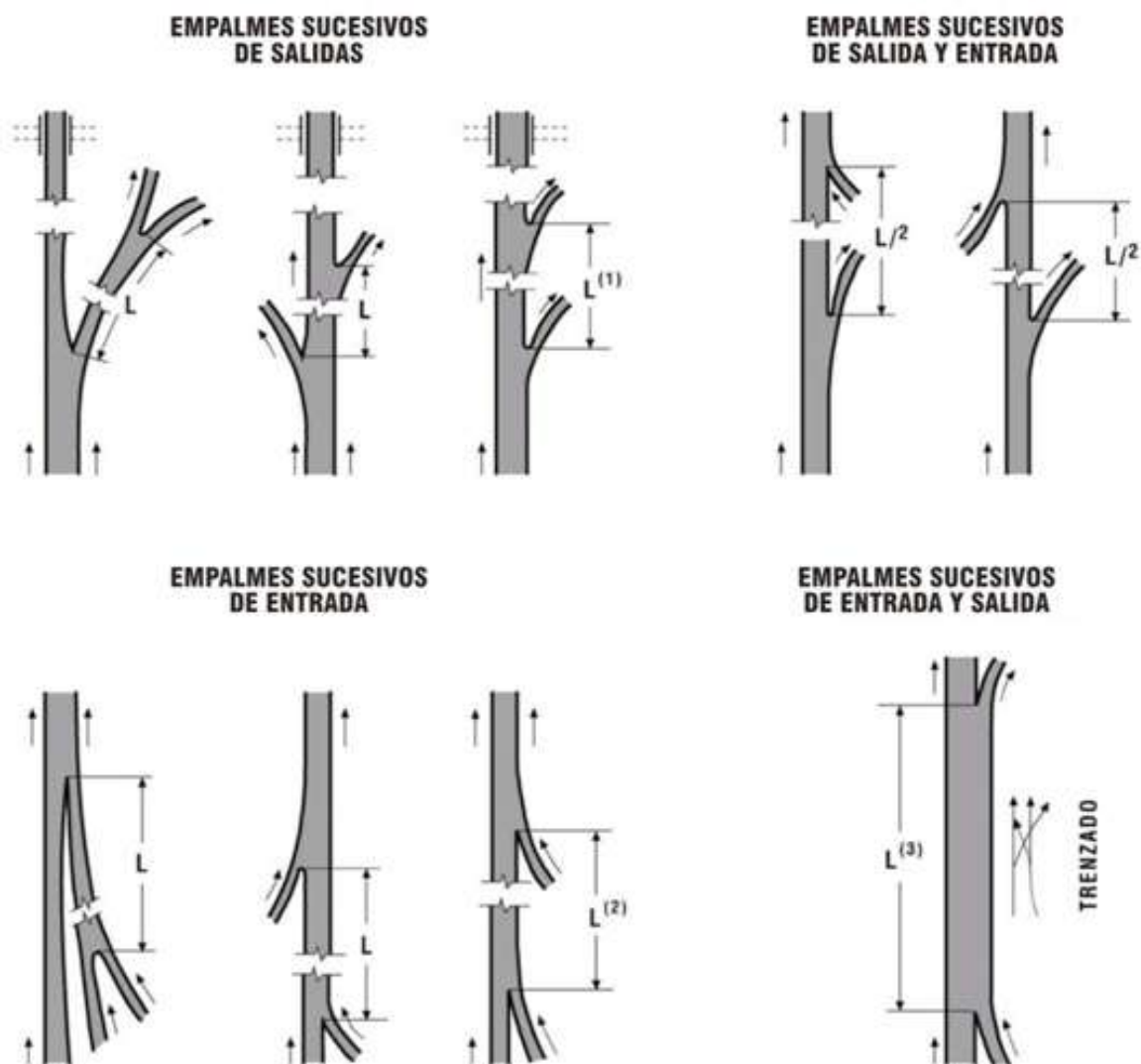


Figura 3.1_99
SEPARACIÓN ENTRE TERMINALES SUCESIVOS

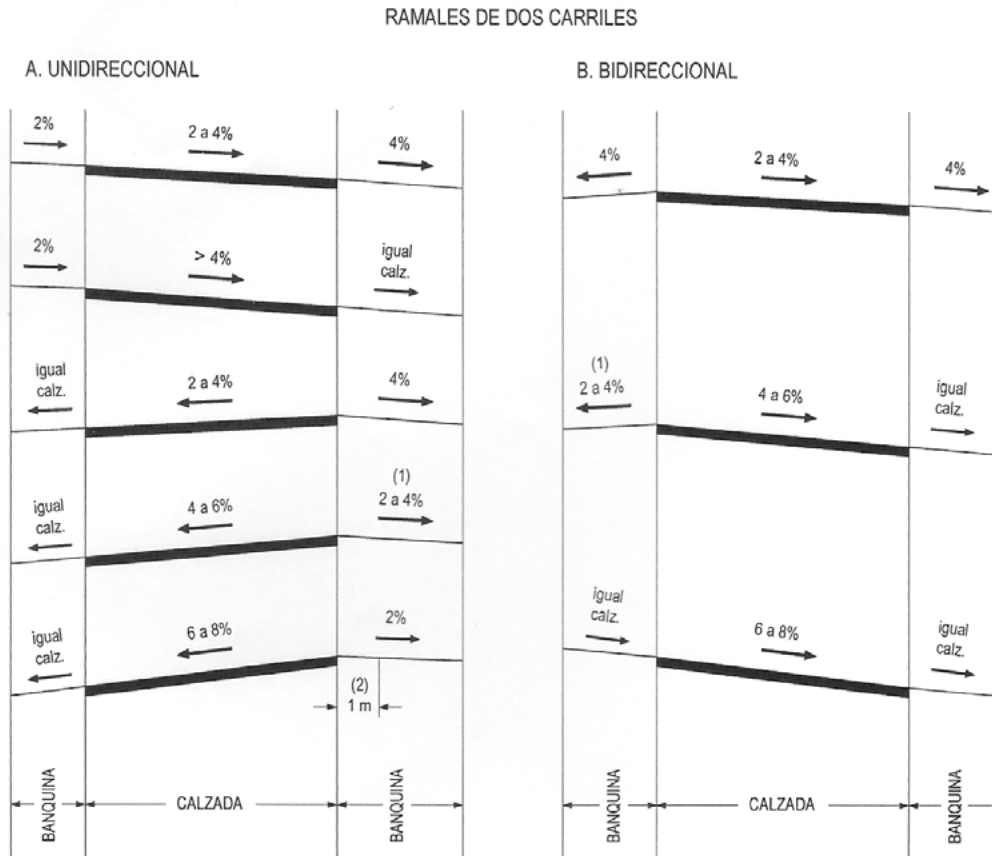


L(1) como en Tabla
L(2) como en Tabla
L(3) como en Tabla

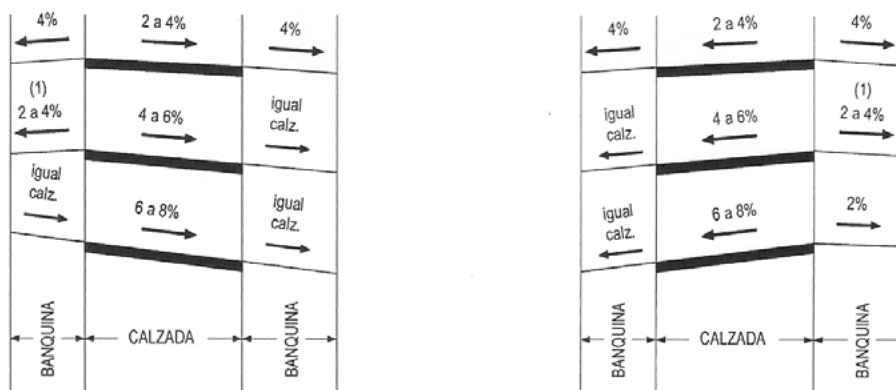
No inferior a LT
No inferior a LT
No inferior a Longitud de Trenzado

DISTANCIAS "L" ENTRE EMPALMES SUCCESIVOS				
V_p (Km/h) (carretera)	< 60	70 - 80	90 - 110	120
L (m) Mínimo	60	120	150	200
L (m) Deseable	120	200	250	300

Figura 3.1_100
SECCIONES TRANSVERSALES TIPO DE RAMALES



RAMALES DE UN CARRIL



NOTA 1 : SUMA DE PENDIENTES IGUAL A 8%
NOTA 2 : REDONDEO DE LA ARISTA

ANEXO III - GRÁFICOS

Figura 3.1_101
FORMULARIO DE DATOS ESTUDIO DE VELOCIDADES (1)

Fecha: _____	
Identificación y Datos Generales.	
Nombre de la Ruta: _____	Código de la Ruta: _____
Rol de la Ruta: _____	
Jerarquía funcional de la Ruta: _____	
Sector: _____	
Tramo en estudio: _____	(indicar km de inicio y km. Termino, además de topónimos del tramo si los hay)
Area de Influencia: _____	(indicar vías o singularidades que limitan el área de influencia del tramo, adjuntar croquis)
Características Físicas del Tramo.	
(indicar en un plano de planta a escala).	
Intersecciones o cruces viales: _____	
Cruces peatonales: _____	(formales) - (informales)
Presencia de Peatones: _____	(SI) - (NO)
Paradas de Buses: _____	(existen en el tramo si/no, ubicación km., lado Izq./Der., sobre:carriles/ bermas / fuera de bermas)
Accesos a Propiedad: _____	(km., lado, tipo de propiedad: particular / comercial / industrial / etc..)
Trazado en planta: _____	(recto, curva, zona de curvas, etc..)
Trazado en elevación: _____	(sector sin pendiente, con pendiente subida, con pendiente bajada, en curva vertical, etc..)
Tipo de calzada: _____	(bidireccional, unidireccional)
Numero de carriles: _____	Ancho Carriles: (3.0 m.) - (3.5 m.) Rodadura: (Pavimentada) - (No pavimentada)
Tipo de Pavimento: _____	Situación General del Pavimento: (Bueno) - (Regular) - (Malo)
Bermas: BI (SI) (NO) Ancho Bermas: BI = (2,0 m) (1,5 m) (0,5 m)	Revestimiento: (Pavimento) - (Granular)
BD (SI) (NO) Ancho Bermas: BD = (2,0 m) (1,5 m) (0,5 m)	Estado (Bueno) - (Reg.) - (Malo)
Cantero Central: (SI) (NO) _____	Ancho Cantero Central (m): _____
Croquis del sector: Adjuntar	
Observaciones:	
<p>Se debe indicar la señalización existente en el tramo en análisis Se debe incluir una monografía de señalización Se deben indicar las singularidades del tramo:tales como veredas, barreras, colegios, cruce de caminos, distancia de visibilidad, paso de cebr, etc.</p>	

Figura 3.1_102
FORMULARIO DE DATOS ESTUDIO DE VELOCIDADES (2)

Información Operativa del Tramo	Fecha: _____
<p>Nota 1: La información operativa del tramo, que se indica en este formulario debe ser recolectada, observada o medida para al menos tres (3) períodos en cada sentido de tránsito. Cabe señalar, que en vías unidireccionales y bidireccionales en que se este estudiando un tramo restrictivo ya sea por geometría o entorno, el análisis por sentido de tránsito, requiere controlar velocidades de aproximación, en puntos kilométricos no coincidentes.</p> <p>Nota 2: La información de velocidades de operación a completar en el presente formulario, presupone la medición previa de velocidades instantáneas mediante instrumento del tipo radar o sensores de microonda.</p>	
Punto Control de Velocidades:	km. Sentido 1: según avance de kilometrajes del camino.
Punto Control de Velocidades:	km. Sentido 2: según inverso de avance de kilometrajes del camino.
Período 1	
Fecha (día/mes/año)	Desde (hr.) Hasta (hr.)
Flujos Vehiculares (Veh/hr)	
	Vehículos Livianos Vehículos Pesados
Sentido 1	
Sentido 2	
Velocidad de Operación (km/h)	
	Vehículos Livianos Vehículos Pesados
Sentido 1	
Sentido 2	
Período 2	
Fecha (día/mes/año)	Desde (hr.) Hasta (hr.)
Flujos Vehiculares (Veh/hr)	
	Vehículos Livianos Vehículos Pesados
Sentido 1	
Sentido 2	
Velocidad de Operación (km/h)	
	Vehículos Livianos Vehículos Pesados
Sentido 1	
Sentido 2	
Período 3	
Fecha (día/mes/año)	Desde (hr.) Hasta (hr.)
Flujos Vehiculares (Veh/hr)	
	Vehículos Livianos Vehículos Pesados
Sentido 1	
Sentido 2	
Velocidad de Operación (km/h)	
	Vehículos Livianos Vehículos Pesados
Sentido 1	
Sentido 2	
<p>Nota: Vehículos livianos son aquellos ≤ 3.860 kg de peso bruto.</p>	

Figura 3.1_103
LONGITUD DE ESTRECHAMIENTO

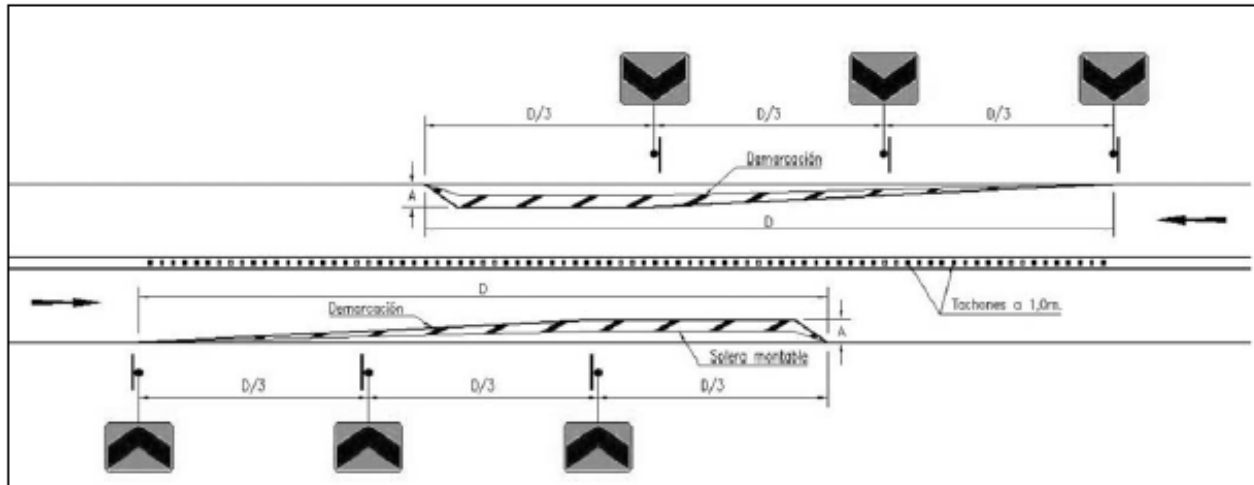




Figura 3.1_104
ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD LOMADAS PAVIMENTADAS

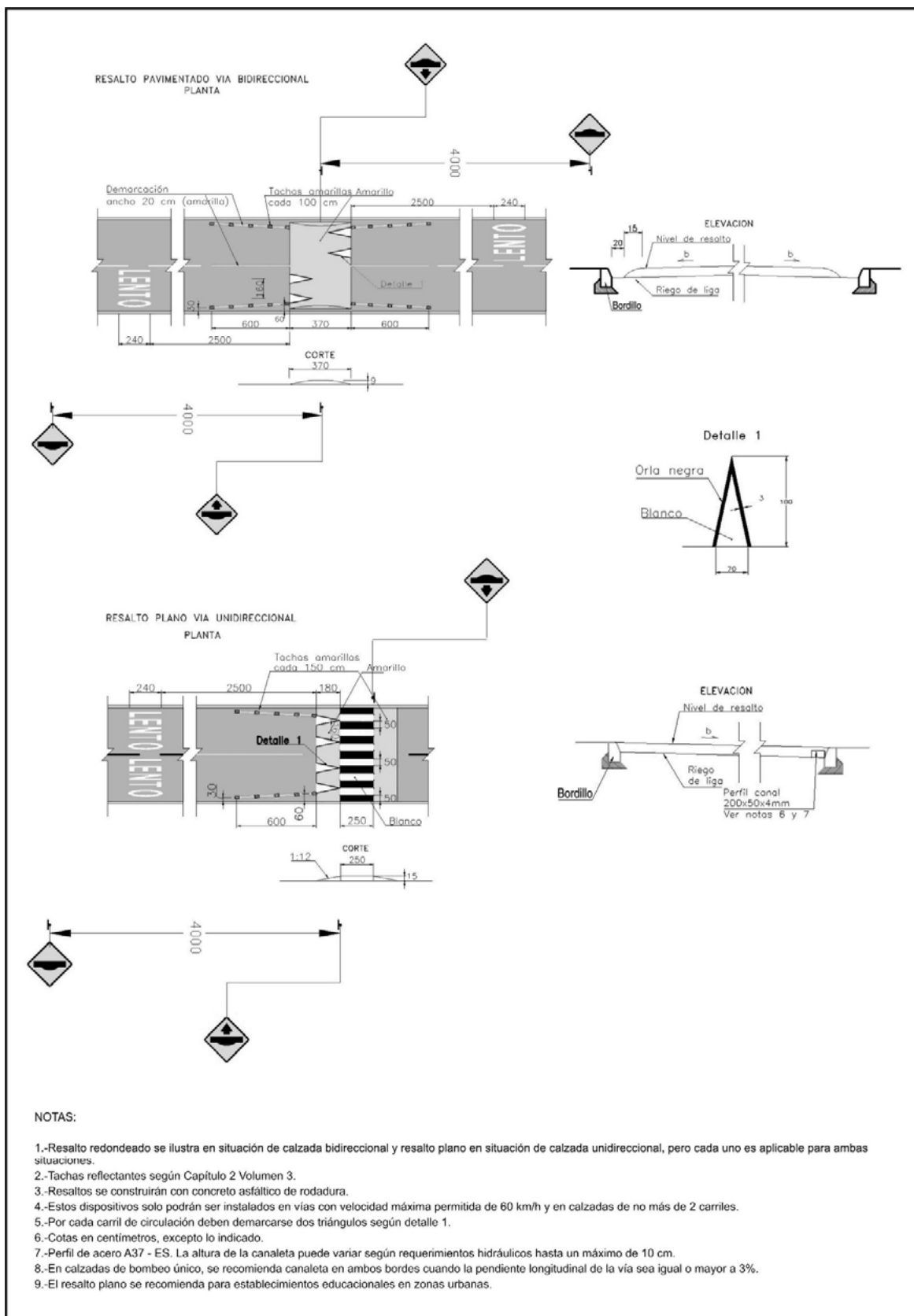


Figura 3.1_105
ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD LOMADAS NO PAVIMENTADAS

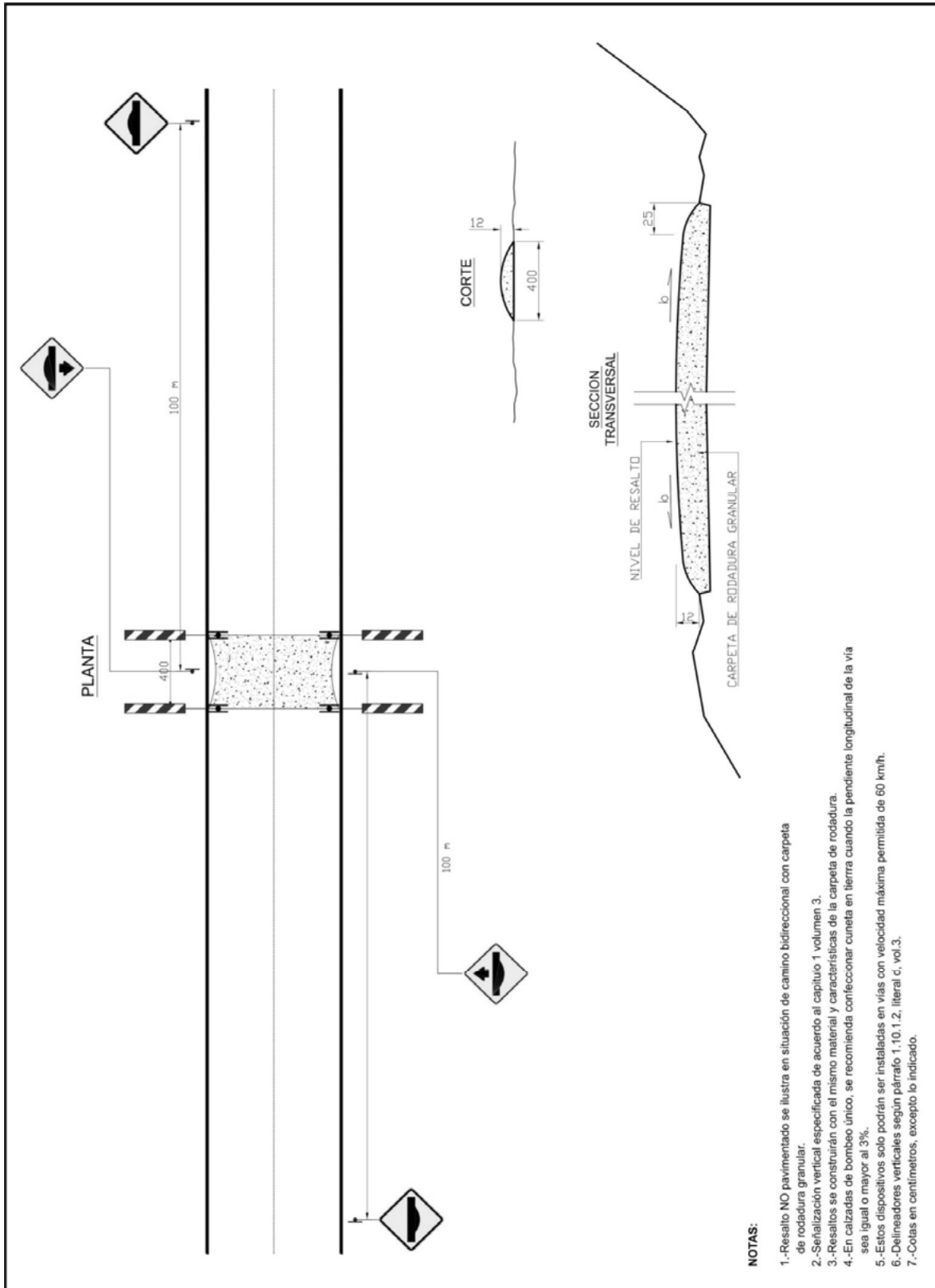


Figura 3.1_106
ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD LOMADAS NO PAVIMENTADAS
ZONA DE RESIDENCIA PEATONAL

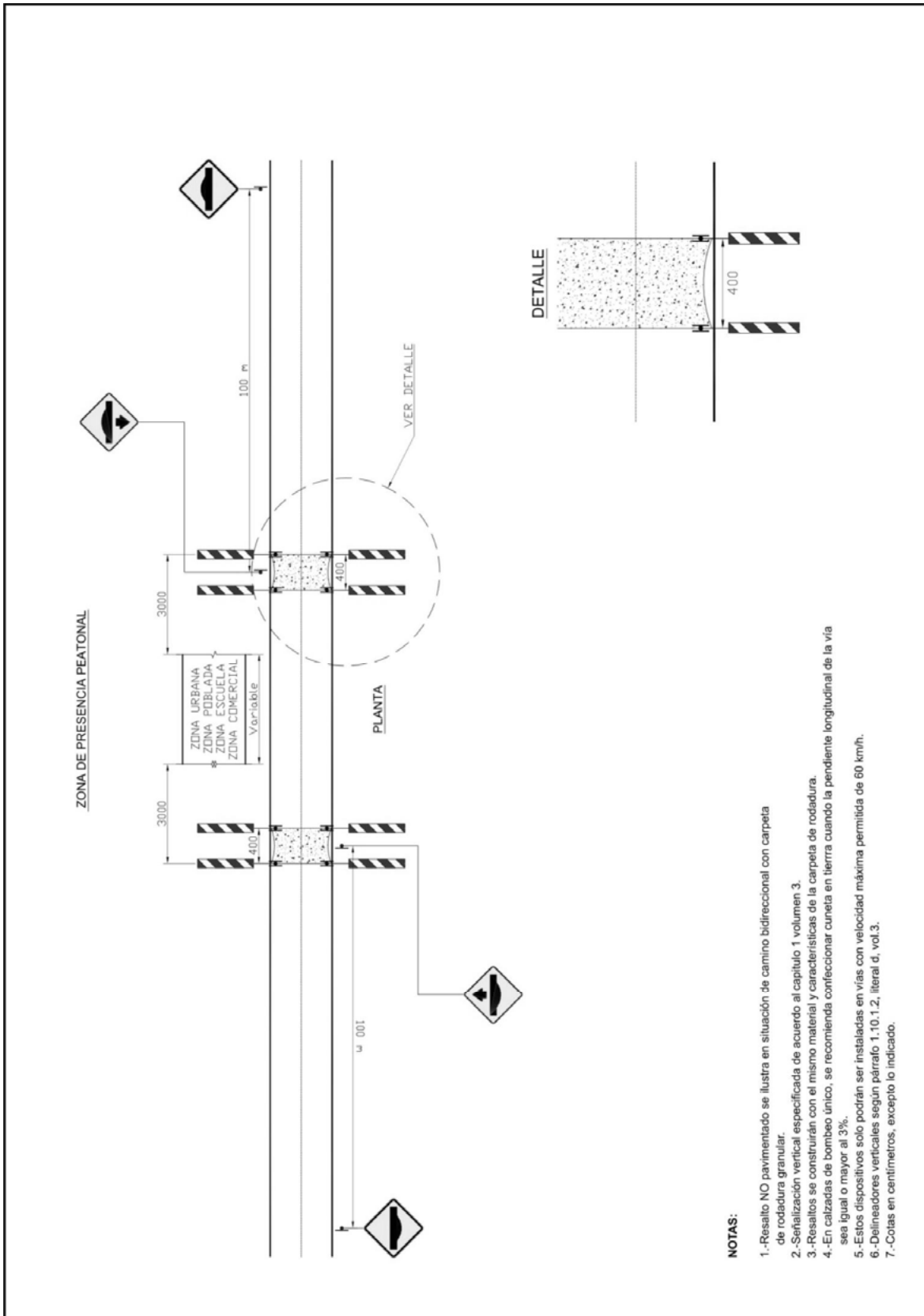




Figura 3.1_107
ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD BATERÍAS DE BANDAS TRANSVERSALES VIBRATORIAS

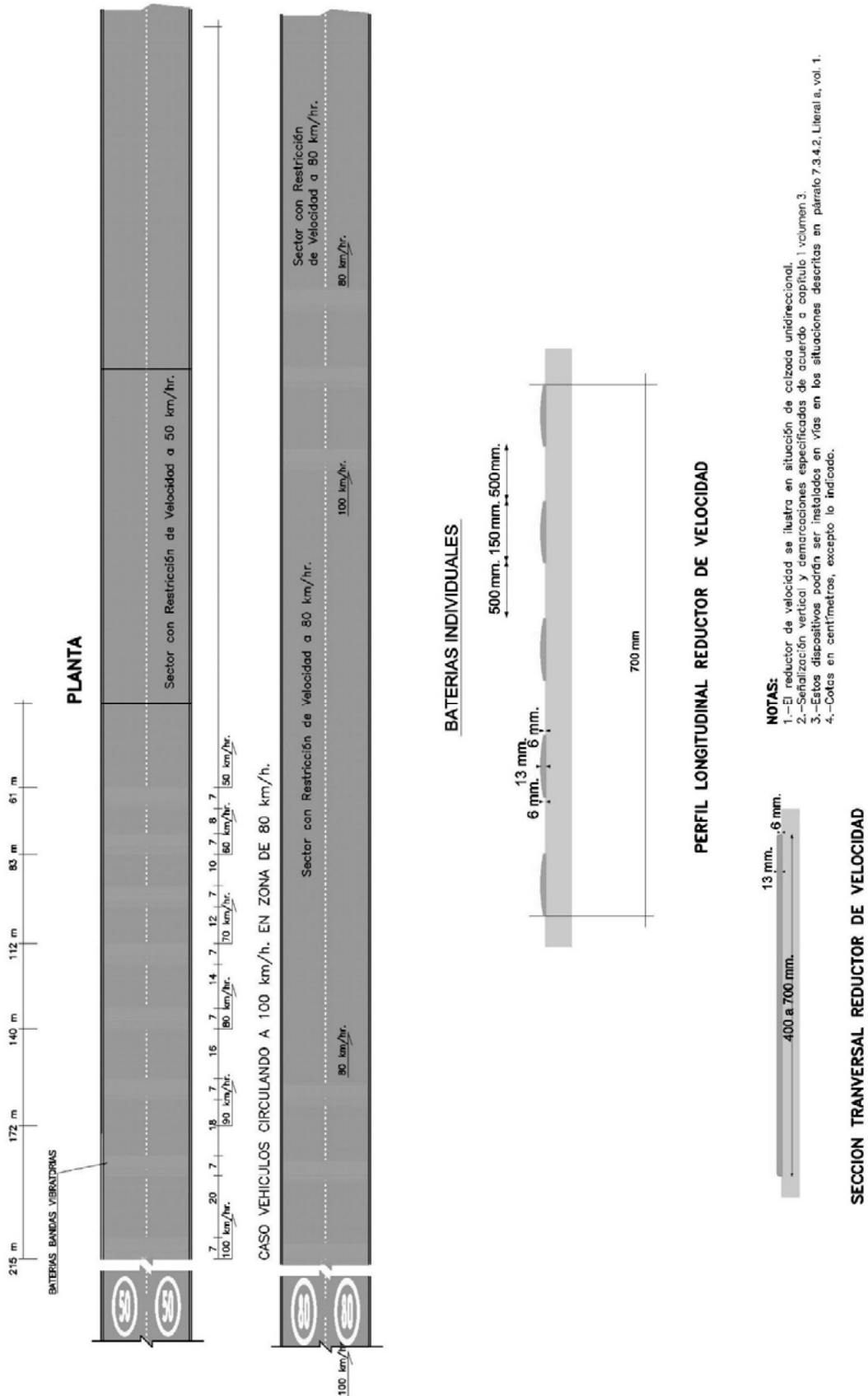
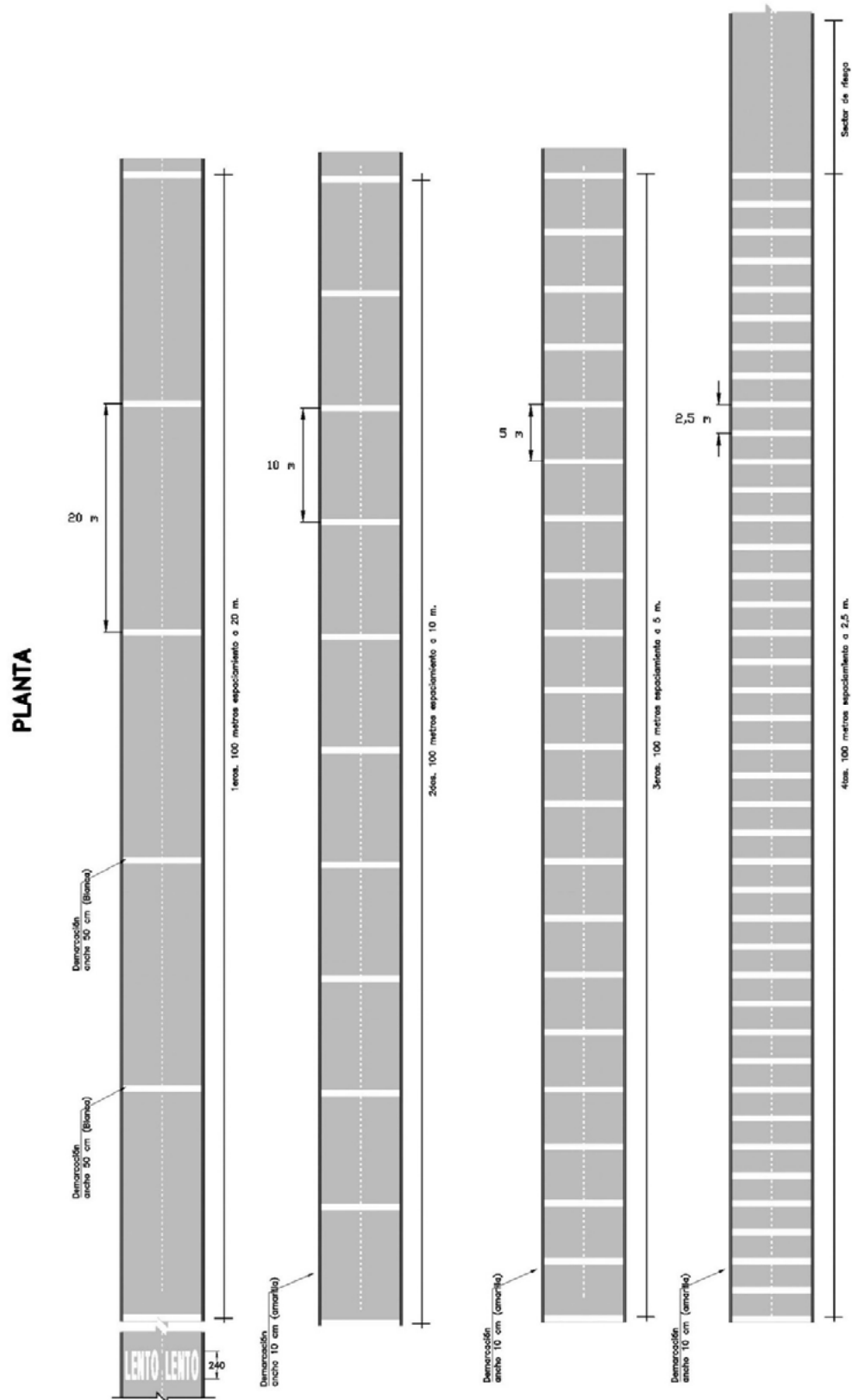


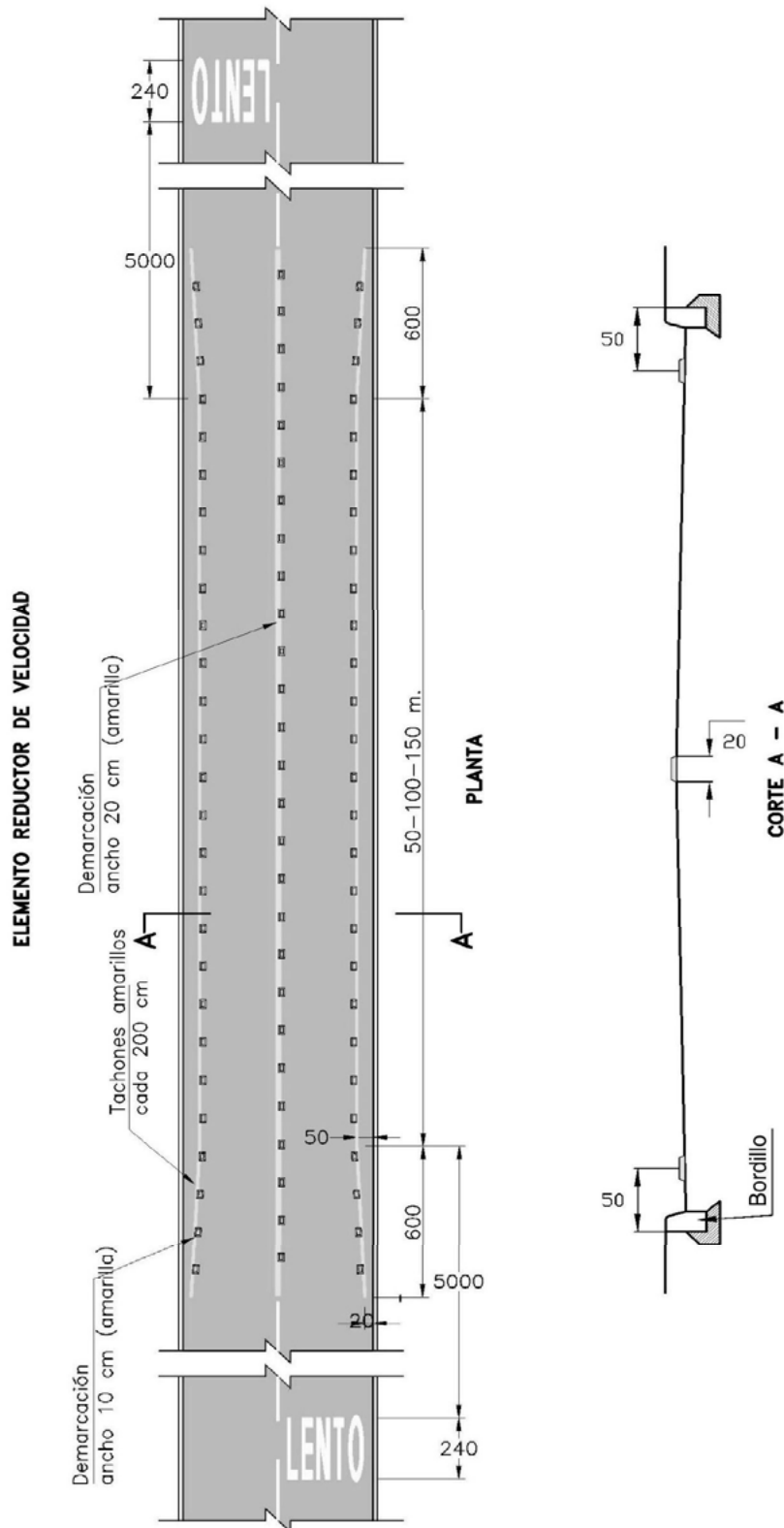
Figura 3.1_108
ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD DEMARCACIÓN DE BANDAS TRANSVERSALES



NOTAS:

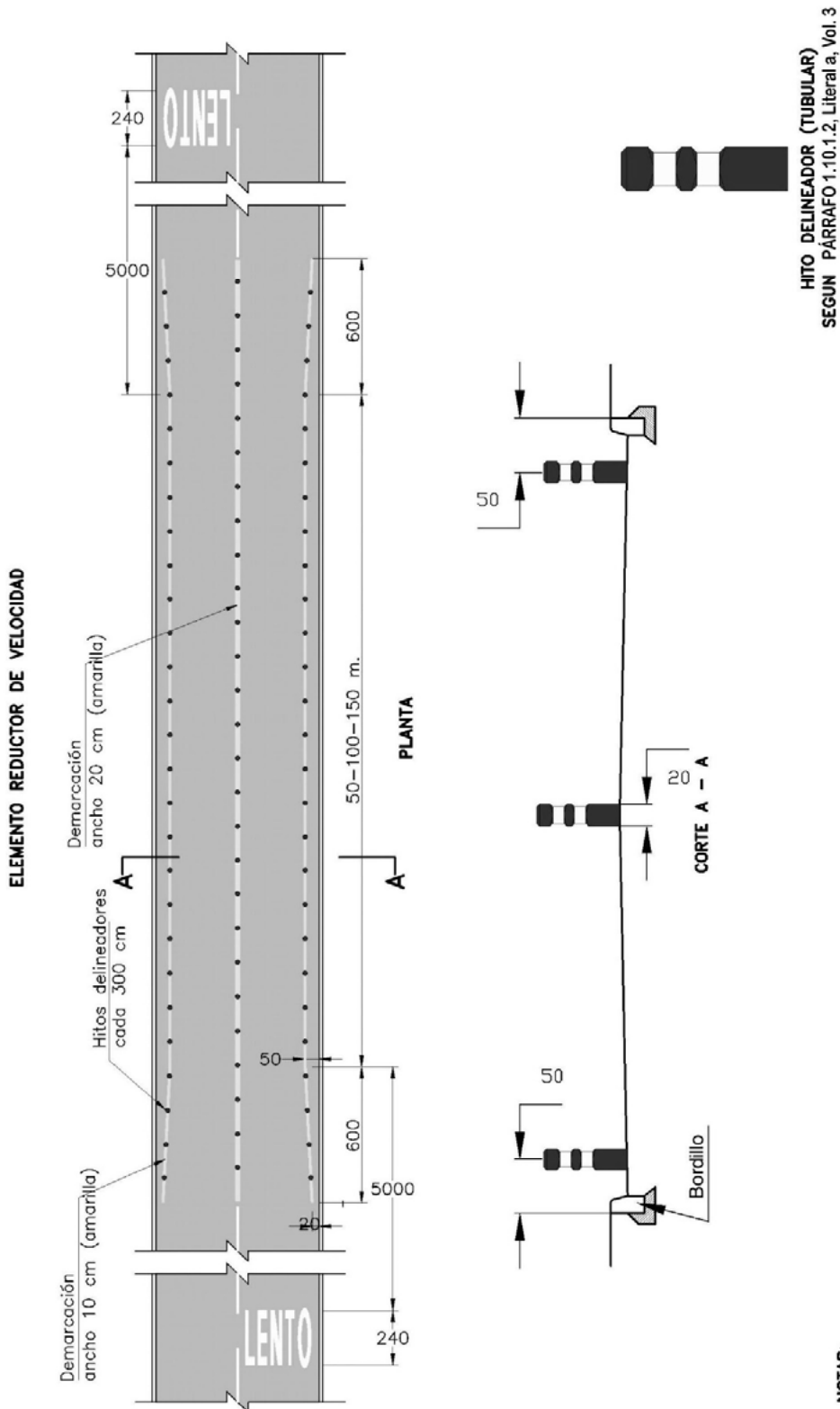
- 1.-El reductor de velocidad se ilustra en situación de calzada unidireccional.
- 2.-Señalización vertical y demarcaciones especificados de acuerdo a capítulo 1 y 2 volumen 3.
- 3.-Demarcación Transversal de Pavimentos según capítulo 2.
- 4.-Estos dispositivos podrán ser instalados en vías en las situaciones descritas en párrafo 7.3.4.2, Literal b, vol. 1.
- 5.-Cotas en centímetros, excepto lo indicado.

Figura 3.1_109
ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD TRAMOS DE ESTRECHAMIENTO DE CARRILES DEMARCACIÓN Y TACHONES



- NOTAS:**
- 1.-El reductor de velocidad se ilustra en situación de calzada bidireccional.
 - 2.-Señalización vertical y demarcaciones especificadas en capítulo 1 y 2 volumen 3.
 - 3.-Tachones reflectantes (ver tópicos tachas en capítulo 2).
 - 4.-Estos dispositivos podrán ser instalados en vías en las situaciones descritas en párrafo 7.3.4.2, literal a, Vol. 1.
 - 5.-Cotas en centímetros, excepto lo indicado.

Figura 3.1_110
ELEMENTOS REDUCTORES DE VELOCIDAD TRAMOS DE ESTRECHAMIENTO DE CARRILES DEMARCACIÓN E HITOS DELINEADORES (TUBULARES)

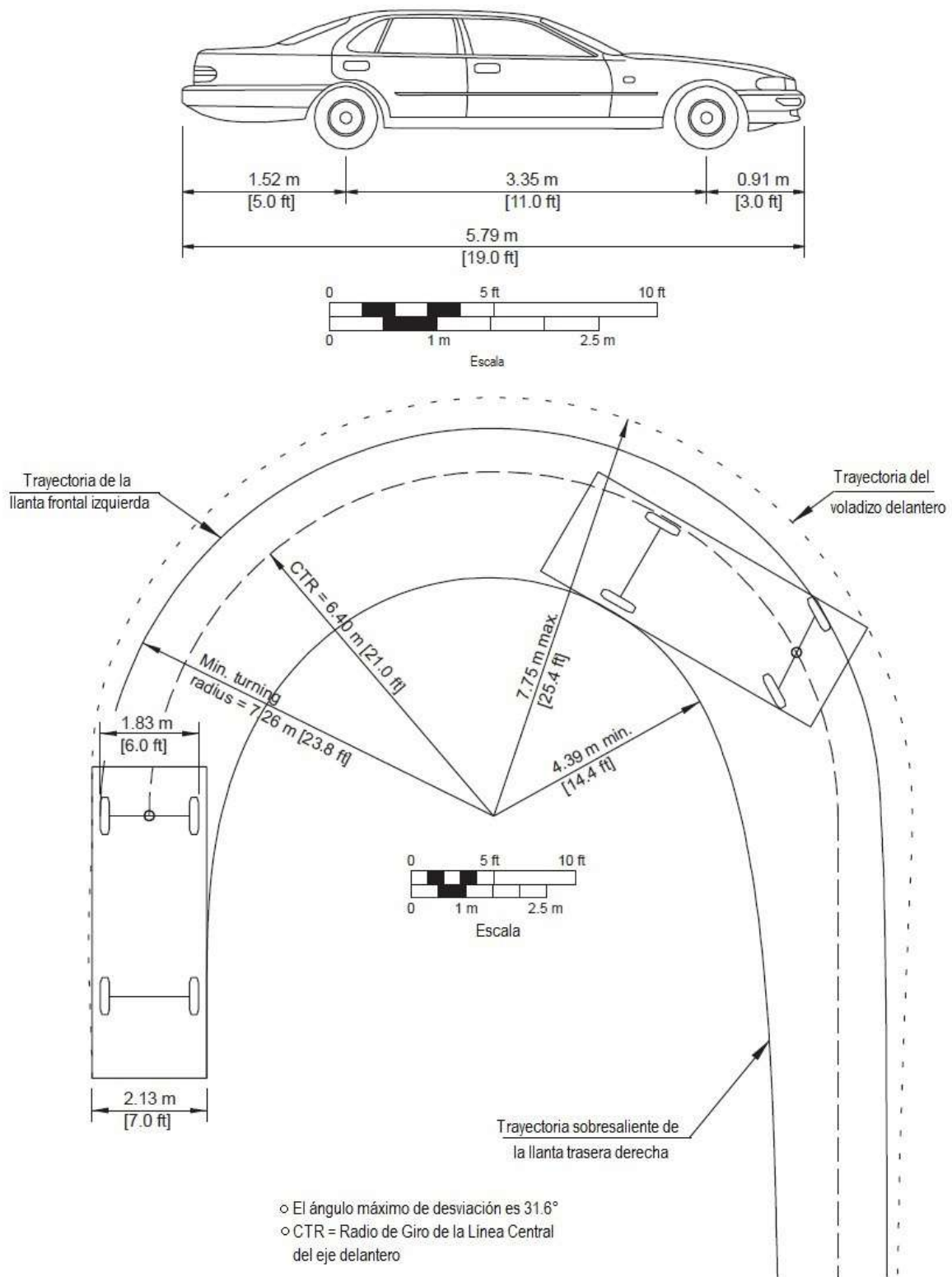


NOTAS:

- 1.-El reductor de velocidad se ilustra en situación de calzada bidireccional.
- 2.-Señalización vertical y demarcaciones especificadas en capítulo 1 y 2 volumen 3.
- 3.-Hitos delineadores (ver capítulo 2 volumen 3).
- 4.-Estos dispositivos podrán ser instalados en vías en las situaciones descritas en párrafo 7.3.4.2, Literal a, Vol. 1.
- 5.-Cotas en centímetros, excepto lo indicado.

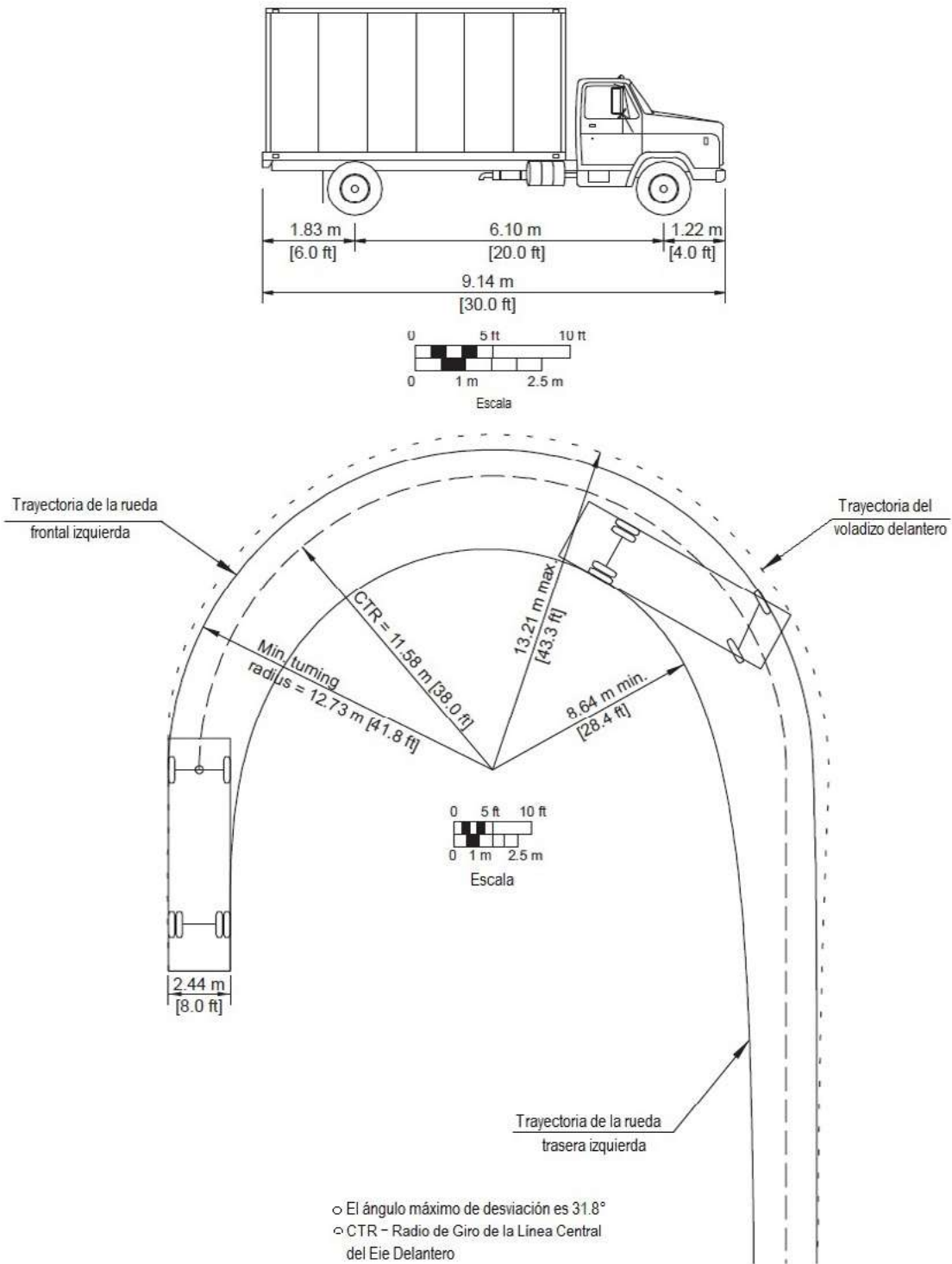
ANEXO IV– GRÁFICOS Y DOCUMENTOS

Figura 3.1_111
TRAYECTORIA MÍNIMA DE GIRO PARA EL VEHÍCULO DE DISEÑO (P)
(AUTOMÓVIL)



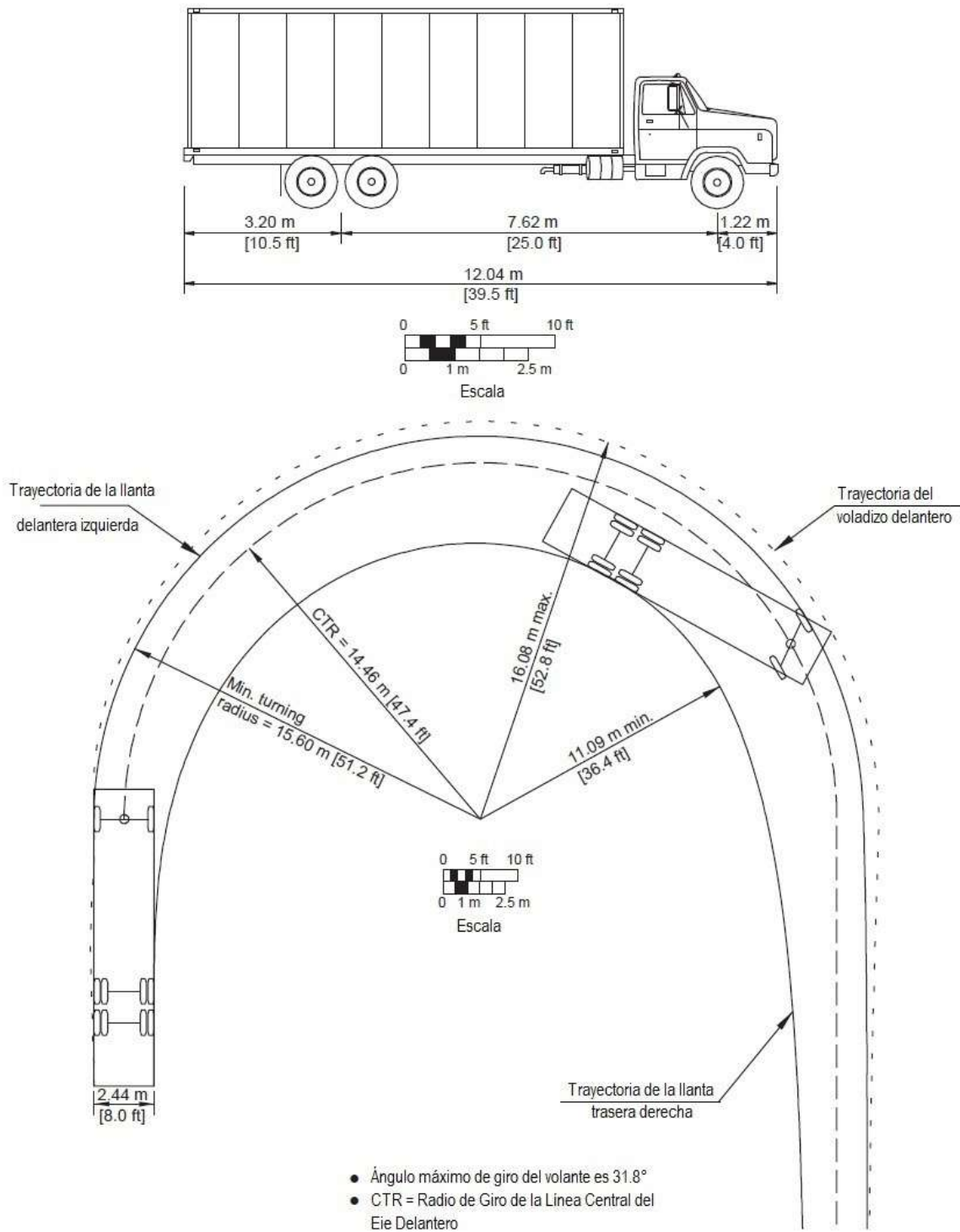
Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 6th Edition, 2011

Figura 3.1_112
TRAYECTORIA MÍNIMA DE GIRO PARA EL VEHÍCULO DE DISEÑO (SU-9 (SU-30)) (CAMIÓN DE UNIDAD SIMPLE)



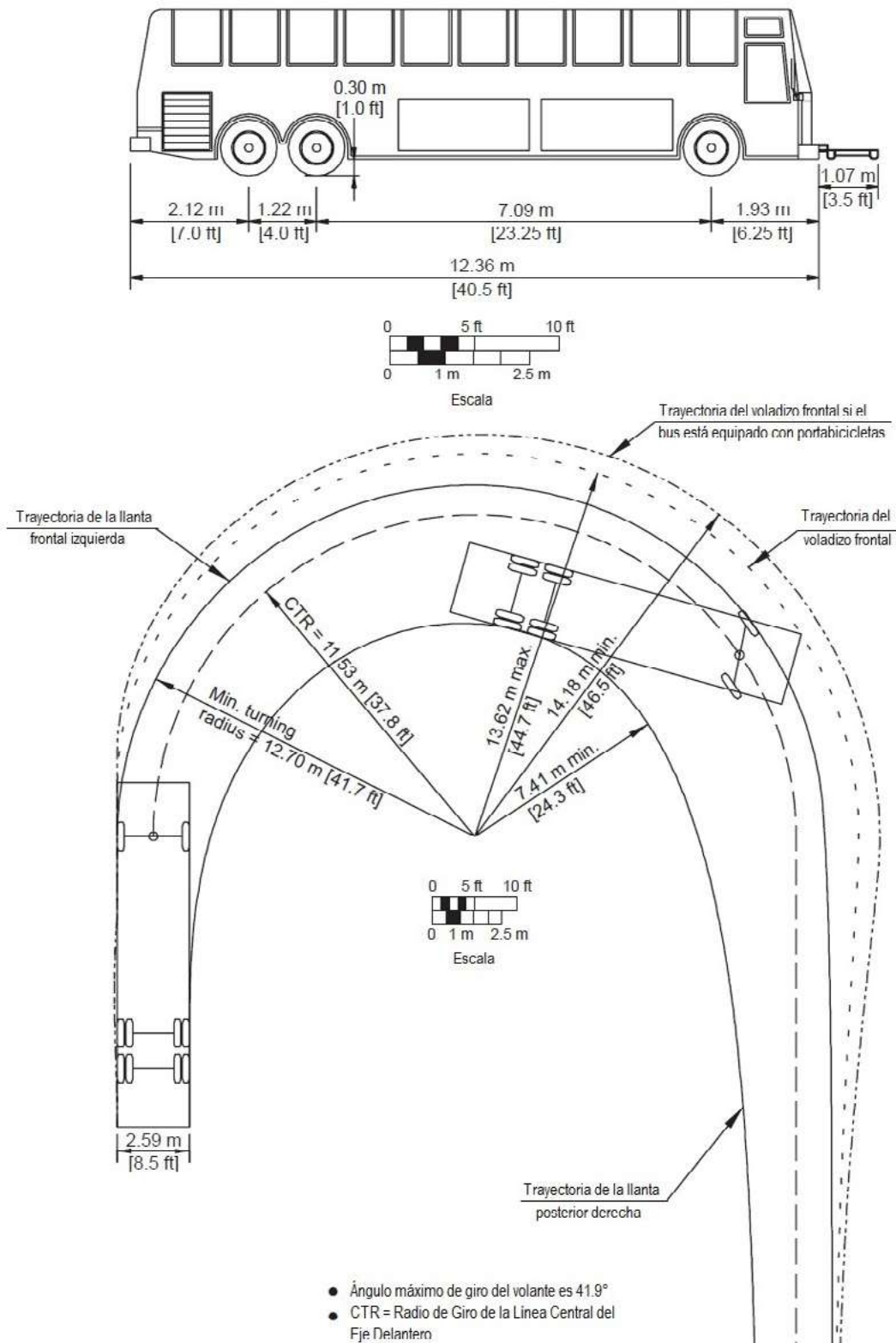
Fuente: A Pollock on Geometric Design of Highways and Streets, 6th Edition, 2011

Figura 3.1_113
TRAYECTORIA MÍNIMA DE GIRO PARA EL VEHÍCULO DE DISEÑO (SU-12
(SU-40)) (CAMIÓN DE UNIDAD SIMPLE)



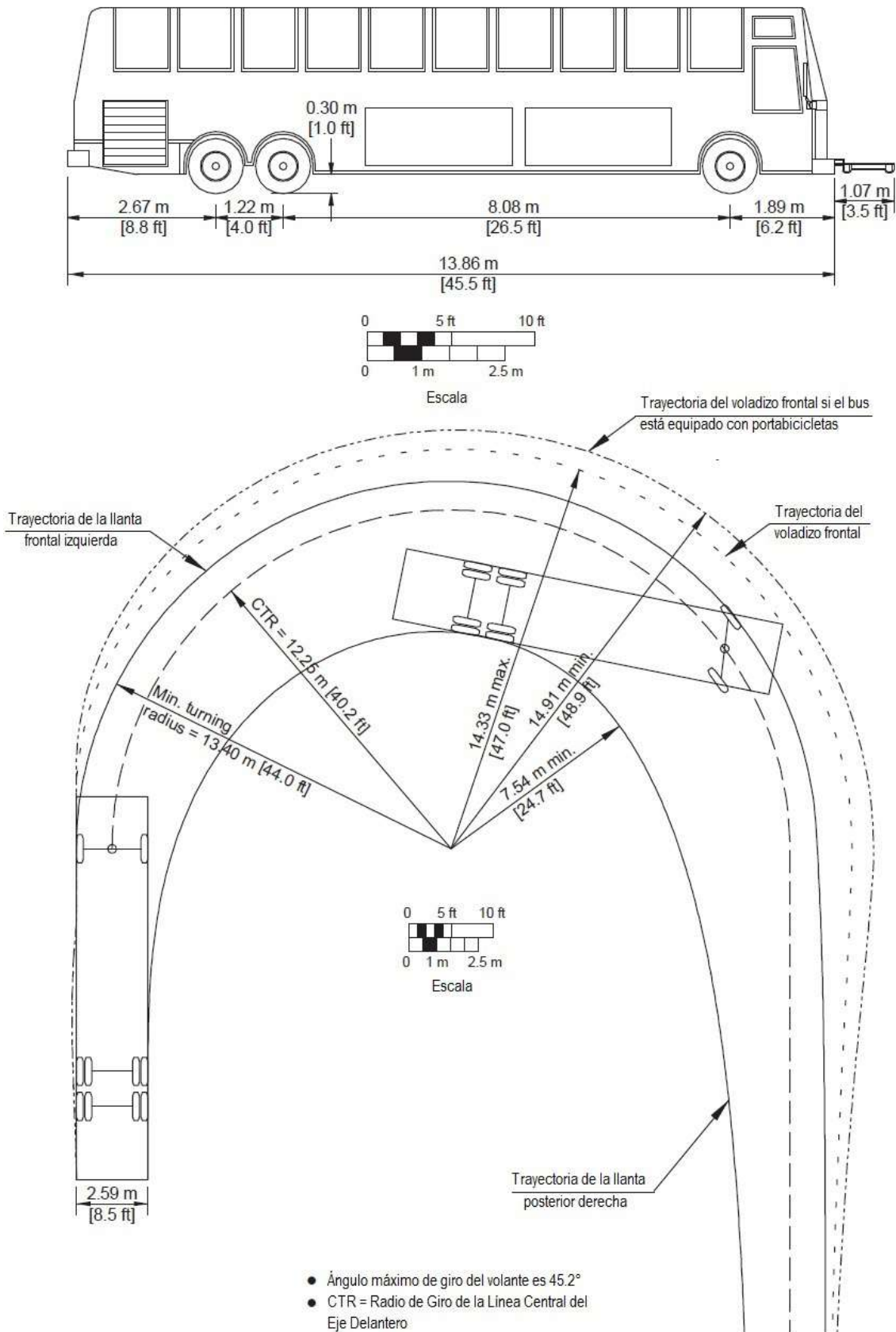
Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 6th Edition, 2011

Figura 3.1_114
TRAYECTORIA MÍNIMA DE GIRO PARA EL VEHÍCULO DE DISEÑO (BUS-12
(BUS-40)) (BUSINTERURBANO)



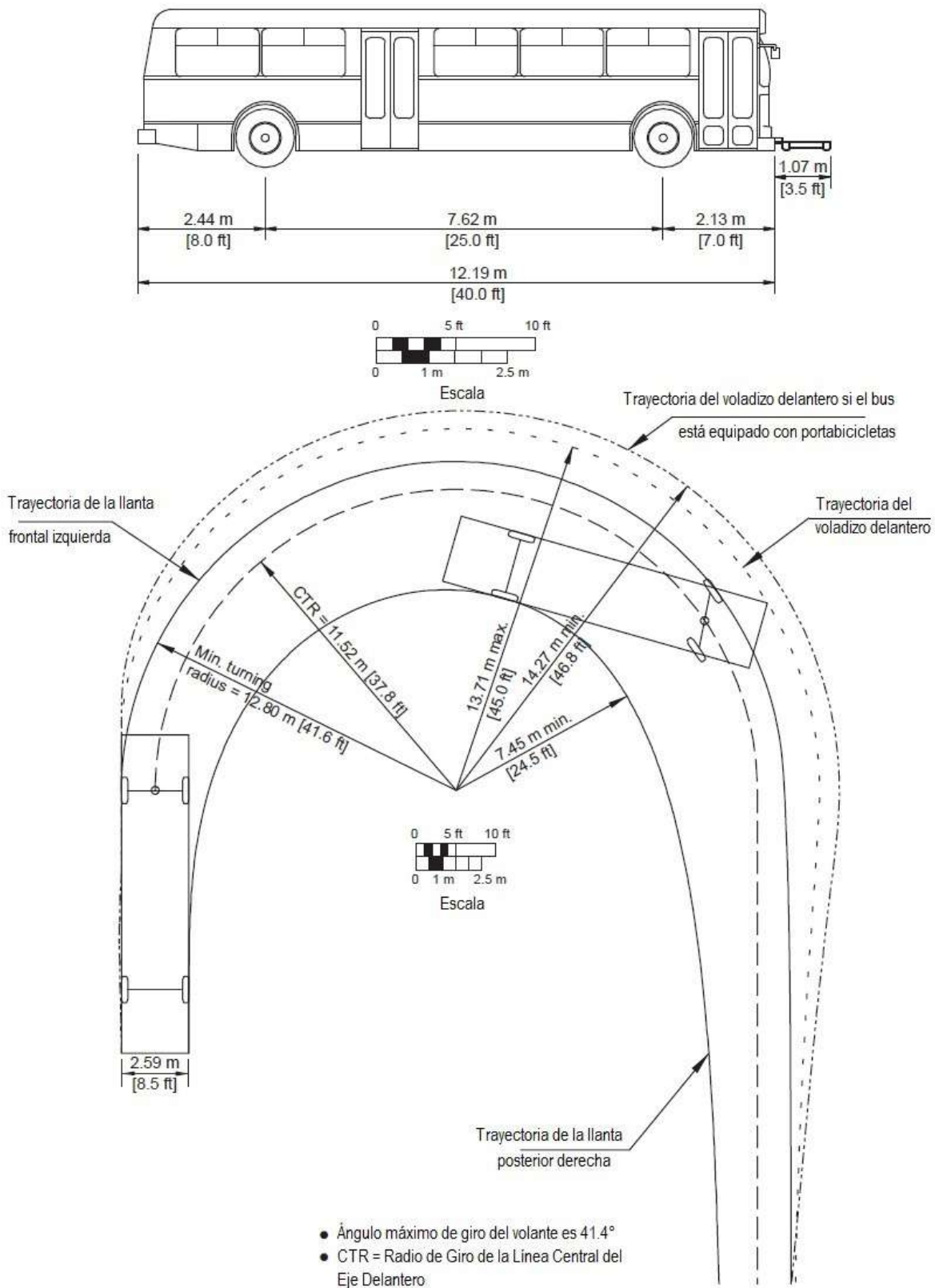
Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 6th Edition, AASHTO 2011

Figura 3.1_115
TRAYECTORIA MÍNIMA DE GIRO PARA EL VEHÍCULO DE DISEÑO (BUS-14
(BUS-45)) (BUS INTERURBANO)



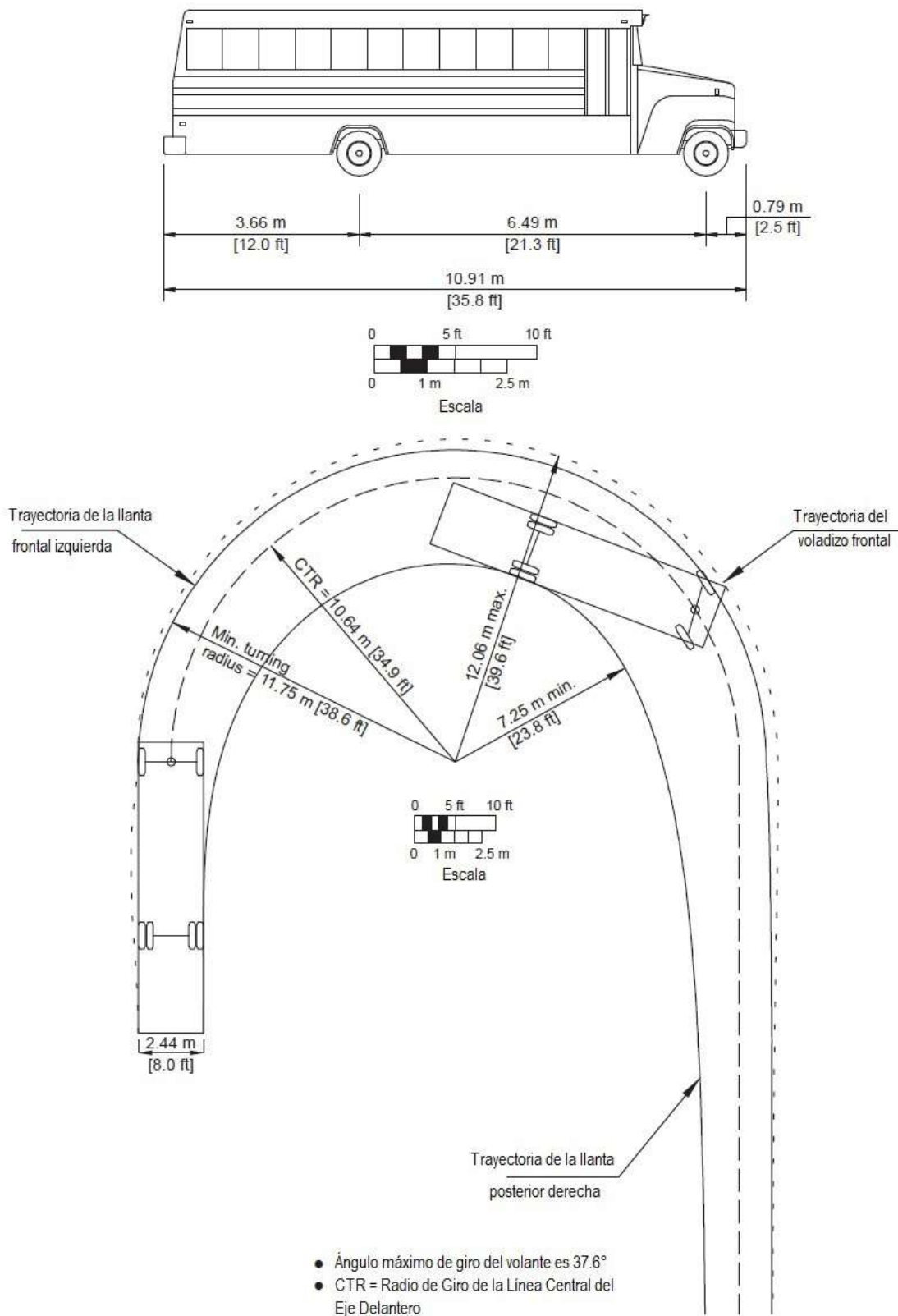
Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 6th Edition, AASHTO 2011

Figura 3.1_116
TRAYECTORIA MÍNIMA DE GIRO PARA EL VEHÍCULO DE DISEÑO (CITY-BUS)
(BUS URBANO)



Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 6th Edition, AASHTO 2011

Figura 3.1_117
TRAYECTORIA MÍNIMA DE GIRO PARA EL VEHÍCULO DE DISEÑO (S-BUS-11
(S-BUS-36)) (BUS ESCOLAR CONVENCIONAL)



Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 6th Edition, AASHTO 2011

Figura 3.1_118
TRAYECTORIA MÍNIMA DE GIRO PARA EL VEHÍCULO DE DISEÑO (S-BUS-12
(S-BUS-40)) (BUS ESCOLAR GRANDE)

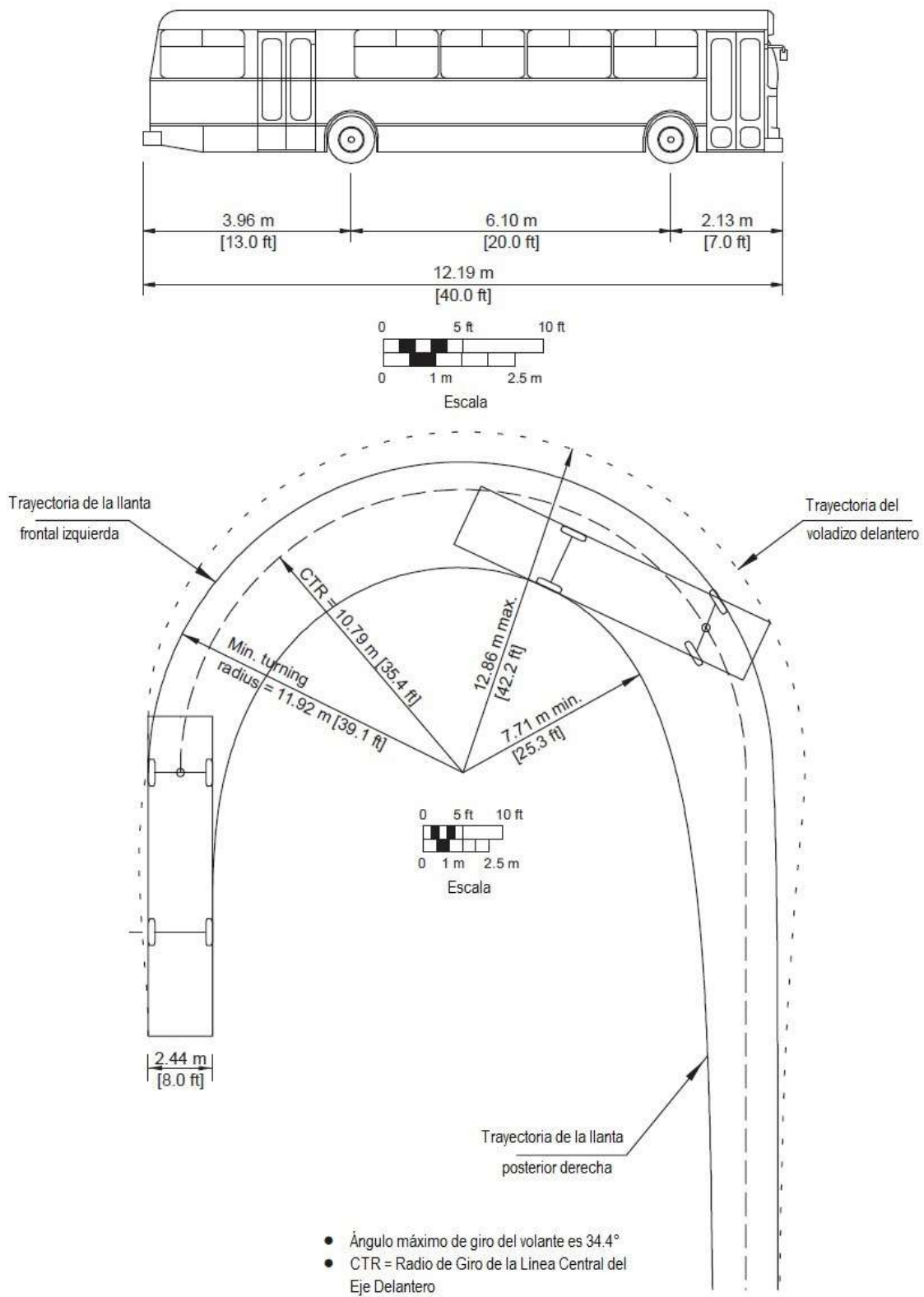
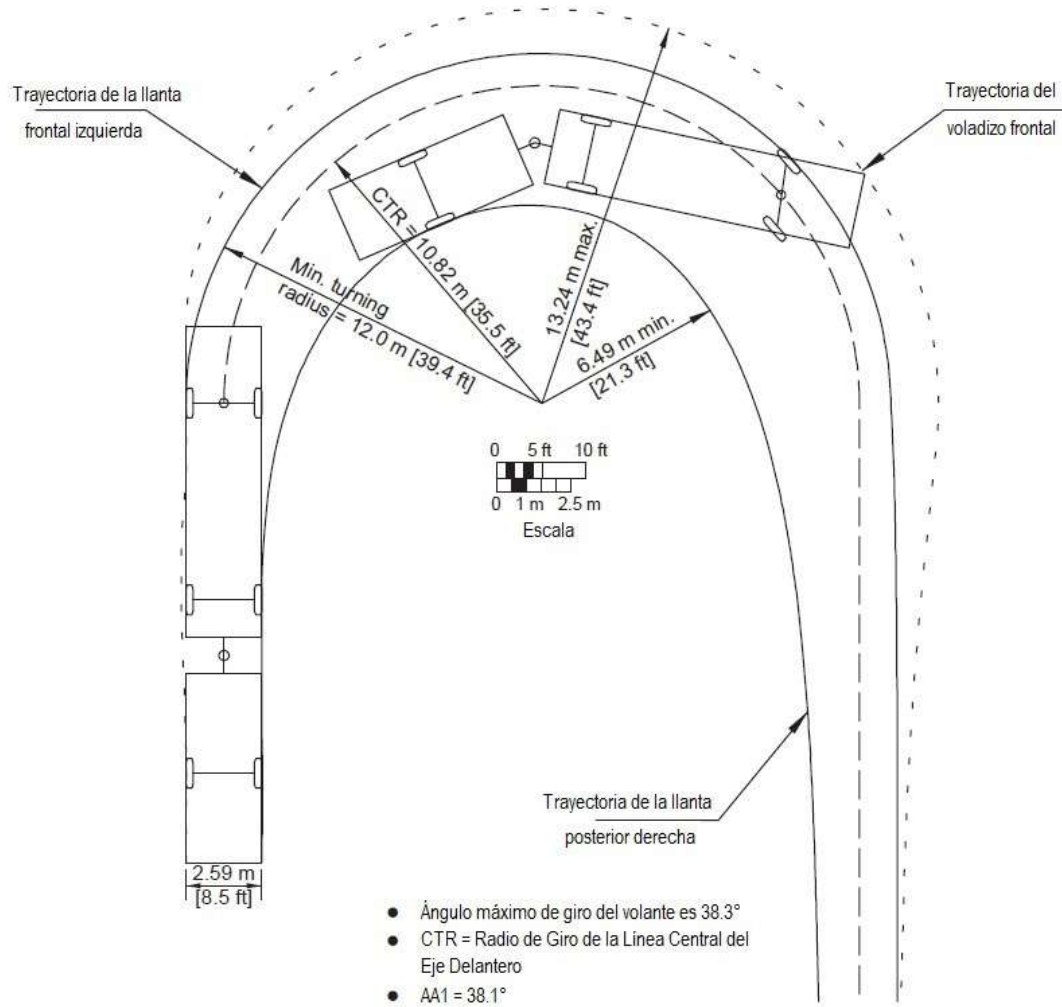
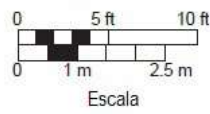
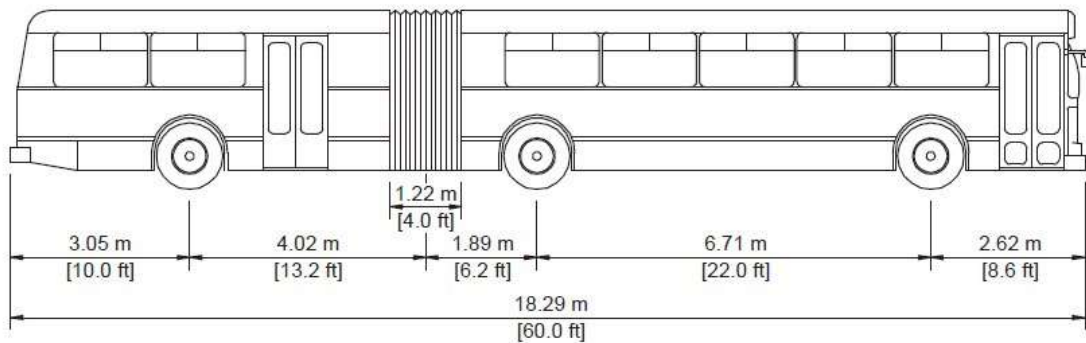
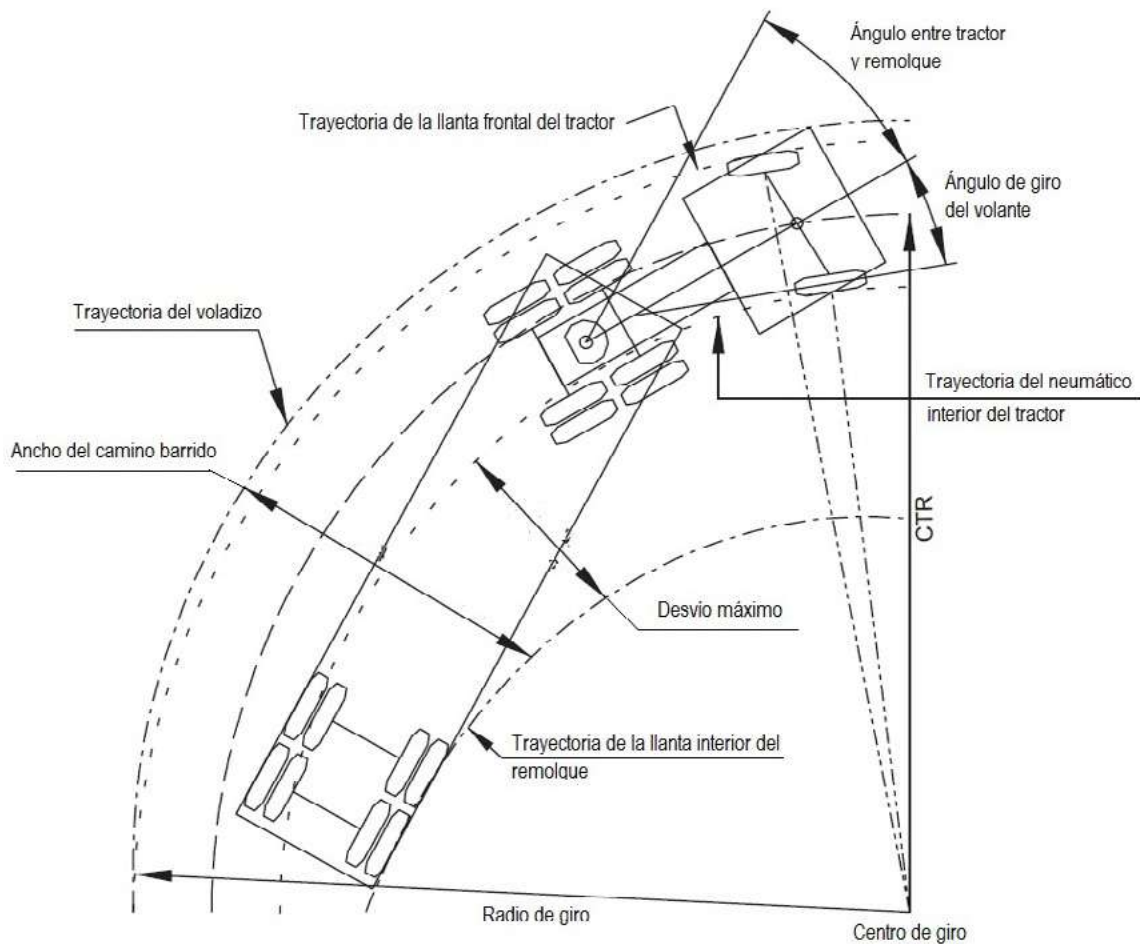


Figura 3.1_119
TRAYECTORIA MÍNIMA DE GIRO PARA EL VEHÍCULO DE DISEÑO (A-BUS)
(BUS ARTICULADO)



Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 6th Edition, AASHTO 2011

Figura 3.1_120
CARACTERÍSTICAS DE GIRO PARA UN CAMIÓN TÍPICO COMBINADO CON SEMIREMOLQUE

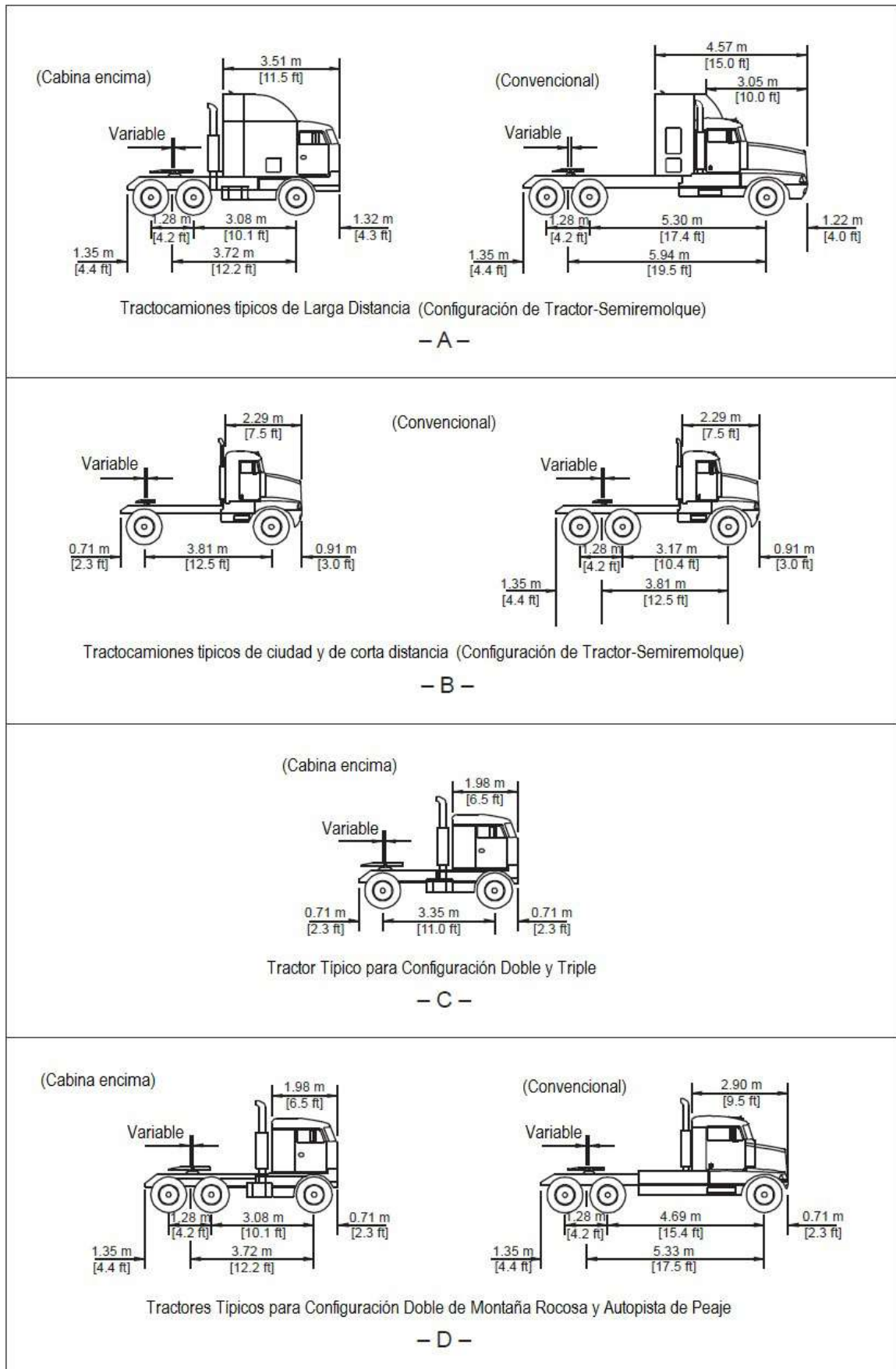


Fuente: A Policy on Design of Highways and Streets, 6th Edition, AASHTO 2011

Método de Cálculo para determinar el radio de giro de la línea central (CTR) de Camiones con Semiremolque:

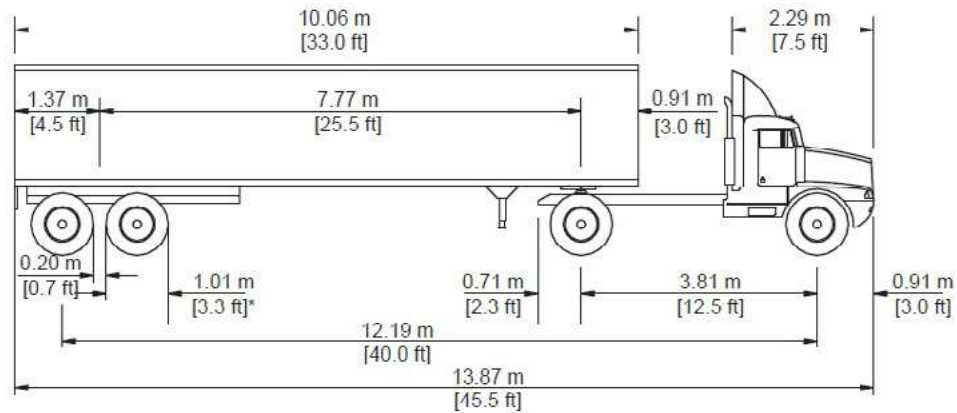
$$CTR = \frac{\text{Ancho efectivo entre neumáticos}}{\sin(\text{Máximo Ángulo de Giro del Volante})}$$

Figura 3.1_121 LONGITUDES DE TRACTOCAMIONES COMÚNMENTE UTILIZADOS

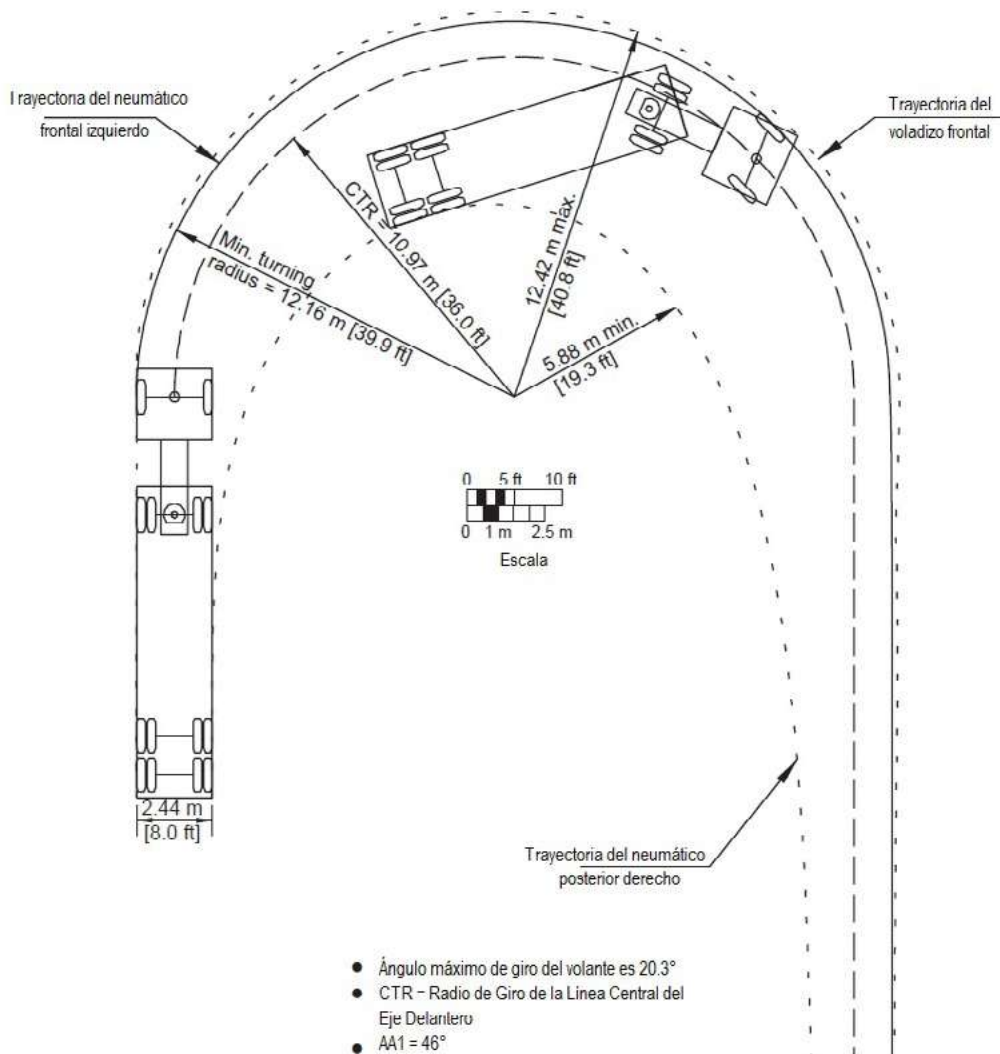
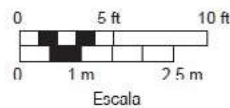


Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 6th Edition, AASHTO 2011

Figura 3.1_122
TRAYECTORIA MÍNIMA DE GIRO PARA EL VEHÍCULO DE DISEÑO (WB-12 (WB-40)) (CAMIÓN SEMIREMOLQUE INTERMEDIO)



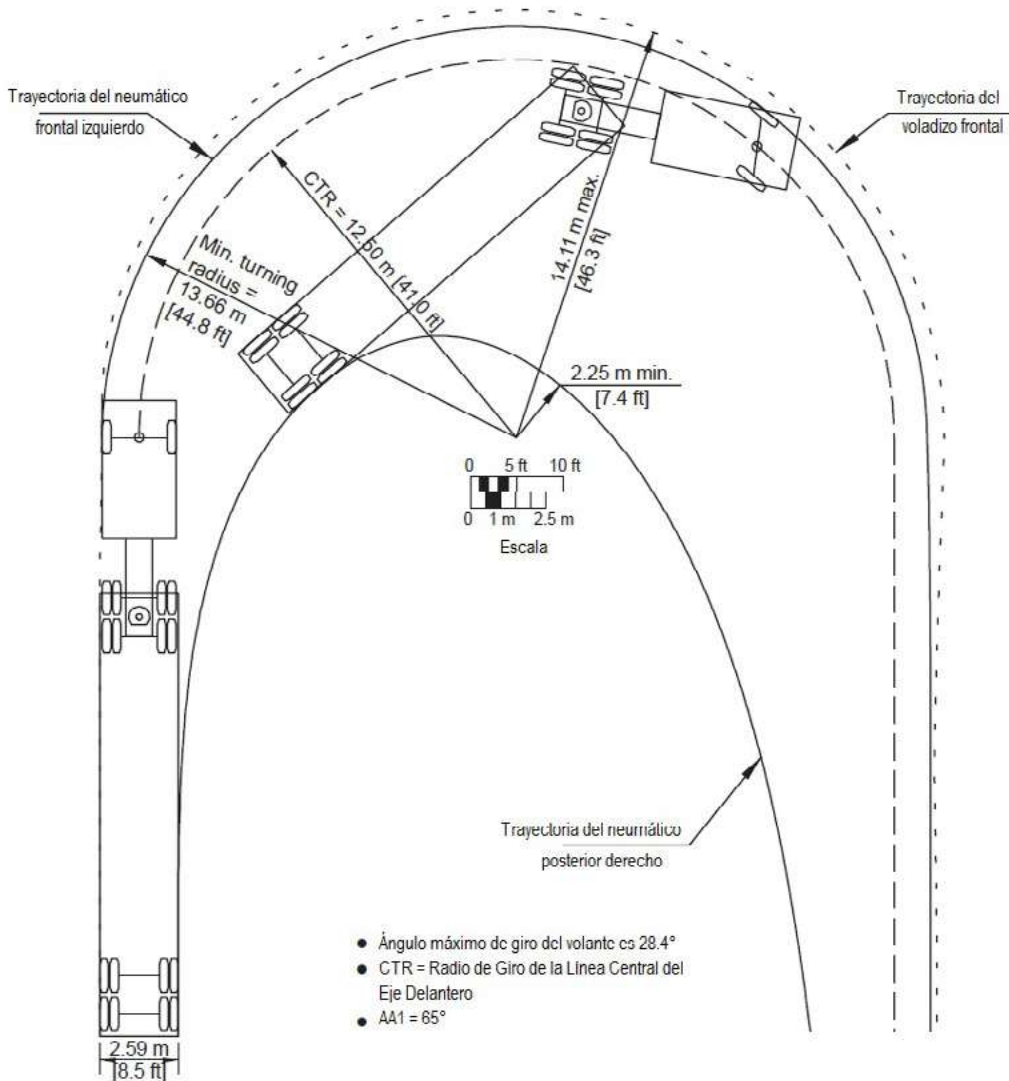
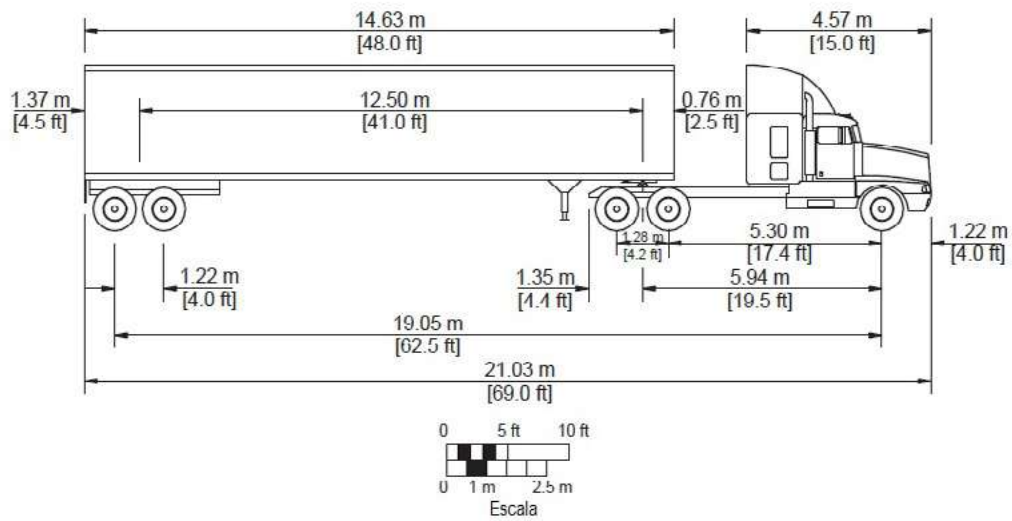
* Los tamaños típicos de neumáticos y espacio entre neumáticos aplican a todos los remolques



- Ángulo máximo de giro del volante es 20.3°
- CTR - Radio de Giro de la Línea Central del Eje Delantero
- AA1 = 46°

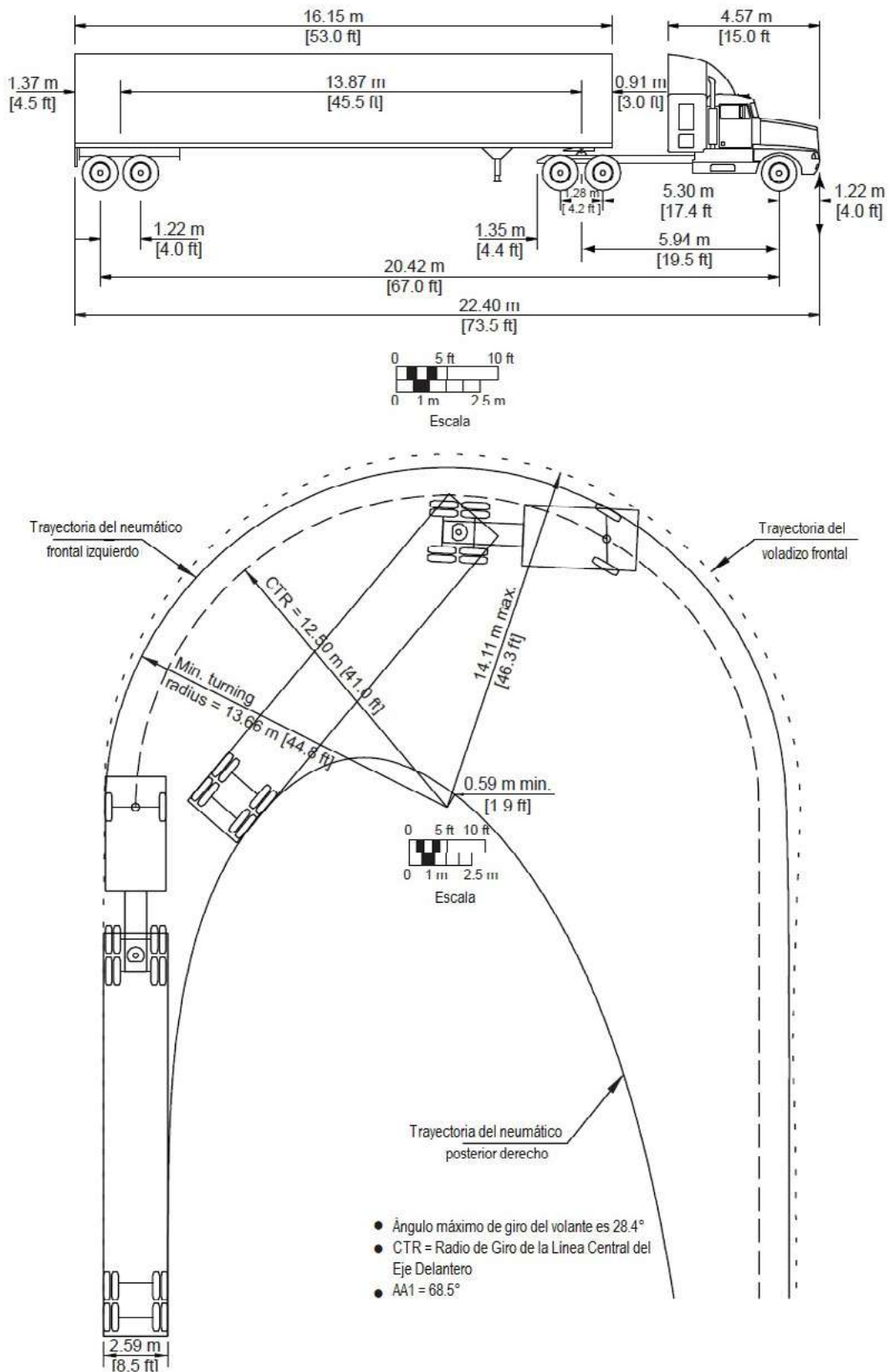
Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 6th Edition, AASHTO 2011

Figura 3.1_123
TRAYECTORIA MÍNIMA DE GIRO PARA EL VEHÍCULO DE DISEÑO (WB-19
(WB-62)) (CAMIÓN SEMIREMOLQUE INTERESTATAL)



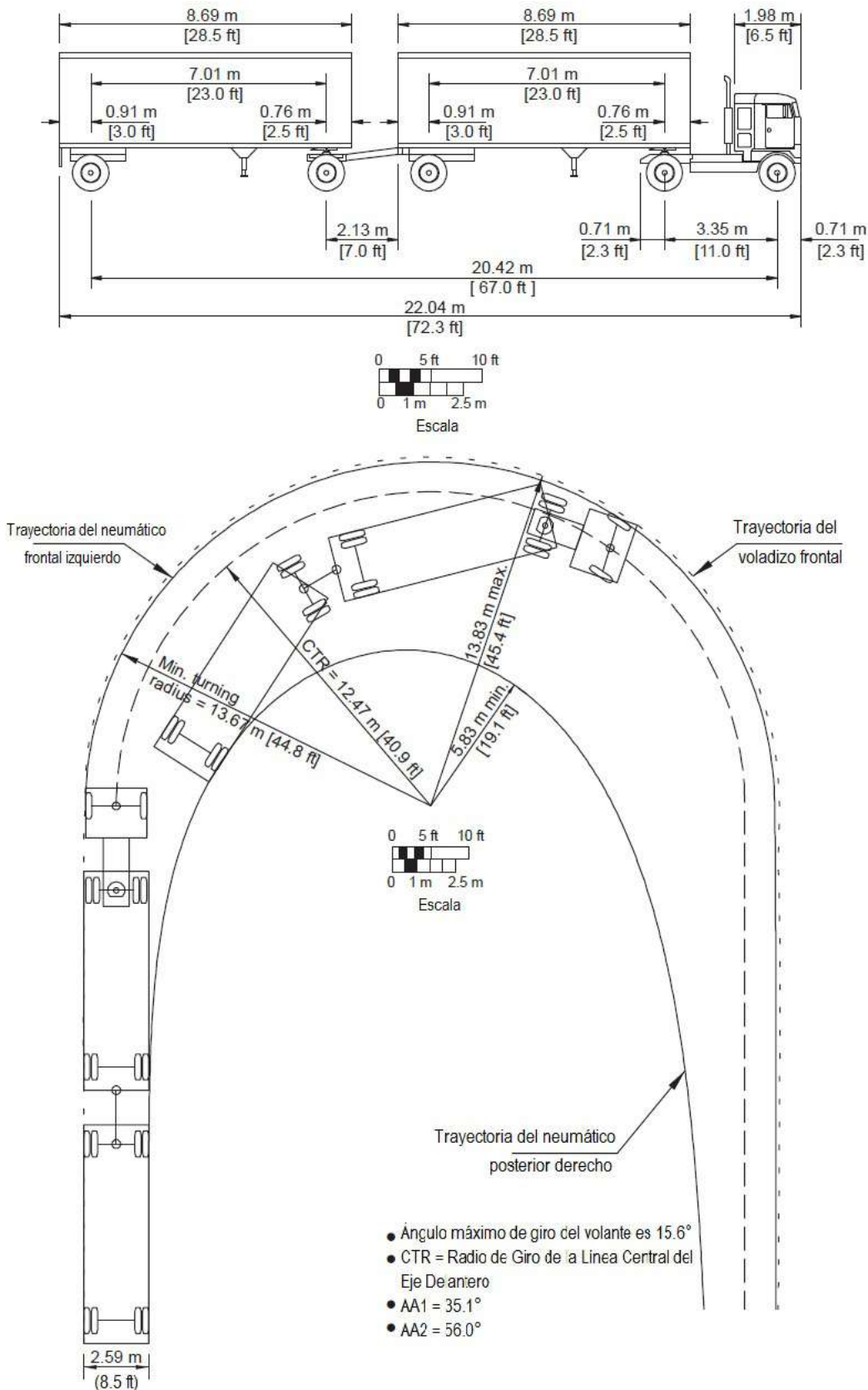
Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 6th Edition, AASHTO 2011

Figura 3.1_124
TRAYECTORIA MÍNIMA DE GIRO PARA EL VEHÍCULO DE DISEÑO (WB-20
(WB-67)) (CAMIÓN SEMIREMOLQUE INTERESTATAL)



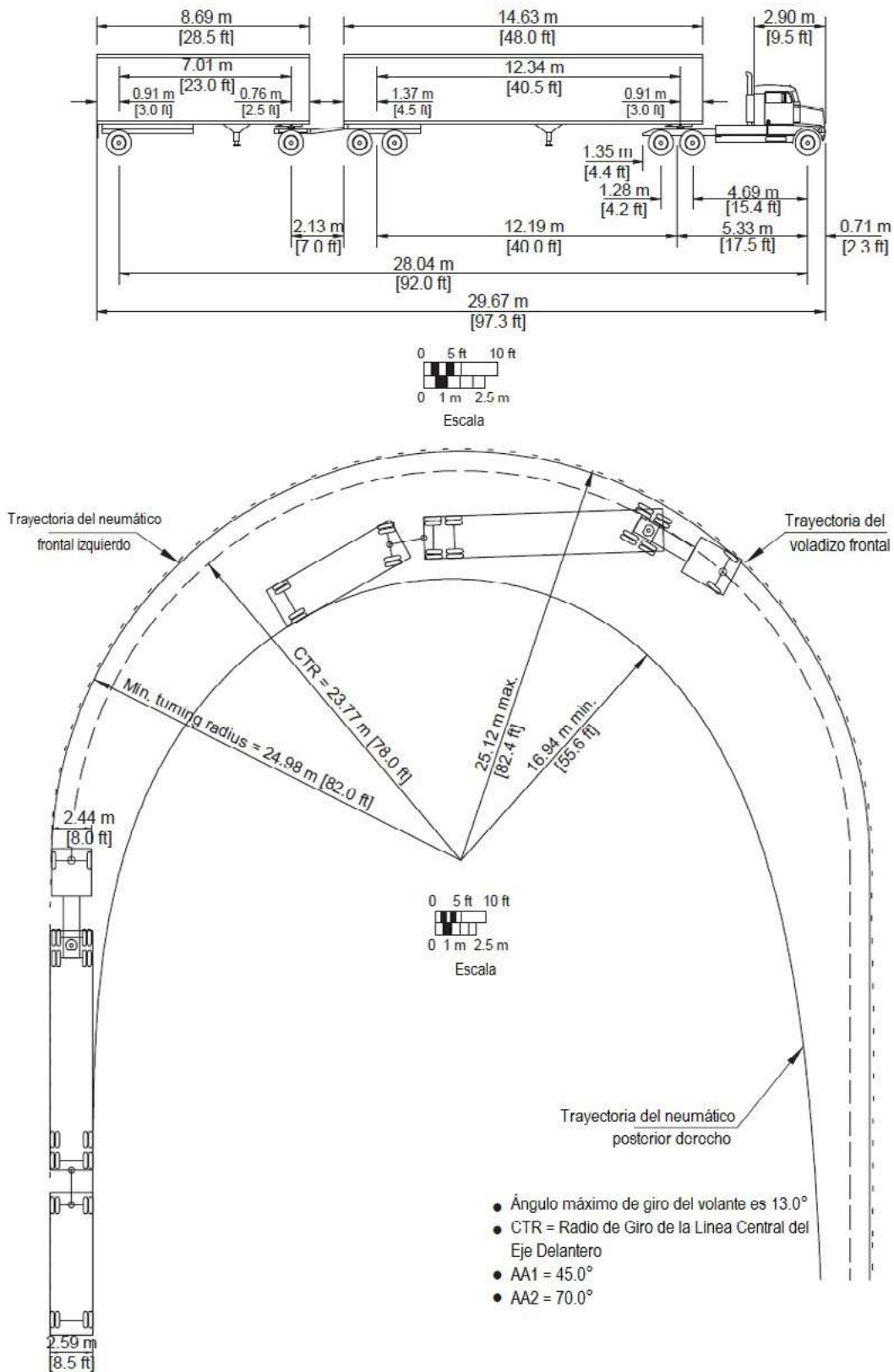
Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 6th Edition, MSHDT 2011

Figura 3.1_125
TRAYECTORIA MÍNIMA DE GIRO PARA EL VEHÍCULO DE DISEÑO (WB-20D
(WB-67D)) (COMBINACIÓN DOBLE REMOLQUE)



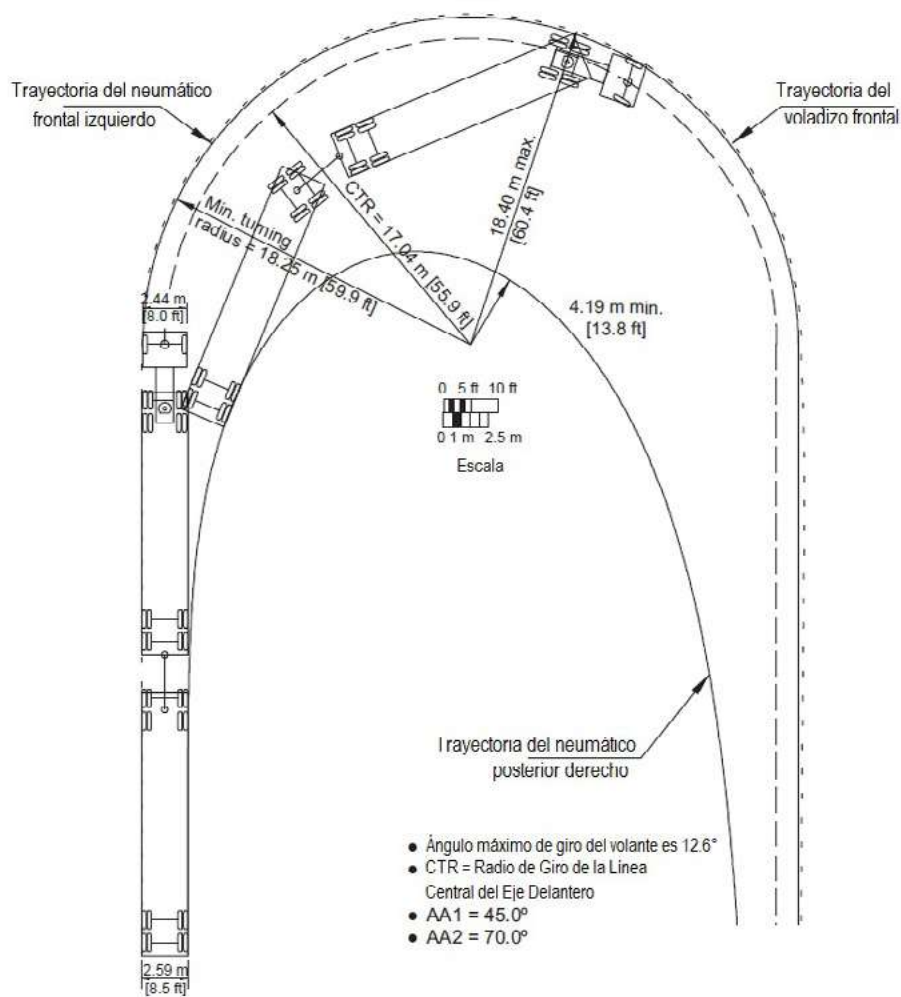
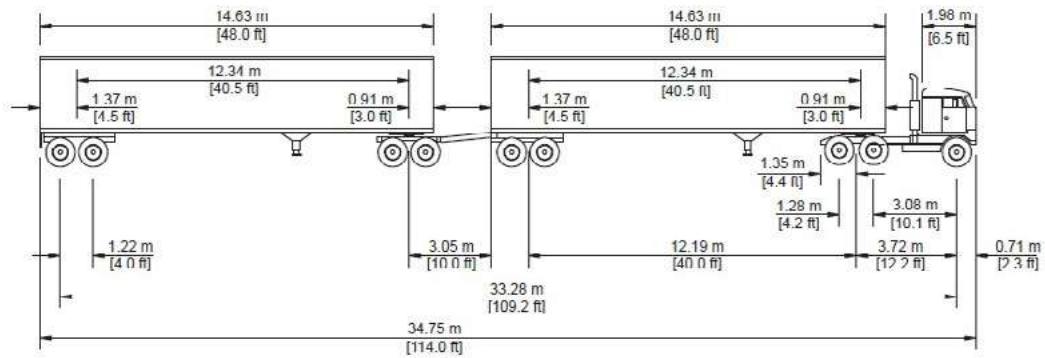
Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 6th Edition, AASHTO 2011

Figura 3.1_126
TRAYECTORIA MÍNIMA DE GIRO PARA EL VEHÍCULO DE DISEÑO (WB-28D
(WB-92D)) (COMBINACIÓN DOBLE REMOLQUE DE MONTAÑA ROCOSA)



Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 6th Edition, AASHTO 2011

Figura 3.1_127
TRAYECTORIA MÍNIMA DE GIRO PARA EL VEHÍCULO DE DISEÑO (WB-33D
(WB-109D)) (COMBINACIÓN DOBLE PARA AUTOPISTA DE PEAJE)



Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 6th Edition, AASHTO 2011



TETÁ REMBIAPO
HA MARANDU
Motenondeha

Ministerio
OBRAS PÚBLICAS
Y COMUNICACIONES

 GOBIERNO
NACIONAL

*Paraguay
de la gente*

Manual de Carreteras del Paraguay



UNIDAD

3

DISEÑO DE CARRETERAS

Volumen 3.2 - Diseño Estructural
de Carreteras


ASOCIACIÓN PARAGUAYA DE CARRETERAS


COMITÉ NACIONAL PARAGUAYO

Revisión 2019

UNIDAD 3 VOLUMEN 3.2
Diseño estructural de carreteras

INDICE

CAPITULO 3.2.1. DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA OBRA BASICA Y DE LA PLATAFORMA 425

SECCION 3.2.1.1. DEFINICIONES	426
3.2.1.1.1. INFRAESTRUCTURA	426
3.2.1.1.2. PAVIMENTOS	426
SECCION 3.2.1.2. ASPECTOS GENERALES	427
3.2.1.2.1. EFECTO DEL AGUA EN EL SUELO	427
SECCION 3.2.1.3. ESTABILIDAD DE CORTES	430
3.2.1.3.1. DESPRENDIMIENTOS	430
3.2.1.3.2. DESLIZAMIENTOS	430
3.2.1.3.3. FACTOR DE SEGURIDAD – MÉTODO GRÁFICO	431
3.2.1.3.4. FLUJOS	432
3.2.1.3.5. EROSIÓN DE CONTRATALUDES	432
SECCION 3.2.1.4. ESTABILIDAD DE TERRAPLENES	434
3.2.1.4.1. EROSIÓN Y DESLIZAMIENTOS LOCALES	434
SECCION 3.2.1.5. COMPACTACION DE SUELOS	447
3.2.1.5.1. FACTORES QUE DETERMINAN EL GRADO DE COMPACTACIÓN	447

CAPITULO 3.2.2. DISEÑO DE LA SUPER ESTRUCTURA O PAVIMENTO 454

SECCION 3.2.2.1. CONCEPTOS BASICOS DE DISEÑO	455
3.2.2.1.1. ALCANCES	455
3.2.2.1.2. MÉTODOS DE DISEÑO	456
SECCION 3.2.2.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO	467
3.2.2.2.1. OBJETIVOS Y ALCANCES	467
3.2.2.2.2. TRÁNSITO	467
SECCION 3.2.2.3. DISEÑO PAVIMENTOS FLEXIBLES	477
3.2.2.3.1. METODO AASHTO 93	477
3.2.2.3.2. TRATAMIENTO SUPERFICIAL TRIPLE.	490
3.2.2.3.3. DISEÑO DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES (MORIN – TODOR, BRASIL) ..	492
3.2.2.3.4. TRATAMIENTO ASFALTICO SUPERFICIAL DOBLE	497
3.2.2.3.5. CONCRETO ASFALTICO EN FRIO (PAVIMENTO FLEXIBLE)	497
3.2.2.3.6. PAVIMENTO ARTICULADO (ADOQUINES)	499
3.2.2.3.7. TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE (FLEXIBLE)	499
3.2.2.3.8. CONCRETO ASFALTICO EN FRIO	499
3.2.2.3.9. PAVIMENTO ARTICULADO (ADOQUINES)	500
SECCION 3.2.2.4. DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS	501
3.2.2.4.1. METODO AASHTO 93	501
SECCION 3.2.2.5. OTROS TIPOS DE PAVIMENTOS	524
3.2.2.5.1. EMPEDRADOS	524
3.2.2.5.2. ESTABILIZADOS GRANULOMETRICOS	524
3.2.2.5.3. ENRIPIADOS Y ENTOSCADOS	525

CAPITULO 3.2.3. DISEÑO PARA OBRAS DE RECAPADO, REPOSICIÓN O MEJORAMIENTO DE LA CARPETA..... 528

SECCION 3.2.3.1. CRITERIOS BÁSICOS..... 529
3.2.3.1.1. ALCANCES..... 529

SECCION 3.2.3.2. RECAPADO CON CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE SOBRE OTRO CONCRETO 538
3.2.3.2.1. ASFALTICO 538
3.2.3.2.2. RECAPADO CON CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE SOBRE PAVIMENTO RIGIDO (BLACK TOPPING) 543
3.2.3.2.3. RECAPADO CON CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE SOBRE ADOQUINES 545
3.2.3.2.4. PAVIMENTO RIGIDO SOBRE CONCRETO ASFALTICO (WHITE TOPPING) 546
3.2.3.2.4.00 547
3.2.3.2.5. PAVIMENTO RÍGIDO SOBRE OTRO PAVIMENTO RÍGIDO (ADHERIDO Y NO ADHERIDO)..... 547
3.2.3.2.6. REPOSICIÓN DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN CON HORMIGÓN ADHERIDO 550
3.2.3.2.7. PAVIMENTO ASFALTICO SOBRE EMPEDRADO 550
3.2.3.2.8. OTRAS COMBINACIONES QUE PUEDEN SER UTILIZADAS PARA MEJORAMIENTO Y REHABILITACIÓN DE CALZADAS:..... 551

BIBLIOGRAFÍA 552

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.2_1. Tipos de fallas por deslizamiento	431
Tabla 3.2_2. Actor de reduccion del f.S. Estatico con respecto al f.S. Con sismo	432
Tabla 3.2_3. Densidad máxima según tipo de suelo.....	448
Tabla 3.2_4. Grado de compacidad según su densidad relativa	449
Tabla 3.2_5. Recomendacion de equipo de compactacion segun tipo de suelo (clasificacion H.R.B.).....	452
Tabla 3.2_6. Distribucion porcentual del transito pesado en carreteras unidireccionales de dos y más pistas.....	469
Tabla 3.2_7. Desviación estandar normal para diferentes niveles de confianza	471
Tabla 3.2_8. Indices de serviciabilidad	478
Tabla 3.2_9. Vida de diseño.....	479
Tabla 3.2_10. Nivel de confianza y valor del s_0	480
Tabla 3.2_11. Calidad del drenaje de bases y sub bases	484
Tabla 3.2_12. Coeficientes de drenaje (mi)	485
Tabla 3.2_13. Coeficientes estructurales para las capas de pavimento.....	487
Tabla 3.2_14. Limitaciones a los espesores de las capas estructurales	488
Tabla 3.2_15. Calculo de la temperatura media anual ponderada del aire (tmapa) (ejemplo)	489
Tabla 3.2_16. Coeficientes estructurales.....	495
Tabla 3.2_17. Indices de serviciabilidad	502
Tabla 3.2_18. Vida de diseño.....	502
Tabla 3.2_19. Confiabilidad (z_r) y variabilidad (s_o).....	503
Tabla 3.2_20. Valores de a y b para suelos finos	504
Tabla 3.2_21. Rangos de valores de k para suelos granulares.....	505
Tabla 3.2_22. Resistencia a la flexotraccion (promedio a los 28 días)	509
Tabla 3.2_23. Tabla de elasticidad y coeficiente de fricción de las bases.....	509
Tabla 3.2_24. Factor de ajuste por tipo de banquina	510
Tabla 3.2_25. Coeficiente de drenaje aashto modificado.....	516
Tabla 3.2_26. Algunos procedimientos de reposicion.....	529
Tabla 3.2_27. Factores de equivalencia a utilizar	533
Tabla 3.2_28. Valores del coeficiente c.....	536
Tabla 3.2_29. Valores del coeficiente b	536
Tabla 3.2_30. Coficientes estructurales recomendados para pavimentos existentes ..	540
Tabla 3.2_31. Factores de conversion para transformar el espesor del pavimento existente a espesor efectivo	544

INDICE DE FIGURAS

Grafico 3.2_1. Modelo estructural tricapa	459
---	-----

CAPITULO 3.2.1.

DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA OBRA BÁSICA Y DE LA PLATAFORMA

SECCION 3.2.1.1.

DEFINICIONES

3.2.1.1.1. INFRAESTRUCTURA

El diseño de las infraestructuras enfrentan habitualmente problemas y condiciones de las más variadas índole, de manera que resulta imposible que un Manual pueda cubrirlas en su totalidad. Consecuentemente, se ha procurado abordar las situaciones que más comúnmente se presentan y que suelen ser solucionadas por técnicas conocidas y de probada eficiencia; el diseño bajo condiciones no habituales o muy especiales, debe ser abordado por estudios específicos dirigidos por profesionales especializados.

Existen en el país zonas que se caracterizan por presentar condiciones o materiales de propiedades muy peculiares y que suelen ser habituales para los proyectos localizados en esas áreas pero que no tiene un alcance nacional. Tal es el caso, por ejemplo, de los suelos finos (talcales y dunas) que se presentan en las áreas chaqueñas del norte del país, los suelos con muy alto índice de plasticidad del bajo chaco y algunas zonas de la región oriental. En este Manual no se abordan esas situaciones, lo que no impide que para todos ellos existan o deberían desarrollarse técnicas que permitan diseños para utilizarlos de manera intensiva y económica.

3.2.1.1.2. PAVIMENTOS

Los métodos de diseño de pavimentos que se recomienda utilizar en este Manual son: el método AASHTO, versión de 1993, para el diseño de pavimentos flexibles, el mismo método AASHTO pero en su versión de 1998 para pavimentos rígidos y un procedimiento establecido en un estudio realizado por el Instituto de Investigación de carreteras de Brasil con el apoyo de la Agencia Internacional para el Desarrollo de un Consultor privado, ambos de los EE.UU., para las tratamiento superficiales.

Lo anterior no significa que no puedan utilizarse, previa autorización de la Dirección de Vialidad, otros procedimientos de reconocida eficiencia. El uso de métodos alternativos no es sólo posible si no que es recomendable para situaciones especiales, así como para diseñar tratamientos superficiales en que se esperan tránsitos más o menos elevados y para corroborar o comparar resultados, en el caso de pavimentos rígidos y carpetas flexibles.

El método AASHTO es el resultado de una prueba en una serie de circuitos constituidos en el estado de Illinois, EE.UU. Por consiguiente, ha sido necesario complementarlo con modelaciones matemáticas adecuadamente calibradas, de manera de extrapolar los resultados obtenidos a zonas con características geográficas, climáticas y geotécnicas diferentes a las del lugar donde se realizó la prueba. Las ecuaciones de diseño incluyen varios modelos matemáticos así como ensayos especiales que tienen por objetivo dar a los resultados un grado adecuado de seguridad.

El procedimiento que se propone para diseñar tratamientos superficiales es el resultado de una investigación que combino pruebas en caminos con mediciones de las propiedades de las estructuras que estaban siendo investigadas, de manera que es típico ejemplo de un método empírico - mecanicista.

Los métodos de diseños señalados presentan, sin embargo una característica que debe tenerse siempre presente; los resultados que se obtienen depende en gran medida del diseñador; su experiencia y el grado de conocimiento que tenga de los alcances y limitaciones de los métodos, son fundamentales para lograr buenos resultados. Para ellos deberá conocer cabalmente los conceptos implícitos en cada procedimiento, el comportamiento de algunos de los factores que intervienen en el proceso y entender los alcances y limitaciones de algunos modelos matemáticos que se utilizan para caracterizar mejor cada situación.

SECCION 3.2.1.2.

ASPECTOS GENERALES

La construcción de una obra vial supone la ejecución de movimientos de tierra con una sucesión de cortes y terraplenes para conformar la infraestructura del camino. Debido a que este tipo de obras son extensas, y que habitualmente la prospección de suelos es superficial y discreta, es que durante su avance se encuentran condiciones morfológicas y de suelos diferentes, los que puntualmente pueden ser muy conflictivos y en oportunidades sólo vienen a detectarse durante la ejecución de movimientos de tierras; razón por la cual el proyectista debe tener presente una serie de recomendaciones generales con el propósito de asegurar un comportamiento razonablemente estable del conjunto de obras. Lo anterior determina que siempre existe la posibilidad de que durante la construcción deban adoptarse medidas complementarias o diseños especiales que no fueron previstos en la etapa de estudio.

Un diseño inadecuado de la infraestructura tiene normalmente asociado una pérdida de geometría de la superficie de rodado e incluso producir un colapso debido a movimientos de masas de suelo o roca.

Existen situaciones especiales como por ejemplo, la existencia de estratos compresibles de gran espesor bajo terraplenes, en que no resulta económicamente factible asegurar la indeformabilidad de la superficie y sólo cabe modificar el emplazamiento del trazado o, si ello no es posible cuantificar el problema y programar su reparación permanente, dado que este tipo de fenómenos es de largo plazo

Como factores importantes que intervienen en la estabilidad de la infraestructura deben considerarse principalmente aspectos tales como el Efecto del Agua en los suelos, la Estabilidad de Cortes, la Estabilidad de Terraplenes y la Compactación de suelos.

Si bien lo que se quiere lograr es la estabilidad de cortes y terraplenes, es necesario tener presente que el agua y la compactación de suelos son factores que interactúan de modo determinante en la estabilidad de aquellos.

3.2.1.2.1. EFECTO DEL AGUA EN EL SUELO

A. TIPOS DE AGUA ACTUANDO EN EL SUELO

Para diferenciar la forma como se encuentra presente el agua en el suelo, se usará la siguiente clasificación:

- Agua adsorbida
- Agua capilar
- Agua gravitacional

Esta división del agua es en cierto sentido arbitraria, ya que si cambian las condiciones de temperatura, presión y humedad, necesariamente se crea un intercambio de agua en las fases indicadas que permite mantener el equilibrio del sistema.

A.1. AGUA ADSORBIDA (NO ABSORBIDA)

El agua está concebida como una película que envuelve las partículas de suelo sobre la cual actúan las fuerzas moleculares de adhesión.

A.2. AGUA CAPILAR

El agua capilar se encuentra “suspendida” en el suelo y no tiene posibilidad de escurrir libremente por efecto de la gravedad. Se sitúa entre el nivel del agua libre o gravitacional y la zona de aireación o zona no Saturada.

A.3. AGUA GRAVITACIONAL

El agua gravitacional o agua libre corresponde a aquella parte cuyo movimiento no está gobernado por las fuerzas de atracción cerca de la superficie de las partículas minerales. Su movimiento está determinado fundamentalmente, por la acción de la gravedad.

La presencia del agua tiene gran influencia en las propiedades físicas de los suelos, especialmente en los de textura más fina, en los cuales el espesor de la película de agua adsorbida es del orden de magnitud del tamaño de las partículas minerales. Los efectos del agua pueden manifestarse en:

A.3.1. CAMBIOS DE VOLUMEN

El mecanismo del sistema suelo-agua, desde el punto de vista del cambio de volumen, es al que se le ha prestado mayor atención. La película de agua es la causante directa de las expansiones y contracciones que puede experimentar una masa de suelo y que están en relación directa a su volumen. Mientras más fina es la textura del suelo, mayor es el efecto en el cambio de volumen.

Los movimientos de expansión y contracción del suelo al variar la humedad tiene particular importancia en las estructuras del pavimento. Para minimizar los cambios volumétricos superficiales que puedan afectar al pavimento es necesario colocar bases y/o subbases, así como especificar las capas superiores de la subrasante con materiales con baja susceptibilidad a la expansión y contracción. En general, el espesor de la capa superior de la subrasante no debería ser menor que 0,30 m.

A.3.2. CAMBIO DE COHESIÓN

Un suelo fino en estado natural (sin remoldear) puede tener cohesión debido a la existencia de una estructura continua de sus partículas y que se mantiene aun cuando el suelo alcance un contenido de humedad equivalente a su límite líquido. Por el contrario, en un suelo remolde con ese contenido de humedad su cohesión es prácticamente nula ($c = 0,025 \text{ kg/cm}^2$).

Existe una serie de relaciones empíricas que permiten medir la capacidad de un suelo para absorber humedad sin cambiar su estado de consistencia. Estos indicadores son básicamente mediciones indirectas de la característica básica de superficie específica. Los más usados son el **límite plástico** y el **límite líquido**, desarrollados por Albert Atterberg y conocidos como límites de Atterberg. Estos índices se determinan en suelos remoldeados o suelos que han perdido su estructura por amasado.

A.3.3. LIMITE PLÁSTICO

Es el contenido de humedad sobre el cual las partículas de suelo están bien lubricadas y pueden ser moldeadas en una masa plástica. Una menor cantidad de agua lleva al suelo a un estado semi-sólido, quebradizo, en el cual se evidencian características granulares. Por otra parte, una mayor cantidad de agua hace al suelo más plástico como resultado de una disminución de su cohesión. El límite plástico es el menor contenido de agua para el cual el suelo mantiene características plásticas.

A.3.4. LIMITE LIQUIDO

Representa el menor contenido de agua necesario para reducir la masa de suelo a una condición de semi-fluido, con una cohesión insignificante. En este sentido, dicho contenido de humedad puede considerarse como un **límite de saturación**.

La capacidad de un suelo de absorber agua sin perder su cohesión o pasar al estado semi-fluido queda expresada por la diferencia de los límites líquidos y plásticos, y recibe el nombre de **Índice de Plasticidad IP**.

En ciertos suelos granulares, particularmente en las arenas de textura fina y uniforme, la presencia de una cantidad relativamente pequeña de agua (del orden de un 3 a un 5%), crea fuerzas de adhesión entre las partículas dándole una cohesión aparente. Esto permite mantener excavaciones con paramento vertical, propiedad que corresponde a un suelo cohesivo y que se mantiene mientras la masa suelo se encuentre húmedo.

Una vez que se produce secamiento existe la posibilidad de que se derrumben las paredes de la excavación.

A.3.5. CAMBIO EN LA ESTABILIDAD MECÁNICA

Los suelos que tienen características granulares poseen la importante propiedad de desarrollar estabilidad interna debido al soporte mutuo de sus partículas caracterizada por su fricción interna. Esta propiedad puede verse alterada por la película de agua adsorbida, cuyo efecto depende de la relación entre el espesor de ésta y el tamaño y forma de las partículas de suelo. Mientras en los suelos de textura gruesa prácticamente no tiene influencia, en los de textura fina puede ser un factor determinante.

La experiencia indica que en los suelos formados por partículas cuyo tamaño cae dentro del rango de los limos, la película de agua adsorbida dificulta el contacto entre los granos disminuyendo su estabilidad mecánica.

Desde el punto de vista constructivo los limos son indeseables, especialmente en obras viales. La facilidad con que pierden su estabilidad mecánica en presencia de agua así como su falta de cohesión, determina que tenga un bajo poder de soporte y sean muy erosionables.

En caso de su utilización como material de terraplenes deben tomarse precauciones especiales tales como protección a la erosión y colocar una capa superior de la sub rasante de mejor calidad.

SECCION 3.2.1.3.

ESTABILIDAD DE CORTES

Para definir los problemas asociados a la estabilidad de cortes se utiliza la antigua clasificación del Highway Research Board (HRB). El comité para investigaciones de deslizamientos de tierra en cortes, estableció los siguientes grupos principales:

Desprendimientos

- Deslizamientos
- Flujos (seco y húmedo)
- Erosión en Taludes

3.2.1.3.1. DESPRENDIMIENTOS

Tanto en los desprendimientos de rocas como de suelo, la masa se mueve rápidamente a través del aire en caída libre. No existe un movimiento lento que preceda al desprendimiento. Se presenta principalmente en las rocas afectadas por desintegración y descomposición, fallando en planos o superficies más débiles.

Actualmente, la Mecánica de Rocas no se encuentra suficientemente desarrollada en lo que respecta a teorías cuantitativas, como para ser usadas en aplicaciones prácticas en diseño de taludes. Esta deficiencia es suplida por la experiencia.

Para el proyecto de taludes en corte, deben considerarse fundamentalmente las características de la roca en cuanto a su origen, tipo de fracturación, exfoliación, condiciones climáticas, etc. Todos estos factores deben conjugarse con los costos de construcción, mantenimiento y seguridad requeridos. La experiencia ha indicado la conveniencia de ejecutar la construcción de taludes según algunos de los procedimientos que se enumeran a continuación.

- a) Talud de inclinación uniforme
- b) Talud de inclinación variable
- c) Talud con banquina permanente
- d) Talud con banquina temporal

Por razones de facilidad constructivas es preferible utilizar los tipos a y c. Por otra parte, debido a la dificultad de prever la existencia de planos o superficies débiles, se hace necesario colocar mallas u otro tipo de protección cuando se ha expuesto la superficie del corte y detectado las zonas potencialmente débiles.

En el coronamiento del corte, en que normalmente el suelo es menos estable, se recomienda diseñar cortes con talud más extendido.

3.2.1.3.2. DESLIZAMIENTOS

En los deslizamientos, el movimiento de masa es el resultado de una falla por corte a lo largo de una o varias superficies. Se presenta en materiales con comportamiento elástico o semiplástico.

De acuerdo al mecanismo del movimiento, pueden diferenciarse dos subgrupos en los deslizamientos; aquellos en que la masa móvil no sufre grandes deformaciones y aquel en que se deforma en varias unidades menores. Esta última llamada falla translacional.

Por otra parte, dependiendo de la amplitud de la falla se clasifica en falla de frente amplitud y por falla concoidal. En el **Gráfico 1_1 (Falla de talud de corte de suelo) (Ver Anexo B)** se ilustra los tipos de fallas descritos.

Se han desarrollado varias teorías que permiten analizar cuantitativamente la estabilidad de taludes a la falla por deslizamiento. La mayor parte supone que la superficie de la falla es un cilindro de sección circular. En realidad, la superficie de falla es una sección compuesta cuya forma depende principalmente del tipo de suelo. Sin embargo, el análisis matemático se facilita suponiendo la superficie de falla descrita y el posible error de modelo no es importante. Probablemente al estimar mediante ensayos puntuales determinadas propiedades resistentes del suelo (c , ϕ) se introduce un error mucho mayor, ya que difícilmente puede precisarse a los valores medios en los potenciales planos de fallas.

Para el análisis o modelación, se distinguen tres tipos de círculos de falla: de **talud**, de **pie** y **profundo**.

Fundamentalmente el problema consiste en encontrar el círculo en el cual el coeficiente de seguridad es menor, lo cual es muy difícil si se considera que el medio no es homogéneo, variando las propiedades mecánicas del suelo en cada zona. El tipo de círculo depende básicamente del ángulo de inclinación del talud, β , y de la fricción interna del suelo (ángulo ϕ).

En general, se puede indicar que para altos valores de β y/o de ϕ , el círculo de falla es de pie. Para bajos valores de ϕ y suelos predominantemente cohesivos se puede producir una falla por círculo profundo. A modo de indicación muy general se indican los siguientes tipos de fallas para condición estática según los valores de la inclinación del talud y del ángulo de fricción interna.

Tabla 3.2_1. TIPOS DE FALLAS POR DESLIZAMIENTO

Inclinación del Talud (β)	Fricción Interna (ϕ)	Tipo de Falla
Mayor que 45°	-	Círculo de pie o talud
30 a 45°	Menor que 5° Mayor que 5° Menor que 10°	Círculo profundo Círculo de pie Círculo profundo
15 a 30°	Mayor que 10°	Círculo de pie

3.2.1.3.3. FACTOR DE SEGURIDAD – MÉTODO GRÁFICO

Los trabajos de Fellenius y Taylor están resumidos en el ábaco del **Gráfico 2_1 (Método GRÁFICO para el cálculo de factor de seguridad al deslizamiento) (Ver Anexo B)** mediante el cual se puede calcular fácilmente el factor de seguridad estático a la falla por deslizamiento en suelos homogéneos. En ordenadas se encuentra el ángulo de fricción interna del suelo ϕ , expresado en grados o en su tangente correspondiente y en el rango de 0 a 45°. En abscisas se ha colocado la expresión a dimensional:

$$n \text{ la que } \frac{c}{\gamma \cdot H}$$

γ : Densidad natural del suelo en T/m³

c : cohesión en T/m²

H : altura del corte en m

El ábaco contiene una familia de curvas que corresponden a diferentes inclinaciones β del talud del corte, variando de 10° en 10° para el rango de $\beta = 10^\circ$ a $\beta = 90^\circ$. Para valores intermedios resulta fácil interpolar linealmente.

Para determinar el factor de seguridad al deslizamiento, se coloca en el ábaco el punto A, que corresponde al problema en cuestión y que tiene las coordenadas $\left(\frac{c}{\gamma H}, \text{tg}\phi\right)$. Este punto se une con el origen O, obteniendo la recta OA.

Esta recta o su prolongación corta a la curva β correspondiente a la indicación del talud en el punto B. El factor de seguridad al deslizamiento quedará expresado por la relación entre la magnitud OA y la magnitud OB, obtenidos del gráfico. Esto es

$$F.S. = \frac{OA}{OB}$$

Para el caso de considerar el efecto sísmico el factor de seguridad se reduce con respecto al caso estático de acuerdo a los factores (aproximados) que se indica en la **Tabla 3.2_2**.

Tabla 3.2_2. ACTOR DE REDUCCION DEL F.S. ESTATICO CON RESPECTO AL F.S. CON SISMO

Tipo de Suelo	Factor de Reducción según Aceleración Horizontal		
	= 0	= 0,10 g	= 0,15 g
Suelo con Cohesión	1,00	0,82	0,75
Suelo sin Cohesión	1,00	0,78	0,70

En suelos estratificados, con banqueta y presencia de agua existen métodos implementados computacionalmente.

3.2.1.3.4. FLUJOS

En el movimiento del suelo designado como flujo, la masa de éste tiene la apariencia de un líquido viscoso. El flujo puede ser de dos tipos:

A. SECOS:

El flujo seco no se reconoce después que ha ocurrido pareo, resulta prácticamente imposible de predecir en forma anticipada. Es muy común en arenas uniformes y limos de textura uniforme. Se presenta también en roca fragmentada (cono de rodado). Este fenómeno es característico de zonas cordilleranas. El flujo seco se activa normalmente por movimientos de vibraciones, impactos o debilitamientos de alguna sección del talud por erosión. Es usual observarlos durante el desecamiento de taludes en arenas que se mantenían estables debido a la cohesión aparente proporcionada por la humedad. En general, es superficialmente una capa cohesiva relativamente delgada para estabilizar este tipo de taludes u hormigón proyectado.

B. HÚMEDOS:

El flujo húmedo ocurre normalmente en suelos del tipo arenas finas y limos. Se genera por un exceso de agua que hace perder al suelo estabilidad interna. Normalmente se inicia debido a lluvias de gran intensidad y/o duración y a derrames concentrados de agua y se hace presente en los sectores donde ha sido removida la capa vegetal del suelo. La protección del camino para estos casos se logra estabilizando el talud con suelo vegetal, producto asfáltico o materiales de cemento. Además, deben sellarse las posibles grietas del terreno y evitar el agua de derrames sobre el talud mediante la construcción de contrafosos. La colocación de un muro al pie del talud evita que la corriente del agua lo erosione y active el flujo. Tanto los contrafosos como las cunetas deben ser diseñados con pendientes tales que no se excedan las velocidades límites que producen la erosión.

3.2.1.3.5. EROSIÓN DE CONTRATALUDES

Este tipo de problemas está normalmente asociado a suelos finos, predominantemente limosos y arenosos, en los cuales el agua juega un papel muy importante. El dar mayor inclinación al talud no representa

una solución práctica. Esta debe buscarse a través de proteger el contratalud y diseñar cunetas revestidas u otro elemento de protección del pie del contratalud (**Gráfico 3_1 para determinar el espesor mínimo de material filtro de protector de talud**) (Ver Anexo B).

Cuando los contrataludes son erosionados, normalmente se activan los flujos y deslizamientos locales, los cuales preferentemente se inician al pie del contratalud debido a la obstrucción de las cunetas. Por esto se recomienda construir un muro bajo (0.60 a 1.00 m de altura) al pie del talud conformando con este elemento la cuneta.

5.1. PROTECCIÓN DE TALUDES EN CORTE

En cortes de suelos de consistencia media a alta y en cortes de rocas fracturadas los principales problemas de inestabilidad están asociados a erosiones y desprendimientos del frente expuesto. La protección del camino en estos casos se logra estabilizando el contratalud con suelo vegetal, mallas, hormigón proyectado, muros de hormigón, etc.

La construcción de un muro bajo de pie de contratalud evita que la corriente del agua lo erosione cuando se obstruye las cunetas.

En los **Gráficos 4_1 a 8_1 (Protección en suelo compacto de contratalud con malla de alambre, Refuerzo de contratalud con malla de alambre roca fracturada, Protección de contratalud con malla de alambre y hormigón proyectado, Protección contratalud sembrado sostenido en barro vegetal y malla, Contrataludes en cortes altos con escalonamiento suelos y rocas) (Ver Anexo B)** se indican soluciones para proteger y estabilizar los contrataludes de cortes, los cuales han sido utilizados con resultados satisfactorios.

En el caso de contrataludes altos diseñados con bancos, éstos deben ser tratados con imprimación u otro tipo de recubrimiento, con cunetas de hormigón y adecuadas bajadas de agua. Si no se cumplen estos requisitos, la construcción con bancos en zonas lluviosas es más perjudicial que beneficiosa.

SECCION 3.2.1.4. | ESTABILIDAD DE TERRAPLENES

Los problemas más recurrentes con relación a la estabilidad de terraplenes corresponden a:

- Erosión y Deslizamientos locales
- Corrimientos en medias laderas
- Densificación de los Rellenos
- Asentamiento por Consolidaciones
- Flujo Plástico y/o Falla por Corte
- Asentamiento Dinámico y Licuación

No se indica en la lista anterior un posible deslizamiento por falla al corte del terraplén debido a que las normas de construcción de terraplenes impiden que esto ocurra, tanto por la inclinación que se da a los taludes, como por el grado de compacidad que se exige al suelo de rellano. En todo caso, si algún riesgo de esta naturaleza existiera, puede verificarse según los métodos indicados para la estabilidad de taludes de corte.

3.2.1.4.1. EROSIÓN Y DESLIZAMIENTOS LOCALES

Este tipo de fenómeno se manifiesta produciendo fallas locales por corte. Esto resulta en desplazamiento y grietas de tracción en el coronamiento del terraplén según se muestra en la **figura A del Gráfico 9_1**.

Su causa principal es la acción del agua superficial, que se infiltra en el material de relleno, produciendo los siguientes efectos:

- Disminución de la resistencia del suelo por efecto del agua
- Aumento de peso de la masa del suelo
- Generación de la superficie resistente al corte por socavación
- Debilitamiento de la superficie resistente al corte por socavación

Este tipo de problemas está normalmente asociado a suelos finos, predominantemente limosos, en los cuales el agua juega un papel muy importante. El dar mayor inclinación al talud no representa una solución práctica y ésta debe buscarse a través de proteger el talud y banquetas con materiales relativamente impermeables y cohesivos (suelos vegetales).

Una precaución muy importante consiste en hacer una adecuada canalización de las aguas superficiales con la construcción de cunetas revestidas, soleras y bajadas de agua debidamente impermeabilizadas.

A. CORRIMIENTOS EN MEDIAS LADERAS

La construcción de terraplenes sobre planos inclinados trae normalmente acompañado problemas de corrimientos de masa de suelo. La razón es que durante la construcción del terraplén se produce un debilitamiento en el plano de contacto entre el suelo natural y el terraplén, agravado por la acción del agua (bloqueo del drenaje natural del cerro). Este fenómeno es particularmente claro en secciones mixtas (corte-terraplén), donde la sección de corte, permanece estable. En la **figura B del Gráfico 9_1 (Ejemplo de falla de terraplenes) (Ver Anexo B)** se ilustra este fenómeno.

El peso W de la masa de terraplén tiene una componente tangencial T que trata de deslizar la masa de relleno en el sentido del plano inclinado, y una fuerza normal N que contribuye a la resistencia al corte (fricción). La cohesión y la fricción del suelo generan una fuerza que se opone a la fuerza activa T .

El factor de seguridad (grado de estabilidad) está dado por:

$$E.S = \frac{Ntg\Phi + cL}{T}$$

En la que:

- Φ = ángulo de fricción interna del suelo
- c = cohesión
- L = longitud de contacto terraplén-suelo

Durante la construcción, el suelo es pre moldeado en el plano de apoyo del terraplén, con lo cual se produce una disminución en su resistencia al corte en presencia de agua.

Para laderas con pendientes mayores que 20%, así como para ensanches de terraplenes existentes, se deberá ejecutar un escalonamiento previo de la base en que se apoyará el terraplén, según se ilustra en las figuras del **Gráfico 10_1 (Terraplenes en laderas) (Ver Anexo B)**.

Una alternativa para la construcción y ensanche de terraplenes en laderas inclinadas o cuando existen limitaciones del ancho basal, corresponde a la construcción de muros de geotextiles y de tipo jaula (gaviones), como se ilustra en los **Gráficos 11_1 (Ejemplo muro con geotextil) y 12_1 (Ejemplo disposición general Muro Gavión) (Ver Anexo B)**.

A.1.1. MUROS DE GEOTEXTIL

El muro de Geotextil es relativamente flexible en relación a los muros convencionales ya que para desarrollar la resistencia a la tracción. La tela requiere de cierta deformación. En general esta solución resulta más económica por unidad de superficie expuesta que otras soluciones tradicionales.

Los muros construidos con geotextiles permiten ser apoyados sobre suelo ligeramente deformados a diferencia de los muros estructurales. Por otra parte, los primeros tienen excelente drenaje sin necesidad de proyectar obras especiales.

A.1. MÉTODO DE DISEÑO

En el diseño de muros de geotextil se deben analizar dos aspectos, a saber:

- * Estabilidad general del sistema, figura a) **Gráfico 13_1 Muro geotextil (Ver Anexo B)**
- * Estabilidad interna del sistema, figura b) **Gráfico 13_1 Muro geotextil (Ver Anexo B)**

La estabilidad general del sistema debe verificarse en la forma usual para un muro de retención, contemplando los siguientes tres aspectos:

- a. Estabilidad al volcamiento
- b. Estabilidad al deslizamiento
- c. Estabilidad a la capacidad de soporte del suelo

La estabilidad interna debe analizarse considerando la presión longitudinal (σ_t), a diferentes profundidades, considerando las sumas de las presiones del suelo (σ_1), de la sobrecarga (σ_2), y de las cargas vivas (σ_3), que deben ser controladas por la resistencia a la tracción de la tela geotextil.

La estabilidad interna se analiza de acuerdo a los siguientes pasos:

a. Cálculo de la presión horizontal a diferentes profundidades.

b. Cálculo del espesor de capas de relleno “S” a diferentes profundidades a través de la ecuación.

En la que:
$$S = \frac{T_a}{\sigma \cdot FS}$$

S : Espesor de las capas de relleno.

Ta : Resistencia a la tracción, por unidad de longitud.

$$T_a = a \frac{T_{\text{últ}}}{RF}$$

T.últ : Resistencia ultima a la tracción (GRAB STRENGHT).

RF : Factor de reducción; 3 estructura temporal 6 estructura permanente.

σ : Presión horizontal total, en el nivel considerado.

F.S. : Factor de seguridad (1,3 a 1,5).

c. Cálculo de la longitud de la tela “L”.

$$L = L_E + L_R$$

$$L_R = (H - Z) \operatorname{tg} (45 - \phi / 2)$$

$L_B = \frac{S \cdot \sigma \cdot FS}{2(c + Z \operatorname{tg} \delta \gamma)}$	(F.S. de 1,3 a 1,5)
--	----------------------------

γ : Peso unitario del suelo relleno.

δ : 2/3 φ

L_o : ½ L_E; L_E Y L_o mín 0,90 m.

B. DENSIFICACIÓN DE LOS RELLENOS

Durante el proceso de compactación de rellenos para terraplenes se produce una importante reducción de huecos en la masa del suelo. Este acomodo de las partículas sólidas continúa largo tiempo, aún después que el proceso mecánico de compactación se termina, traduciéndose en una deformación superficial de la rasante del camino que se traduce en asentamientos diferenciales y agrietamientos. La magnitud de esta deformación depende básicamente de dos factores: grado de compacidad inicial y altura del terraplén.

Incluso rellenos compactados al 95% de la D.M.C.S pueden generar deformaciones superficiales del orden de 0,1 a 0,3% respecto a la altura del terraplén. Sin embargo, si el grado de compacidad inicial es bajo puede esperarse asientos de más de 2%.

Experiencias en rellenos han demostrado que el asentamiento ocurre rápidamente al inicio de la construcción y la razón de deformación decrece con el tiempo. Por ejemplo, en un relleno de 15 m de altura

el 75% del asentamiento que ocurrió durante 7 años se produjo en los dos primeros años (soil mechanics for road engineers – road research laboratory).

Este fenómeno se evidencia con frecuencia en trazados que pasan de corte a terraplenes manifestándose en forma de agrietamiento en el pavimento, en las proximidades de la interface.

Otro caso usual es la formación de un escalonamiento en los accesos a estructuras rígidas, aun cuando los rellenos sean con materiales granulares muy compactos.

En particular habrá que mencionar la construcción de terraplenes con restos de rocas, provenientes de cortes o excavaciones, en los cuales debido al proceso de acomodo e interperización de la roca, el fenómeno de deformación superficial puede ser muy prolongado e intenso.

En general, resulta muy difícil controlar las deformaciones superficiales debido a la densificación interna de los rellenos y es conveniente reducir al máximo las de tipo diferencial. Si estas se manifiestan en forma gradual (no deferencial), la deformación propia del terraplén no induce problemas en el rodado.

En todo caso, si se prevén asentamientos diferenciales hay que tenerlos presente y programar su mantención durante algunos años, considerándolos como un problema normal.

C. ASENTAMIENTO POR CONSOLIDACIONES

La colocación de un terraplén sobre la superficie del terreno genera un aumento de las presiones efectivas en las capas subyacentes del suelo. Si éste es de carácter comprensible, la sobrepresión impuesta ocasiona una disminución de volumen con expulsión de agua de los poros. El cuantificar la magnitud del asentamiento superficial debido a este efecto supone, por una parte, calcular correctamente la sobrepresión que genera por el peso del terraplén a diferentes profundidades y, por otra parte, tener conocimientos de las características del estrato comprensible (espesor, coeficiente de compresión, condiciones de drenaje, permeabilidad, etc.).

C.1. CONSOLIDACIÓN UNIDIMENSIONAL

Cuando la masa del suelo comprensible totalmente saturada es sometida al efecto de una carga permanente, se inicia una disminución de volumen debido a la expulsión del agua contenida en los vacíos y a un posterior reacomodo de las partículas que forman la estructura del suelo. A este fenómeno se le llama Consolidación.

Se pueden distinguir dos formas de consolidación en el suelo:

- a. **Consolidación primaria:** producida únicamente por la disminución de volumen como efecto de la expulsión del agua.
- b. **Consolidación secundaria:** es el cambio de volumen que sufre un suelo debido al reacomodo adicional de su estructura interna, después de que la mayor parte de la carga ha sido transferida del agua al esqueleto mineral del suelo.

Hipótesis fundamentales:

- 1º.- El suelo es un material homogéneo, isótropo y continuo.
- 2º.- El material está totalmente saturado.
- 3º.- Tanto el agua contenida, como las partículas sólidas, son incompresibles.
- 4º.- El flujo es de régimen Gráfico r, por lo que cumple con la Ley de Darcy.
- 5º.- La disminución del volumen del suelo sujeto a consolidación se debe exclusivamente a la expulsión del agua.
- 6º.- El coeficiente de permeabilidad k del suelo, permanece constante durante todo el proceso.

A partir de estas Hipótesis, K. Terzaghi elaboró su teoría de la consolidación. La magnitud del asentamiento puede ser estimada a través de la siguiente relación.

$$\Delta H = H \cdot \frac{C_c}{1+e_o} \log \frac{P_o + \Delta p}{P_p} \quad (\text{ec. 1}_1)$$

En la que:

- e_o : Índice de huecos del suelo, correspondiente a la presión natural p_o o a la presión de pre consolidación p_c . Para la estimación de la presión de pre consolidación normalmente se utiliza el criterio de Casagrande que corresponde al punto de intersección de la bisectriz del ángulo formado por la tangente en el punto de máxima curvatura en la relación índice de huecos-presión, con la horizontal y la prolongación de la rama virgen (**ver Gráfico 16.1 Ensayo Edométrico-ejemplo (Valdivia). (Ver Anexo B).**)
- Δp : Incremento de presión vertical debido al peso del terraplén determinado según lo indicado en la **ec. 2_1**
- C_c : Índice de compresión.
- H : Espesor del estrato compresible.
- P_o : Presión geoestática inicial
- P_p : Presión de preconsolidación. Si $p_p > p_i$. En caso contrario $p_p = p_o$

Los valores de e_o , p_p y C_c se determinan mediante el ensayo Edométrico.

C.2. AUMENTO DE LAS PRESIONES BAJO TERRAPLÉN

Un elemento de suelo a una determinada profundidad está sometido a una presión vertical que depende del suelo que queda por encima de dicho elemento. Si la presión vertical máxima a que ha sido sometido el elemento en cuestión correspondiente a la sobrecarga de suelo existente, se dice que el suelo es normalmente consolidado. En caso que anteriormente haya sido sometido a presiones mayores, se dice que el suelo es pre-consolidado.

Al cobrar un terraplén en la superficie del terreno, se genera presiones sobre el suelo natural que provocan asentamiento que es necesario cuantificar.

Normalmente, para calcular las sobrepresiones se utiliza la teoría de Boussinesq, que resulta bastante engorrosa para el caso de los terraplenes. Por esta razón se recomienda la siguiente expresión de Carothers, cuya explicación se da en la figura del **Gráfico 14_1 Aumento de presiones bajo terraplén (Ver Anexo B).**

$$\Delta p = \frac{\gamma h}{\pi} \left[\beta_1 + \frac{\beta_2 \cdot x}{h \cot \alpha} + \frac{z}{R^2} (l - x) \right] \quad (\text{ec. 2}_1)$$

- Δp : sobrepresión del suelo a profundidad "z" y distancia (l - x) del eje.
- l : semi ancho del terraplén en la base
- h : altura del terraplén
- $\alpha, \beta_1, \beta_2, R$ según figura

Se supondrán los efectos de ambos del terraplén.

C.3. CALCULO ASENTAMIENTO POR CONSOLIDACIÓN

A continuación se desarrolla un ejemplo de cálculo para la estimación del asentamiento por consolidación de un terraplén de 5.0 m de altura, debido a la presencia de tres estratos compresibles bajo el terreno natural.

En la figura del **Gráfico 15_1 Ejemplo cálculo de asentamiento terraplén (Ver Anexo B)**, se indica como se ha modelado el problema, incluyendo la geometría de la sección transversal, estratigráfica de suelos y las presiones verticales iniciales y el incremento de éstas debido al peso del terraplén.

En el **Gráfico 16_1 Ensayo Edométrico-ejemplo (Valdivia). (Ver Anexo B)** se entrega una representación gráfica de la relación índice de huecos (e) – presión (p) de acuerdo al ensayo Edométrico practicado a una muestra representativa de cada estrato compresible.

$$\Delta H = H \cdot \frac{C_c}{1+e_o} \log \frac{P_o + \Delta p}{P_p (*)}$$

Estimación del asentamiento

Estrato Nº	Espesor H (cm)	Índice de Huecos	Índice de comp. CC	Pp kg/cm ²	Pi + Δp kg/cm ²	Pi + Δp Log----- P'	Asentamiento ΔH (cm)
1	170	1.83	0.59	2.26	1.84	<0.0	-
2	190	1.85	0.70	2.18	5.57	0.0715	3.3
3	400	2.04	0.94	2.31	2.58	0.48	5.9
Total asentamiento							9.2 cm

(*) Si la presión de pre consolidación es mayor que p_i se usa:

P' = p_p en caso contrario p' = p_i

D. FLUJO PLÁSTICO Y/O FALLA POR CORTE

Este fenómeno es característico de suelos blandos o de baja consistencia y se presenta como una deformación continua, derivada de un esfuerzo de corte constante. Esta forma de falla ocurre por una concentración de esfuerzos en un punto del suelo de fundación de un terraplén que alcanza el valor del esfuerzo máximo de resistencia de corte del suelo. Se manifiesta como hundimiento del terraplén acompañado de sobre-elevamiento del terreno adyacente. Debe recordarse que, a diferencia de la consolidación, la deformación o cambio de forma del suelo se produce sin disminución de volumen.

Los materiales que son susceptibles de presentar este fenómeno son los suelos finos, de estructura apañada o flocúlenla, o los depósitos de materia orgánica de estructura fibrosa de consistencia baja, que se encuentran normalmente consolidados.

El cálculo de estabilidad para esta situación resulta más preciso el análisis de flujo plástico que el de falla por corte, especialmente cuando se trata de un estrato blando de espesor relativamente bajo.

En el análisis por flujo plástico es necesario considerar los siguientes aspectos:

- Propiedades del suelo blando – Resistencia al corte.
- Distribución de los esfuerzos cortantes.

D.1. PROPIEDADES DEL SUELO BLANDO

En los materiales de falla elasto plásticas, o sea los que se deforman indefinidamente bajo la acción de un esfuerzo cortante constante, se deberá considerar como rango elástico, aquél en el que las deformaciones no alcancen valores mayores del 20% de la altura total de una muestra sujeta a una prueba de

$$\frac{q_u}{2} = c$$

compresión simple, de la cual se puede deducir el valor del parámetro c:

En los materiales que acusan una curva esfuerzo-deformación típica de falla frágil, el rango elástico es aquél en el que las deformaciones no rebasan el punto de fluencia. En general, dichas deformaciones son del orden 3% de la altura de la muestra.

Debe hacerse notar que en este tipo de materiales es donde las fallas por flujo plástico son las más bruscas. Esto se debe a que una vez alcanzado el valor de fluencia por la acción de las cargas impuestas, la resistencia al esfuerzo cortante disminuye rápidamente debido a fenómenos de relajación de esfuerzos. Por lo anterior, el valor del parámetro c debe ser reducido por un coeficiente igual a 0,75.

$$\frac{3/4 q_u}{2} = 3/4 c' = c$$

D.2. DISTRIBUCIÓN DE LOS ESFUERZOS CORTANTES

La solución matemática para obtener la magnitud de los esfuerzos cortantes, en un punto p (x, z) en el seno del suelo bajo la carga impuesta por un terraplén, fue resuelta por Hogentogler y está dada por la siguiente expresión:

$$S_{xz} = \frac{zp}{\pi h \cot \alpha} \sqrt{\log_e^2 \frac{R_1 R_4}{R_2 R_3} + (\beta_1 - \beta_3)^2} \quad (\text{ec. 3}_1)$$

La interpretación de las literales puede en la figura del **Gráfico 17_1 Distribución de esfuerzos cortantes en un terreno de cimentación semi infinito. (Ver Anexo B)**. Siendo S_{xz} el esfuerzo inducido por el terraplén en el punto considerado.

Para los puntos situados bajo el centro del terraplén, la ecuación se simplifica puesto que:

$$\beta_1 = \beta_3$$

$$R_1 = R_4$$

$$R_2 = R_3$$

Con lo que la expresión se reduce a:

$$S_{xz} = \frac{zp}{\pi h \cot \alpha} \log_e \frac{R_1^2}{R_1^2} \quad (\text{ec. 4}_1)$$

En general puede decirse conservadoramente, que la altura máxima de un terraplén capaz de producir flujo plástico en el terreno de cimentación queda limitado por el siguiente valor:

$$h = \frac{c}{0,3 \cdot \gamma_m} \quad (\text{ec.5}_1)$$

Siendo γ_m la densidad del material saturado que se utiliza para construir el cuerpo del terraplén y “c” la resistencia al corte del terreno de cimentación.

D.3. FALLA POR APLASTAMIENTO EN ESTRATO BLANDO DE POCO ESPESOR

Para el análisis por aplastamiento entre dos placas rígidas como se ilustra en el **Gráfico 18_1 Fallas por Aplastamiento (Ver Anexo B)** la altura máxima del terraplén queda determinada por la expresión:

$$h = \frac{b}{2 \cot \alpha} \left(\sqrt{\frac{1}{1-r}} - 1 \right) \quad (\text{ec.6}_1)$$

En la que:

$$r = \frac{c \cot \alpha}{a \cdot \gamma_m}$$

= ancho superior plataforma (m)

C = cohesión (T/m²)

α = inclinación de talud

Para que las soluciones sean reales es necesario que $0 < r < 1$.

Para $c = 0$ $r = 0$ y $h = 0$

Y para $r = 1,0$ $h = \infty$

Para un valor de “2da” dado, la altura máxima del terraplén se puede incrementar si:

- se aumenta la resistencia del suelo.
- se extienden los taludes.
- se colocan materiales más livianos.

E. ASENTAMIENTO DINÁMICO Y LICUACIÓN

Determinados suelos que son sometidos a sollicitaciones dinámicas, tales como vibraciones, impactos, sismos, etc., tienden a densificarse disminuyendo de volumen. Si estos suelos tienen baja permeabilidad, la tendencia a la densificación se traduce en un incremento de presión de la fase fluida, que puede

crecer hasta un punto en que iguale a la presión total, llegando a anular a la presión efectiva o presión de contacto entre los granos. En estas circunstancias un suelo de característica granulares pierde totalmente su capacidad de soporte.

En el caso de las arenas finas y limos sueltos saturados, se produce un aumento de presión en la fase fluida ya que el suelo no alcanza a drenar durante el corto tiempo que dura una carga transitoria, lo que puede llevar al suelo, transitoriamente, al estado de licuación con el consiguiente hundimiento de las estructuras apoyadas en él.

(GRÁFICO 19_1 Asentamiento dinámico) (Ver Anexo B)

F. CIMENTACIÓN DE TERRAPLENES

F.1. MEJORAMIENTO DEL SUELO DE CIMENTACIÓN

Dentro de este tipo de solución está básicamente la construcción en etapas y la estabilización por electroósmosis, técnicas que sería aplicable a arcillas.

F.1.1. CONSTRUCCIÓN DE ETAPAS

Esta medida es aplicable principalmente a los terrenos comprensibles, cuya resistencia al esfuerzo cortante puede garantizar la estabilidad por flujo plástico. Su objetivo es el de provocar un cierto grado de consolidación, elegido a priori, de tal manera que una vez que haya transcurrido el tiempo suficiente, los hundimientos posteriores sean pequeños y se produzcan a largo plazo, para que no afecten la operación y conservación de la vía.

Para conocer el tiempo necesario que deberá dejarse pasar antes de proseguir y terminar la construcción de un terraplén, bastará con analizar la curva asentamientos-tiempo obtenida en los estudios de consolidación. El criterio usualmente seguido es el de provocar de un 50 a 60% de consolidación. Cuando se necesita acelerar el proceso de consolidación, se acostumbra construir un terraplén de mayor altura que el de proyecto (precarga) afinándose la rasante al término especificado.

Esta solución es de las más económicas para neutralizar los efectos perjudiciales de la consolidación, pero tiene el inconveniente de tener que esperar por un tiempo, antes de proseguir con la construcción de la vía de comunicación.

La construcción de un terraplén por etapas tiene el efecto benéfico de incrementar la resistencia al esfuerzo cortante del terreno de cimentación, con lo cual, al final del proceso, se podrá contar con mejores condiciones que en un principio.

F.1.2. ESTABILIZACIÓN POR ELECTROÓSMOSIS

La aplicación de la electroósmosis como medio para estabilizar un suelo es relativamente novedosa. El fenómeno por electroósmosis produce 3 efectos que incrementan la resistencia del suelo:

- a. Es sabido que se puede incrementar el factor de seguridad de un talud, invirtiendo el sentido del flujo de agua por medio de la electroósmosis, cuyo efecto es invertir el sentido de las fuerzas de filtración
- b. El segundo efecto es de carácter electroquímico y consiste en que al aplicar un potencial eléctrico entre el ánodo y el cátodo, se desprenden de aquél partículas metálicas que entran en circulación en el agua de los poros. A su vez partículas (iones) reaccionan con los iones absorbidos de los granos de suelo y con las sales disueltas en el agua, formando compuestos de propiedades cementantes.

Si el ánodo es de aluminio se producen cementantes de gran poder aglutinante (aluminatos); los ánodos de hierro son también capaces de crear ligas entre las partículas, aunque de menor poder cementantes que las producidas por los de aluminio. Este efecto puede utilizarse para aumentar la cohesión de un suelo que se encuentre saturado, tales como limos y arcilla.

- c. El tercer efecto se debe a una distribución no uniforme del potencial eléctrico entre en ánodo y cátodo, lo que da lugar a la creación de fuerzas de tensión en el agua de los poros del suelo; este efecto tiende a aumentar la presión efectiva entre partículas, como se deduce de la fórmula fundamental:

$$p_t = p_e + u$$

Dónde:

p_t : es la presión total

p_e : es la presión efectiva

u : es la presión de poro

Como u es negativa se tiene:

$$p_e = p_t + u$$

F.1.3. MEJORAMIENTO POR MEDIO DE TELAS GEOTEXTIL.

A diferencia de los suelos, las telas geotextiles tiene la propiedad de desarrollar resistencia a la tracción, permitiendo disminuir las tensiones en el pavimento. Mientras mayor es el módulo secante, que es la fuerza necesaria para lograr una deformación del 5% en el ensayo de tracción (según ensayo ASTM D 4632), mayor es la eficiencia del geotextil. Adicionalmente, la tela actúa como un separador en la interface, evitando la infiltración de suelo fino.

Existe una amplia variedad de antecedentes sobre estudios e investigaciones realizadas en el exterior para establecer las bondades que implica el uso de estos elementos para salvar suelos de baja capacidad de soporte. Sin embargo, muchas de estas investigaciones han sido realizadas por los propios fabricantes del producto, de manera que la independencia de los resultados a veces se presta a algunas dudas. En el país, las telas geotextiles se han usado en forma escasa, pero con buenos resultados.

El aspecto más importante a definir, puesto que influye en las ventajas que tendría el uso de estos elementos para cruzar áreas de baja capacidad de soporte, es cuantificar cuanto se incrementa la capacidad de soporte de un suelo al colocar la tela geotextil. Las investigaciones externas señalan que el soporte, expresado en términos del CBR, significaría incrementar el CBR del suelo reforzado entre 3 y 5 puntos porcentuales; ello significa que si se refuerza un suelo CBR = 1% con geotextil, equivale a disponer para los efectos de diseño, de un suelo con CBR entre 4 y 6%.

En resumen, en tanto no se disponga de más información, se recomienda adoptar un incremento del CBR según lo siguiente:

Valor del Módulo Secante (N)	Incremento CBR
400 a 500	3 puntos
500 a 600	4 puntos
> 600	5 puntos

Nota: El Módulo secante se determina por el ensayo de la Resistencia a la Tracción según norma ASTM D 4632.

Para adoptar estos valores, deberá elegirse y especificarse claramente la tela a utilizar, debiendo ella cumplir estrictamente con lo que se especifica en la Sección 3.2.1.4 y asegurándose que el recubrimiento de suelos especificados es el adecuado en cuanto a características y espesor.

F.2. MEJORAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO DEL TERRAPLÉN

En este tipo de soluciones no se alteran las propiedades del suelo de cimentación. Por lo tanto, corresponden básicamente a las siguientes medidas.

- Utilización de materiales livianos
- Plataformas de alivio
- Cimentación por pilotes
- Empleo de banquetas laterales y frontales
- Drenes verticales de arena

F.2.1. UTILIZACIÓN DE MATERIALES LIVIANOS

Si a una distancia económica del lugar donde se construye el terraplén, se localizan prestamos de materiales livianos, es recomendable el uso de estos materiales para formar el cuerpo de los terraplenes. En efecto para una misma altura de terraplén, tanto los esfuerzos normales como los cortantes inducidos, serán menores y por lo tanto será posible disminuir la magnitud de los hundimientos o bien aumentar la altura del terraplén sin que existan fenómenos de flujo del material. En algunos casos particulares, pueden obtenerse mejores resultados económicos mediante el proyecto de terraplenes de sección mixta, como lo muestra la figura del **Gráfico 20_1 Soluciones para mejorar el comportamiento de los terraplenes (Ver Anexo B)**. El inconveniente de esta solución estriba en la escasez de estos materiales en la naturaleza.

F.2.2. PLATAFORMAS DE ALIVIOS

Este procedimiento tiene como finalidad principal, la de proporcionar una base flotante a los terraplenes construidos sobre terrenos excesivamente blandos, en los que se puede presentar flujo del material.

Esta solución se puede aplicar a vías de comunicación provisionales o bien a caminos de tipo secundario. Con este procedimiento no es posible eliminar los hundimientos, por lo que se recomienda que los terraplenes no tengan más de 1,00 m de altura y que sus taludes sean suficientemente extendidos. En general no es justificable la pavimentación en este tipo de caminos.

Las plataformas de alivio pueden construirse con lechos de Tronco, o entrecruzado de ramas. El terraplén debe formarse por dos capas, una de material bien graduado en su parte inferior y otra de grava como superficie de rodamiento como se muestra en la figura b del **Gráfico 20_1 Soluciones para mejorar el comportamiento de los terraplenes (Ver Anexo B)**.

F.2.3. CIMENTACIÓN POR PILOTES

En un terreno de cimentación blando se tiene dos efectos benéficos con la introducción de pilotes hincados en su seno:

1. Se restringe el movimiento de flujo lateral del material.
2. Se logra mejorar el terreno de cimentación aumentando su resistencia al esfuerzo cortante, por efecto de la consolidación producida al introducir los pilotes.

El procedimiento se basa en ciertas consideraciones que difícilmente se cumplen en la práctica y que son:

- a. Los pilotes trabajan aisladamente por puntas. Para que se cumpla esta condición, es necesario que exista un manto resistente bajo estrato blanco, que la separación entre pilotes centro a centro sea mayor de 4 diámetros y además que el perímetro envolvente del conjunto sea mayor que la suma de los perímetros de los pilotes.

La carga que se debe considerar para el diseño de los pilotes, es el peso equivalente del área de influencia de los terraplenes. En algunos casos, a esta carga axial es necesario añadirle los efectos de fricción negativa que se desarrollan a lo largo del área lateral de los pilotes, y el empuje lateral, provocando por el flujo del material.

En el caso de accesos a puentes, este último concepto acrecienta su importancia, debiéndose prever la suficiente longitud de empotramiento en el terreno firme.

- b. Se supone que el material blando no soporta ninguna carga adicional. Esto significa que se le considerara una capacidad de carga nula, que el material del terraplén es muy rígido, y que no existen fenómenos de arqueo en el cuerpo del propio terraplén. Esta condición puede lograrse parcialmente si se provee una losa de concreto reforzado como asiento del terraplén, pero con ellos se elevan significativamente los costos.

Es conveniente hacer notar que la solución propuesta por este medio puede resultar antieconómica, por el gran número de pilotes que es necesario hincar para que se logre una efectividad adecuada. Además resulta ser medida más bien de tipo empírico, puesto que se tienen muchas incertidumbres respecto a su comportamiento real. En la figura c del **Gráfico 20_1 Soluciones para mejorar el comportamiento de los terraplenes (Ver Anexo B)** se muestra una sección típica solucionada por este medio.

Banquinas laterales y frontales

El uso de banquetas, como medio para mejorar las condiciones del subsuelo, está limitado a materiales cuyo comportamiento crítico principal es el de flujo plástico, proporcionan los siguientes efectos benéficos:

- a. Ejercen un confinamiento al material blando
- b. Redistribuyen los refuerzos cortantes alejando las concentraciones de los pies de los taludes.

Para que se pueda lograr el primer efecto es necesario que las banquetas tengan un ancho mínimo de:

$$A \geq 2,5 \text{ a } 3L$$

Para una sección transversal de un terraplén (**Gráfico 21_1 Soluciones para mejorar el comportamiento de terreno de cimentación (Ver Anexo B)**). En el caso de accesos a puentes es necesario que el ancho A de la banqueta sea:

$$A \geq 1,5 h' \cot \alpha$$

Como se muestra en el **Gráfico 22_1 Construcción de terraplenes en suelos inestables (Ver Anexo B)**.

F.2.4. DRENES VERTICALES DE ARENA

La finalidad que se persigue cuando se colocan drenes verticales de materiales granulares, es el acelerar el proceso de consolidación. En efecto, por este medio el espesor del material por consolidar se reduce de H a S (**Gráfico 21_1 (Ver Anexo B)**) y las presiones de poro se disparan con mayor rapidez. El flujo del agua está obligado a ascender por los drenes hacia la cama permeable, la cual elimina el agua descargándola al exterior.

El diseño correcto de los sistemas de drenes verticales exige que los materiales utilizados tengan una curva granulométrica bien graduada, cuyo diámetro efectivo D_{10} debe estar comprendido entre 0,01 y 1,0 mm. La separación S entre drenes es función directa del tiempo disponible para construir la vía y en la práctica del dren mayor es su efectividad.

Para obtener una aceleración mayor del proceso de consolidación a veces recurre a colocar una sobrecarga adicional, mediante un terraplén, el cual se remueve posteriormente una vez alcanzada la relación de consolidación deseada. Una última ventaja que se consigue con este método, es la de lograr un aumento en la resistencia al esfuerzo cortante del suelo.

F.2.5. REEMPLAZO DEL SUELO DE CIMENTACIÓN

Los métodos de remplazo de suelos muy blandos, son los que proporcionan una solución más adecuada y de carácter definitivo al problema de la cimentación de terraplenes sobre estos materiales, siempre y cuando no tengan espesores muy grandes. En algunos casos, el adoptar cualquier otra solución de las ya mencionadas, puede requerir una conservación continua de la vía, con costos muy altos.

El primer paso que se debe considerar para aplicar estos procedimientos, es el de conocer el espesor de la capa blanda del material. Para saber la profundidad a la que se encuentra el terreno firme, basta con efectuar sondeos de tipo preliminar hincando varillas sobre el eje de la vía, a distancias convenientes. Un estudio preliminar más adecuado consistiría en cuadricular la faja que abarcará la vía con este tipo de sondeos, de forma de conocer la topografía del terreno resistente bajo el material blando.

El método de reemplazo puede ser total o parcial. El primer caso es para espesores no muy grandes. En caso contrario se ejecuta un reemplazo parcial por desplazamiento. **(Ver Figuras a y b en Gráfico 22_1 Construcción de terraplenes en suelos inestable) (Ver Anexo B).**

SECCION 3.2.1.5.

COMPACTACION DE SUELOS

Se entenderá por compactación al proceso mecánico mediante el cual se disminuye los huecos dentro de una masa de suelo, obligando a las partículas sólidas a ponerse en contacto más íntimo entre sí. El sistema de partículas constituye a la fase sólida del suelo y, los espacios encerrados corresponden a la fase fluida.

La fase fluida está compuesta por aire y agua. Mientras el primero es muy compresible, el agua puede considerarse incompresible ($C_w = 2,4 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{Kg.}$). Desde el punto de vista de la construcción vial, el estado parcialmente saturado es el que tiene mayor importancia. Los materiales se encuentran, en ese estado durante las etapas de construcción y, posteriormente, en servicio como sub-rasante, sub-bases y bases.

3.2.1.5.1. FACTORES QUE DETERMINAN EL GRADO DE COMPACTACIÓN

La densidad final que se alcanza en un suelo, depende de varios factores. Entre los principales se pueden mencionar, la humedad, la energía de compactación aplicada y el tipo de suelo de que se trate.

A. EFECTO DEL AGUA

Si el suelo que contiene finos plásticos, se somete a un proceso de compactación, y se miden las densidades obtenidas para diferentes contenidos de agua (humedad), manteniendo constantes la energía de compactación, se obtiene la curva típica densidad-humedad, que se indica en el **Gráfico 23_1 (Curva típica Densidad – Humedad) (Ver Anexo B)**.

A partir de un valor relativamente bajo, un incremento en el contenido de agua va acompañado de un aumento de la densidad seca obtenida. Este proceso continúa hasta cierto punto en el cual nuevos incrementos en el contenido de agua producen una disminución de la densidad lograda. El punto de mayor compactación corresponde a la densidad máxima y su correspondiente contenido de agua a la humedad óptima, ambos valores para una energía de compactación dada.

El suelo pasa por cuatro estados. Hasta el punto A del dibujo, corresponde al estado de hidratación, en el cual toda el agua está en forma de una película de agua adsorbida, firmemente adherida a las partículas sólidas y prácticamente no contribuye a mejorar la trabajabilidad, el segundo estado, de A a B, corresponde al de lubricación, en el cual el aumento de espesor de la película de agua permite un mejor acomodo de las partículas de suelo, ayudando al proceso de compactación. El estado de hidratación y el de lubricación, situados al lado izquierdo de la densidad máxima, constituye la “rama seca de la curva”. En ambos estados el aire de la fase fluida es “libre” y por lo tanto, puede drenar rápidamente durante la compactación.

El tercer estado, entre los puntos B y C corresponden al de expansión, una mayor cantidad de agua tiende a separar las partículas sólidas. El aire se encuentra ocluido y no tiene posibilidad de drenar, manteniéndose en un volumen constante, lo que queda evidenciado por un paralelismo de la curva de compactación con la línea de saturación. El cuarto estado es el de saturación en el cual es preponderante la proporción de agua en la fase fluida ($S \rightarrow 1$) y la pequeña cantidad de aire ocluido entra en

disolución con una presión relativamente pequeña $\left(\Delta p = \frac{1-S}{0.0 S} u_o \right)$ acercándose la curva a la línea de saturación, que corresponde como se sabe, a relación entre la densidad y la humedad cuando no existe aire en la fase fluida, sino sólo agua.

En suelos granulares sin filtros plásticos, no se desarrolla la curva típica densidad-humedad. Por el contrario, existe una humedad del orden de 3 a 6%, con la cual se obtiene la misma densidad. Por esta razón para arenas sin finos es recomendable compactarlas, por vibración con un contenido de agua muy bajo o cerca del límite de saturación.

B. ENERGÍA DE COMPACTACIÓN

Para estudiar la influencia del esfuerzo de compactación se han desarrollado las relaciones humedad-densidad, para diferentes esfuerzos de compactación, obteniéndose la familia de curvas que se señala en el **Gráfico 23_1 Curva típica Densidad - Humedad (Ver Anexo B)**.

Se puede observar que a mayor energía de compactación aplicada se logrará una mayor densidad máxima, y una correspondiente menor humedad óptima.

Una conclusión práctica de importancia es el hecho de que un suelo con exceso de agua no podrá alcanzar una determinada densidad aun cuando se aumente la energía de compactación aplicada, ya que siempre estará limitado por la línea de saturación.

C. TIPO DE SUELO

El tipo del suelo es un factor determinante en la densidad que se logre en un proceso de compactación. Su valor queda determinado en gran medida por características tales como su peso específico, textura, forma de sus partículas, plasticidad, etc.

De aquí que no sea recomendable expresar el grado de compacidad de un suelo en términos absolutos, sino como un porcentaje de la densidad máxima que alcanza ese mismo suelo, a través de un ensayo normalizado. El valor de la densidad máxima que se obtiene al compactar un suelo, de características normales, se encuentran en el rango que se indica en la **Tabla 3.2_3**.

Tabla 3.2_3. DENSIDAD MÁXIMA SEGÚN TIPO DE SUELO

Tipo de suelo (clasificación AASHTO)	Densidad máxima (kg/dm ³)
A - 1	>2,00
A - 2	1,90 - 2,10
A - 3	1,70 - 2,00
A - 4	1,75 - 1,90
A - 5	1,25 - 1,60
A - 6	1,25 - 1,75
A - 7	1,25 - 1,75

D. COMPACTACIÓN DE LABORATORIO

En suelo con finos, el grado de compacidad de un suelo se mide a través de la densidad seca, expresada ésta como un valor relativo de una cierta densidad lograda en laboratorio por algún ensayo normalizado.

En obras viales es ampliamente usado el ensayo Proctor Normal y Proctor Modificado, como patrón de referencia. En ellos se compacta una masa de suelo colocada por capas dentro de un molde cilíndrico, dejando caer un pisón con un cierto número de golpes por capa.

Este ensayo se repite para diferentes humedades crecientes. Así se forma la curva densidad-humedad, estableciéndose los valores de densidad máxima y humedad óptima. La energía de compactación se determina mediante la relación:

$$E = \frac{P \cdot h \cdot n \cdot N}{V} , \text{ corresponde al valor } 237 \text{ kg.m/d}^3$$

- P = peso de pisón
- h = altura de caída
- n = número de golpes por caída
- N = números de capas
- V = volumen de suelo compactado

En los ensayos y controles de rutinas generalmente la curva densidad-humedad se dibuja basándose en 3 a 5 determinaciones, dependiendo de las características del suelo y experiencia del operador. En la rama seca de la curva se observa menos dispersión que en la rama húmeda. Resulta, por lo tanto, una buena ayuda dibujar la línea de saturación del suelo (característica que sólo depende del peso específico).

En los suelos granulares, sin finos, el grado de compactación se expresa en término de Densidad relativa, a través de la relación:

$$DR = \frac{\gamma_d \max(\gamma_d - \gamma_d \min)}{\gamma_d(\gamma_d \max - \gamma_d \min)} \cdot 100$$

- DR = densidad relativa en el suelo (%)
- $\gamma_d \max$ = densidad máxima lograda en laboratorio
- $\gamma_d \min$ = densidad mínima lograda en laboratorio
- γ_d = densidad de suelo

Se acostumbra clasificar el grado de compactación de este tipo de suelos, según su densidad Relativa, de acuerdo a los valores indicados en la **Tabla 3.2_4**.

Tabla 3.2_4. GRADO DE COMPACTACIÓN SEGÚN SU DENSIDAD RELATIVA

Valor DR	Grado de compactación
0 – 15 %	Muy suelto
15 – 35%	Suelto
35 – 65%	Mediano
85%	Compacto
85 – 100%	Muy compacto

D.1. FORMAS DE COMPACTACIÓN

De acuerdo con la naturaleza de las fuerzas aplicadas y su duración, se puede distinguir las siguientes formas de compactación:

- 1- Por amasado
- 2- Por presión
- 3- Por impacto o vibración
- 4- Métodos mixtos.

Estas técnicas no son todos los modos posibles de energía de compactación a un suelo, sino que simplemente son las soluciones comerciales e industriales desarrolladas hasta la fecha para resolver el problema.

D.2. COMPACTADOS POR AMASADO – RODILLO PATA DE CABRA.

Estos rodillos concentran su peso sobre superficies relativamente pequeñas de todo un conjunto de puntas de formas variadas ejerciendo presiones muy elevadas por lo que estas puntas penetran en el suelo. A medida que el suelo se compacta en pasadas sucesivas. Las patas profundizan cada vez menos en el suelo y hay un momento en que cesa de aumentar la compactación. La compactación es de abajo hacia arriba en cada capa. El mejor rendimiento de estos rodillos se da en suelos finos por efecto disgregador de grumos de sus patas y el efecto favorable de unir las distintas capas evitando la tendencia de separación. En épocas recientes se ha reforzado el efecto rompedor de grumos y mezclado mediante el agregado de energía vibradora.

Se ha desarrollado además dos tipos de rodillos que son variantes de la pata de cabra, el rodillo de rejillas y el rodillo segmentado. Estos últimos se han usado con éxito en suelos que requieren disgregación y en arcillas de baja plasticidad y en suelos tipo areno-arcillo-limoso. El espesor suelto que se recomienda de las capas varía entre 10 cm y 25 cm.

D.3. COMPACTACIÓN POR PRESIÓN – RODILLOS LISOS Y NEUMÁTICOS.

Rodillos lisos: se dividen en dos: remolcados y autopropulsados. Los primeros constan de dos tambores en marco al que se sujetan los ejes y su peso varía de 14 a 29 ton. Los autopropulsados constan de una rueda delantera y dos traseras. Se aplican a los materiales que no requieren disgregación como en el caso general de arenas y gravas relativamente limpias. También se usan mucho para el acabado de la superficie de las capas de: subrasante, bases y rodaduras. El efecto de compactación con estos rodillos se produce de arriba hacia abajo y decrece considerablemente a medida que se profundiza en la capa que se compacta.

Cuando se usa rodillo liso en la compactación de arcillas, limos plásticos y arenas con exceso de finos, al cabo de un cierto número de pasadas se producen fracturas en la superficie debido a la rigidez de esta parte por excesiva densificación en relación con la del lecho de la capa que resulta con resistencia relativamente baja. Generalmente trabaja en espesores suelos de 10 a 20 cm.

Rodillos neumáticos: su efecto deriva principalmente de la presión que ejerce al suelo y luego por el efecto de amasado que es muy inferior al de los rodillos pata de cabra. El rodillo aplica a la superficie de la capa prácticamente la presión de inflado de la rueda.

La superficie de contacto depende de la presión del inflado y del peso del rodillo. La forma de esta superficie es aproximadamente elíptica. Para lograr una aplicación más o menos uniforme de la presión, en una cierta profundidad bajo la superficie, es preciso que las llantas de adelante y las de atrás tengan un traslape de 1/3 de la huella de la rueda. Dentro de cierto rango, la eficacia del rodillo aumenta con la presión de inflado para una condición dada de humedad de compactación.

La efectividad de compactación del rodillo neumático decrece rápidamente con la profundidad, aunque no tanto como la del rodillo liso. El espesor de la capa está íntimamente ligado al tipo de suelo, las características del equipo compactador disponible y de la humedad del suelo. Se sugiere compactar capas de prueba en que se hace variar el espesor, humedad y número de pasadas para establecer la condición de menor costo que garantice la compactación específica. En general el rodillo neumático es eficiente en la compactación de suelos arenosos con finos poco plásticos y finalmente en limos poco plásticos. Generalmente trabaja en espesores de suelo suelto de 12 a 30 cm.

En el caso de suelos finos se aconseja el rodillo neumático con uno de sus ejes con ruedas algo oblicuas respecto al eje lo que les da un movimiento bamboleante durante la marcha: esto aumenta el efecto de amasado.

Con frecuencia no es posible distinguir los campos de aplicación práctica de los rodillos neumáticos y la pata de cabra. En caso de suelos residuales el rodillo pata de cabra es más eficiente y da mayor uniformidad. El rodillo neumático puede compactar capas más gruesas y a mayor velocidad que los rodillos pata de cabra. Además el mayor espesor de las capas permite incluir material grueso de mayor tamaño. En suelos con piedras tipo bolón incluidas, se prefiere el rodillo neumático que permite una distribución más uniforme.

D.4. COMPACTACIÓN POR IMPACTO O VIBRACIÓN

En este grupo se incluye diversos tipos de pisones aptos para operar en áreas reducidas. En este tipo se incluyen desde pisones de caída libre accionado a mano a otros movidos por compresión neumática o motores de explosión. Pisones de media tonelada han producido excelentes compactaciones con 5 ó 6 cubrimientos sobre capas de 20 a 25 cm en suelos granulares con finos y de 12 a 17 cm en suelos finos plásticos.

En áreas extensas se emplean los rodillos vibratorios.

Hay varios factores inherentes a la naturaleza de la vibración que influyen en el resultado de la compactación:

- a. La frecuencia
- b. La amplitud vertical
- c. El empuje dinámico en cada impulso del oscilador
- d. Peso del equipo sin considerar el oscilador propiamente dicho.
- e. La forma y el tamaño del área de contacto del vibrador con el suelo.
- f. La estabilidad de la máquina.

La ventaja principal del rodillo vibratorio es que permite compactar suelos granulares en capas de bastante mayor espesor que el usado con otros tipos de compactadores: en suelos GW y GP es posible compactar con el equipo adecuado capas de hasta 60 cm de espesor contra los 20 a 30 cm usados con rodillos neumáticos muy pesados.

Con vibratorios superpesados se logra llegar a espesores de 1,20 m para este tipo de suelos. La acción combina la vibración que reduce la fricción interna del sistema granular y la presión subsiguiente que acomoda las partículas para dar al conjunto la porosidad mínima compatible con el tamaño y forma de partículas y su distribución granular. Si la arena o la grava tienen un porcentaje de finos superior a 10% y una humedad elevada, la compactación por vibración puede dificultarse notablemente.

Cuando se compacta por vibración suelos granulares conviene verificar experimentalmente la frecuencia de la vibración, velocidad de pasada, humedad de compactación y espesor de la capa que conducen a la energía específica mínima. En este último aspecto conviene medir la disipación de la compactación con la profundidad.

La humedad tiene gran influencia en la compactación de suelos finos arcillosos: con humedad reducida se requiere gran energía vibratoria y presión, aproximadamente 8 kg/cm²; con arcillas húmedas en condición plástica se requiere menos energía y presión para variar la viscosidad de los coloides contenidos en el sistema en sentido favorable para densificar el suelo, siendo en todo caso difícil alcanzar densidades superiores al 90% de la densidad máxima compactada seca. Es factible compactar con equipo vibratorio limos con humedad próxima a la óptima en espesores moderados de las capas.

Es conveniente indicar que la efectividad densificadora del número de pasadas por punto, generalmente disminuye a partir de la sexta y además se observa que disminuye a partir de frecuencias superiores a 1500 ciclos por minuto.

D.5. COMPACTACIÓN POR MÉTODOS MIXTOS

Como su nombre lo indica, corresponde a equipos que integran dos o más de las acciones de compactación descritas anteriormente permitiendo, en general, operar sobre capas de suelo con espesor mayor que el indicado para los casos de compactadores de acción más simple. Las combinaciones con más éxito son los neumáticos vibratorios en suelos arenosos, arenas limosas y aún en arenas algo arcillosas y los rodillos pata de cabra vibratorios en el caso de suelos plásticos.

D.6. RECOMENDACIONES GENERALES SOBRE EL USO DE EQUIPOS COMPACTADORES

a. La elección del equipo de compactación depende fundamentalmente del tipo de suelo. En general los rodillos lisos son los más apropiados para gravas y arenas mecánicamente estables.

Los rodillos neumáticos, para arenas uniformes y suelos cohesivos con humedades que se aproximen al límite plástico. Los rodillos “pata de cabra”, para suelos finos con humedades del 7 al 12% por debajo del límite plástico. Los equipos vibratorios son particularmente útiles para suelos granulares.

b. La densidad de un suelo sometido a compactación disminuye con la profundidad al aumentar el espesor de la capa. Para la generalidad de los equipos esta disminución no es importante hasta 20 cm. Si se emplean capas de poco espesor es más fácil eliminar el aire ocluido, resultando más económico el proceso de compactación en esta forma.

c. En general, se tiene un aumento considerable de la densidad entre una y seis pasadas, que se va haciendo más lento para las pasadas siguientes.

d. Un exceso de agua en un suelo de textura muy fina impide lograr un adecuado nivel de compactación.

En la **Tabla 3.2_5** se da en forma resumida un criterio sobre el comportamiento de diferentes equipos de compactación en relación al tipo de suelo.

Tabla 3.2_5. RECOMENDACION DE EQUIPO DE COMPACTACION SEGUN TIPO DE SUELO (CLASIFICACION H.R.B.)

A-1-a		A - 1		A - 3 A-2-4	A - 2			A - 4	A - 5	A - 6	A - 7	
		A-1-b			A-2-5	A-2-6	A-2-7					
TIPO DE EQUIPO	Rodillo Liso	1	2	2	1	1	1	2	2	3	3	4
	Rodillo Neumático	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	3
	Rodillo Pata de Cabra	5	5	5	4	4	3	2	2	1	1	1
	Pisón Impacto	2	2	1	2	2	2	4	4	4	4	4
	Rodillo Vibratorio	1	1	1	1	1	3	4	3	3	5	5

Clasificación del Comportamiento del Equipo:

- 1 Excelente
- 2 Bueno
- 3 Regular
- 4 Deficiente
- 5 Inadecuado

D.7. CONTROL DE COMPACTACIÓN

El control de compactación en terreno puede realizarse por algunos de los siguientes métodos:

- 1. Medición de densidades.
- 2. Medición de penetración.
- 3. Especificación de tipo de equipo de compactación y modo de empleo.
- 4. Rodillo especial de prueba.

No parece ser recomendable controlar por un solo método sino por una combinación del los (1 con 3, 1 con 4, 2 con 3, 2 con 4), dependiendo en gran medida de la importancia y magnitud de la obra.

D.8. MEDICIÓN DE DENSIDADES

Este sistema de control consiste en determinar los valores de la densidad seca del suelo compactado, refiriéndola como porcentaje del valor de referencia determinado por Laboratorio.

D.9. MEDICIÓN DE PENETRACIÓN

En este sistema el control se ejecuta midiendo la resistencia a la penetración con un Penetrómetro Dinámico de dimensiones normalizadas y que ha sido previamente calibrado con una determinada densidad.

Es muy útil en suelos finos y, por su rapidez permite tener una gran cobertura de la capa controlada. El penetrómetro de uso más conveniente es el de 20 mm de diámetro con un ángulo de 60° en la punta.

D.9.1. ESPECIFICACIÓN DE MÉTODO DE COMPACTACIÓN Y MODO DE EMPLEO

En este sistema se especifica y controla la forma de compactar especificando el tipo de equipo, espesor y humedad de las capas de suelo, velocidad y número de pasadas por cada punto.

Este método es particularmente útil en el caso de rellenos que contienen partículas de diámetro grande (mayores que 50 mm) en los cuales tanto la densidad de referencia de Laboratorio como la determinada en campo no son representativas de la condición real.

D.9.2. RODILLO ESPECIAL DE PRUEBA O PRUEBA DE CARGA

El control en base a un rodillo especial de prueba, permite medir la estabilidad de los rellenos compactados y es un buen complemento de los métodos tradicionales.

Este rodillo es de un peso por eje de 50 a 100 ton con una presión de inflado de entre 100 y 200 lb/pul². Se especifica en este caso un valor máximo de solevantamiento del terreno detrás de las ruedas, para las condiciones de operación prefijadas. En algunos casos pueden utilizarse un camión volquete de forma simple cargado.

CAPITULO 3.2.2.

DISEÑO DE LA SUPER ESTRUCTURA O PAVIMENTO

SECCION 3.2.2.1.

CONCEPTOS BASICOS DE DISEÑO

3.2.2.1.1. ALCANCES

El pavimento tiene por objetivo dotar al camino de un sistema estructuralmente resistente a las sollicitaciones que impone el tránsito, proporcionando una superficie que permita una circulación cómoda y segura a la velocidad especificada, bajo las variadas condiciones climáticas y por un periodo determinado. Diseñar consiste en determinar los tipos y espesores de las capas que resultan más económicas para lograr propósitos enunciados.

Las cargas que impone el tránsito son traspasadas por el pavimento hacia la sub rasante mediante mecanismos que dependen de las características de las materias que conforman las diferentes capas; dependiendo de la mecánica por la cual esas cargas alcanzan la sub rasante, los pavimentos se clasifican en flexibles y rígidos (existen también los semi-rígidos de uso poco frecuente y que se diseñan con procedimientos de diferentes a los que aquí se incluyen).

Las losas de hormigón son muy rígidas, de manera que las sollicitaciones se distribuyen hacia la sub rasante en un área más o menos extensa, generándose tensiones relativamente bajas. Por el contrario, por ser más flexibles, el concreto asfáltico se deforma más que una losa de hormigón por lo que la superficie de distribución hacia la sub rasante es menor, lo que genera tensiones más altas. Los diferentes comportamientos de unos y otros tienen su origen en esta diferencia de tensiones y en la forma en que ellas se generan.

Los pavimentos se deterioran debido a que los materiales experimentan con el tiempo variaciones de algunas de sus propiedades, que se manifiestan como una disminución de la capacidad para soportar tensiones. Las cargas solicitantes, repetitivas y de gran magnitud, generan tensiones que superan la fase elástica de los materiales y por consiguiente los fatigan.

La capacidad de un pavimento para soportar cargas, se denomina integridad estructural, en tanto que las condiciones que se refieren al estado en que se encuentra la superficie, corresponden a la integridad funcional. Ambas se relacionan, pues el deterioro estructural se manifiesta en cierta medida, en una disminución de la integridad funcional. Asimismo, se han desarrollado investigaciones que evidencian que el mantener un pavimento con un bajo nivel de integridad funcional acelera el deterioro.

Los métodos de diseño tienen por objetivo relacionar la evolución funcional y estructural que experimenta la integridad (Serviciabilidad) del pavimento con los factores que causan el deterioro. Evaluando estos factores, se definen procedimientos para dimensionar la estructura que se requiere para satisfacer niveles de integridad predefinidas para un periodo determinado.

En esta sección se entregan los antecedentes necesarios para utilizar algunos procedimientos de diseño de probada eficiencia y se señalan criterios y normal para valorizar los parámetros requeridos. Sin embargo, debe tenerse en consideración que el concepto más integral de lo que se debe entender por un buen diseño, comprende como condición necesaria, pero no suficiente, la asignación de valores adecuados a estos parámetros.

La solución integral debe considerar otros factores tales como; las características de los materiales existentes en las proximidades de la obra, la calidad de la construcción disponible, las características del control que se realizará, las especificaciones de construcción, los aspectos económicos involucrados, alternativas y otros.

Por último conviene dejar establecido que el objetivo que se persigue en este Manual es entregar una guía de cómo diseñar un pavimento según los métodos que aquí se señalan; en ningún caso se pretende con ello establecer normas o criterios rígidos. Se espera que el diseñador tenga una participación activa en la generación de los diseños, aportando sus propias experiencias y maximizando las ventajas que pudieran significar las condicionantes locales en cada proyecto.

3.2.2.1.2. MÉTODOS DE DISEÑO

Un pavimento puede modelarse como un sistema compuesto por varias capas elásticas o visco elásticas apoyadas sobre un medio elástico o viscos elásticos y solicitados por un sistema de cargas dinámicas. Sin embargo, el comportamiento de estos sistemas depende de una cantidad muy significativa de factores, algunos de los cuales resulta extremadamente difícil de caracterizar en un modelo matemático. Es el caso de las alteraciones que experimentan las propiedades de los suelos con los cambios de humedad, los efectos de las variaciones diarias y anuales de la temperatura ambiente, la variabilidad de las cargas solicitantes y su distribución en la superficie pavimentada, etc.

Las dificultades que se crean al intervenir tantos factores, orientó los primeros intentos de contar con métodos de diseño confiables, hacia procedimientos derivados sólo o básicamente de la experiencia, con lo que se originaron los métodos denominados empíricos. La principal debilidad de este tipo de procedimiento radica en las dificultades que presenta su adaptación a condiciones y realidades diferentes a las que existían en el lugar donde se realizaron las experiencias. Las más recientes investigaciones muestran que, por ejemplo, la influencia del factor ambiental en el comportamiento del pavimento es de la mayor importancia, de manera que es un parámetro que no puede dejar de analizarse exhaustivamente antes de usar un procedimiento de estas características.

En los modelos empíricos, parte significativa del deterioro causado por factores que no fueron incluidos como variables del problema, quedan implícitos en los resultados, siendo extremadamente difícil extrapolarlos a situaciones diferentes; lo mismo ocurre cuando se procura emplear materiales distintos a los utilizados para desarrollar el modelo. En general, no es aconsejable adoptar procedimientos empíricos sin previamente someterlos a un estudio acabado que permita realizar los ajustes necesarios.

Procurando desligarse de los problemas que crean los métodos empíricos, en los últimos tiempos se han desarrollado procedimientos puramente analíticos, basándose en el criterio que un pavimento puede modelarse como el sistema multicapas.

Estos procedimientos, que se suelen denominar métodos mecanicistas o teóricos, permiten calcular muy exactamente las tensiones, deformaciones y deflexiones que originan las cargas solicitantes en cualquier punto de la estructura. Sin embargo, se genera una nueva dificultad debido a que el comportamiento del pavimento depende también de una serie de otros factores, muchos de los cuales no pueden ser modelados con exactitud. Esta dificultad se salva recurriendo a correlaciones empíricas, denominadas modelos de fatiga, con los que se pueden definir los límites de tolerancia.

Las dificultades y carencias que presentan las dos formas de analizar el problema, han llevado a que en la actualidad se tienda a una cierta convergencia de procedimientos. En efecto, la adaptación de los denominados métodos empíricos a condiciones diferentes de las existentes en el lugar donde se desarrollaron las pruebas, se realiza por medio de relaciones analíticas, al menos para algunos de los parámetros, de manera de incorporar al modelo las peculiaridades propias de la localidad donde se emplaza el proyecto. La misma imposibilidad de modelar analíticamente y con cierta confiabilidad varios de los factores que influyen en el comportamiento de los pavimentos, ha llevado a que los métodos mecanicistas deban complementarse con ciertas relaciones empíricas.

Como consecuencia de lo señalado, actualmente la mayoría de los métodos para establecer los espesores de las diferentes capas que conforman un pavimento, son del tipo teórico -empíricos. Los métodos de diseño que se incluyen en este Manual, se ajustan a los conceptos enunciados referentes a los procedimientos del tipo teórico - empíricos.

En resumen, el diseñador debe tener siempre presente que en la actualidad, los sistemas para diseñar los pavimentos no pueden considerarse definitivos ya que los estudios, tanto teóricos como experimentales, continúan aportando nuevos conocimientos que obligan a ciertas modificaciones y adaptaciones. Todos los métodos que se presentan en este Manual tienen la característica señalada, de manera que no debe extrañar que para ciertos factores se recomienden procedimientos de evaluación ligeramente diferentes o complementarios a los que se señala en el propio método en su versión original.

De todos los estudios a los cuales hemos hecho referencia más arriba, el factor determinante para el diseño estructural es el tránsito, ya que el mismo constituye el elemento que mayor sollicitación infringe a la estructura vial.

En nuestra región Sudamericana es muy usual la utilización de la Norma de Diseño AASTHO (American Association of State Highway and Transportation Officials). No obstante, otras Normas Americanas y de otro origen son también utilizadas.

Debido a que muchas de las Normas y especialmente las Americanas son generadas para carreteras de altos estándares, y por ende poder utilizarlas adecuadamente en nuestro País, es conveniente utilizarlas con muy buen criterio basado en la experiencia.

Las metodologías de diseño de pavimentos han empezado a formularse a través de métodos empíricos, progresando luego hacia los métodos empírico-mecanicistas y más adelante con la tendencia de lograr métodos íntegramente mecanicistas, también conocidos como métodos racionales o analíticos, en los cuales se pretende el conocimiento íntimo de la naturaleza y funcionamiento de los materiales, con el fin de lograr óptimos dimensionamientos.

Teniendo en cuenta que el tránsito es la determinante para la elección de los métodos de diseño, la siguiente clasificación puede ser tenida en cuenta:

1. Tránsito Alto a Mediano:
 - a. Pavimentos Flexibles:
 - i. Diseño Empírico-Mecanicista
 1. Método AASHTO 1993
 - ii. Diseños Mecanicistas basados en la teoría elástica:
 1. Método Shell 1977
 2. Método del A.I. (Asphalt Institute de EEUU) 1982
 3. Método de la FAA (Federal Aviation Administration EEUU) 1995
 4. Método de la US NAVY
 - b. Pavimentos Rígidos:
 - i. Diseño Empírico-Mecanicista
 1. Método AASHTO
 2. Método PCA (Portland Cement Association)
2. Tránsito Bajo:
 - a. Pavimentos Flexibles:
 - i. Diseño Empírico
 1. Método del Índice de Grupo
 - ii. Diseños Semi-Empíricos
 1. Método CBR o de Porter
 2. Método de Hveem
 3. Método de Texas
 4. Método Morin-Todor (Brasil)
 - b. Pavimentos Rígidos:
 - i. Diseños Empírico-Mecanicistas
 1. Método Westergaard
 2. Método Numérico o de Elem. Finitos

Para la utilización y verificación de estos métodos, existen programas informáticos que son de gran ayuda, entre otros:

1. ELSYM 5: Desarrollado por CHEVRON, EEUU
2. ALIZE III – LCPC – SETRA: Francia
3. BISAR: Desarrollado por SHELL, EEUU
4. KENLAYER: Universidad de Kentucky
5. DEPAV – INPACO: Instituto de Vías, Universidad del Cauca.
6. Y otros como EVERSTRESS, FLAC3D 2.00, Etc.

En esta guía se desarrollan algunos como ser:

A. MÉTODO AASHTO

Los algoritmos originales utilizados por el método derivan de los resultados de pruebas realizadas por la AASHO (AASHO Road Test) entre los años 1958 y 1960, en el estado de Illinois, Estados Unidos. Allí la precipitación promedio anual alcanza a 762 mm, la temperatura media de verano es de 24 ° C y la de invierno de -3 ° C; la profundidad de penetración de la helada es de unos 760 mm y en promedio, se dan alrededor de 12 ciclos anuales de hielo-deshielo, a nivel de una sub base de pavimento. La subrasante de las pistas de prueba estaba formada por suelos del tipo A-6, con CBR entre 2 y 4%.

Para realizar los ensayos se construyeron pistas de prueba con diferentes estructuras, tanto de hormigón como de asfalto, por donde circuló un tránsito controlado que durante los dos años que duró la prueba, se tradujo en unos 10 millones de ejes equivalentes como solicitud máxima. Semana por medio, se fue registrando la serviciabilidad de cada una de las diferentes secciones de prueba, utilizando una escala que asignó serviciabilidad 5 a los pavimentos perfectamente lisos y 0 a los que se consideraron intransitables. Cabe señalar que la serviciabilidad que se asignó en cada ocasión corresponde al promedio de los valores asignados por un panel de usuarios al transitar sobre las pistas.

Las calificaciones sirvieron para establecer curvas representativas del Índice de Serviciabilidad presente de cada tramo y para calcular las solicitudes que se requerían para llevar las estructuras a un nivel de deterioro generalizado; esta base de datos empírica, sirvió para desarrollar el método de diseño AASHTO original, publicado en la Interim Guide en 1972 y 1981. Este concepto se ha conservado sin variación en las versiones publicadas con posterioridad.

En 1986 se desarrolló un modelo ampliado con muchos conceptos nuevos procurando expandir el modelo original de manera que pudiera ser aplicado en otros climas, diseños, materiales y suelos. Con las salvedades que se señalan más adelante y que se refieren al cálculo de los espesores de las capas asfálticas a colocar sobre la base granular, en este Manual se incluye el método para pavimentos flexibles tal como quedó después de las modificaciones aparecidas en la versión de 1986 ó la de 1993, que es completamente similar.

A pesar que las mencionadas versiones de los años 1986 y 1993, introdujeron también importantes cambios en el diseño de los pavimentos rígidos, en el año 1998 se editó una versión suplementaria, que alteró substancialmente el procedimiento allí descrito, aunque siempre conservando sin alterar el concepto de serviciabilidad.

Es esta última versión en la que se basa el método de diseño de pavimentos rígidos que se incluye en este Manual.

Los procesos de cálculo con el uso de este método se irán encontrando más adelante.

B. MÉTODO SHELL

B.1. DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE MÉTODO SHELL

B.1.1. METODOLOGIA

El método SHELL considera la estructura del pavimento como un sistema multicapa linealmente elástico, bajo la acción de las capas del tránsito. Los materiales de la estructura están caracterizados por su módulo de elasticidad de Young (E) y su relación de Poisson μ , estos materiales se consideran homogéneos y las capas horizontales de extensión infinita. El método calcula mediante programas de cómputo

diferentes parámetros de diseño y adicionalmente, los esfuerzos y deformaciones y sus magnitudes máximas y admisibles en cualquier parte de la estructura.

B.1.2. CRITERIOS DE DISEÑO

El método está basado en las características de los materiales, supone el pavimento como una estructura tricapa en la que la capa superior corresponde a la carpeta asfáltica, la intermedia a las granulares y la inferior a la subrasante.

CAPAS ASFALTICAS	$E_1 \quad \mu_1$
CAPAS GRANULARES	$E_2 \quad \mu_2$
SUBRASANTE	$M_r \quad \mu_3$

Grafico 3.2_1. MODELO ESTRUCTURAL TRICAPA

El método SHELL considera que el pavimento puede fallar por alguna de las siguientes circunstancias:

- La deformación vertical de compresión en la subrasante; si ésta es excesiva se producirá una deformación permanente en la subrasante, y esto causará la deformación en la superficie de pavimento.
- La deformación horizontal de tracción en la capa asfáltica, generalmente en la parte inferior; si ésta es excesiva, se producirá el agrietamiento de la capa.
- Otro criterio incluye los esfuerzos y las deformaciones de tracción permisibles en cualquier capa de base cementada y la deformación permanente acumulada en la superficie de pavimento debido a deformaciones en cada una de las capas.

B.1.3. ESTIMACIÓN DEL TRÁNSITO DE DISEÑO

A través de los métodos usuales para los correspondientes a ejes equivalentes de 8,2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

B.1.4. DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA ANUAL PONDERADA DE DISEÑO – TMAP

Por métodos usualmente previstos.

B.1.5. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE

Usando procedimientos corrientes para determinación de CBR característico y sus correspondientes conversiones a Modulo Reciliente (M_r).

B.1.6. TIPIFICACION DE LA MEZCLA ASFALTICA

La Shell considera dos propiedades fundamentales que permiten caracterizar una mezcla asfáltica:

- El módulo de elasticidad dinámico a cortos tiempos de aplicación de carga (Stiffness). Tanto del asfalto (S_{asf}) como de la mezcla (S_{mix}). [S]
- Resistencia de la mezcla a la fatiga o agrietamiento por su flexión repetida bajo la acción de cargas. [F]

Características de rigidez. (S):

En cuanto al Stiffness, el método distingue dos tipos de mezclas:

- Las mezclas de tipo S1: Mezclas de alta rigidez, mezclas densas – (Mezclas cerradas).
- Las mezclas de tipo S2: Mezclas de baja rigidez, mezclas abiertas que contienen un alto contenido de vacíos con aire y un bajo contenido de asfalto (mezclas abiertas).

Características de resistencia a la fatiga. (F):

El método Shell distingue dos tipos de mezclas:

- Las mezclas de tipo F1: Alta resistencia con cantidades moderadas de vacíos con aire y de asfalto. Mezclas con mayor vida en fatiga.
- Las mezclas de tipo F2: Baja resistencia, con altos volúmenes de vacíos con aire. Mezclas con menor vida en fatiga.

Características del cemento asfáltico utilizado.

El método Shell considera únicamente dos tipos de concreto asfáltico para la elaboración de mezclas asfálticas: la penetración de 50 (1/10 mm) que se emplean en climas calientes y los de penetración 100 (1/10 mm) que se emplean en climas fríos.

- 50: Asfalto con penetración original de 50 1/10 mm de consistencia dura. (Representa a los asfaltos AC 40-50, AC 40-60, AC 45-65).
- 100: Asfalto con penetración original de 100 1/10 mm de consistencia blanda. (Representa a los asfaltos AC 80-100, AC 85-100 AC 80-120).

Tipo de mezclas:

Con base en la combinación de características anteriores, el método Shell reconoce para el diseño ocho tipos o códigos de mezclas asfálticas:

S1-F1- 50	S1-F1- 100	S1-F2- 50	S1-F2- 100
S2-F1- 50	S2-F1- 100	S2-F2- 50	S2-F2- 100

- **CÁLCULO DEL ÍNDICE DE PENETRACIÓN Y DEL MÓDULO DINÁMICO DEL ASFALTO - S_{ASF}**

Se pueden hacer uso de software como el BANDS 2.0 de la Shell para definir estos parámetros, utilizando el Módulo Bitumen Stiffness (SBIT).

Datos de entrada para el Módulo Bitumen Stiffness (SBIT),

Método con 2 datos de penetración a determinadas temperaturas.

- Tiempo de aplicación de la carga, t .
- Temperatura de la mezcla, T_{mix} .
- Datos de Temperatura $^{\circ}C$, Penetración 1/10 mm.

B.1.7. DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE LA MEZCLA – S MIX.

También se puede hacer uso del software BANDS 2.0 de la Shell para definir este parámetro, utilizando el Módulo Asphalt Mix Stiffness (S_{mix}).

Datos de entrada para el Módulo Asphalt Mix Stiffness (S_{mix}).

- Módulo Dinámico del Asfalto (S_{mix}) = 11.6 MPa
- Porcentaje del volumen de asfalto, $V_b = 11.0\%$.
- Porcentaje del volumen de agregados, $V_g = 85\%$.

B.1.8. CLASIFICACIÓN DE LA RIGIDEZ DE LA MEZCLA

Con los datos del módulo dinámico del asfalto (N/m^2) y el módulo dinámico de la mezcla (N/m^2), se emplea la Carta M – 1 del Manual de la Shell, para determinar si la mezcla es de alta rigidez alta (S1) o de baja rigidez (S2).

B.1.9. FATIGA DE LA MEZCLA

Para determinar la fatiga de la mezcla asfáltica se debe determinar la deformación admisible de tracción en la fibra inferior de las capas asfálticas (ϵ_{fat}).

Para ello se puede usar el software BANDS 2.0 de la Shell; Módulo Fatigue Life Asphalt (N_{fat}). El módulo requiere como parámetros:

- Porcentaje del volumen de asfalto de la mezcla, V_b
- Módulo dinámico de la mezcla, S_{mix}
- Vida de fatiga, N_{fat}

B.1.10. CALIFICACIÓN DE LA MEZCLA

Con los datos de deformación de la mezcla, ϵ_r y el módulo dinámico de la mezcla S_{mix} (N/m^2), se entra a las cartas M-3 y M-4, del Manual de la Shell y se compara el punto de intersección con la curva de N_{fat} (Tránsito de Fatiga o de diseño) y el punto que esté más próximo a la línea N_{fat} , se toma el código de la carta correspondiente, ya sea F1 o F2.

- Deformación horizontal de la capa asfáltica, ϵ_r
- Módulo dinámico de la mezcla, S_{mix}
- Tránsito de diseño, N_{fat}

Al final de este proceso se encuentra el código para la calificación de la mezcla, por **S1-F1-100**

B.1.11. DIMENSIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

Selección de la carta de diseño.

Con los datos del módulo de la subrasante en N/m², el código de la mezcla S1-F1-100 y el tránsito de diseño Ndis, se selecciona la carta de diseño, con ayuda de la carta HN, del Manual de la Shell.

Datos de entrada Carta HN:

- Módulo resiliente de la subrasante
- Temperatura media anual ponderada
- Tránsito de diseño, Ndis
- Código de la mezcla de diseño, por ej. S1-F1-100

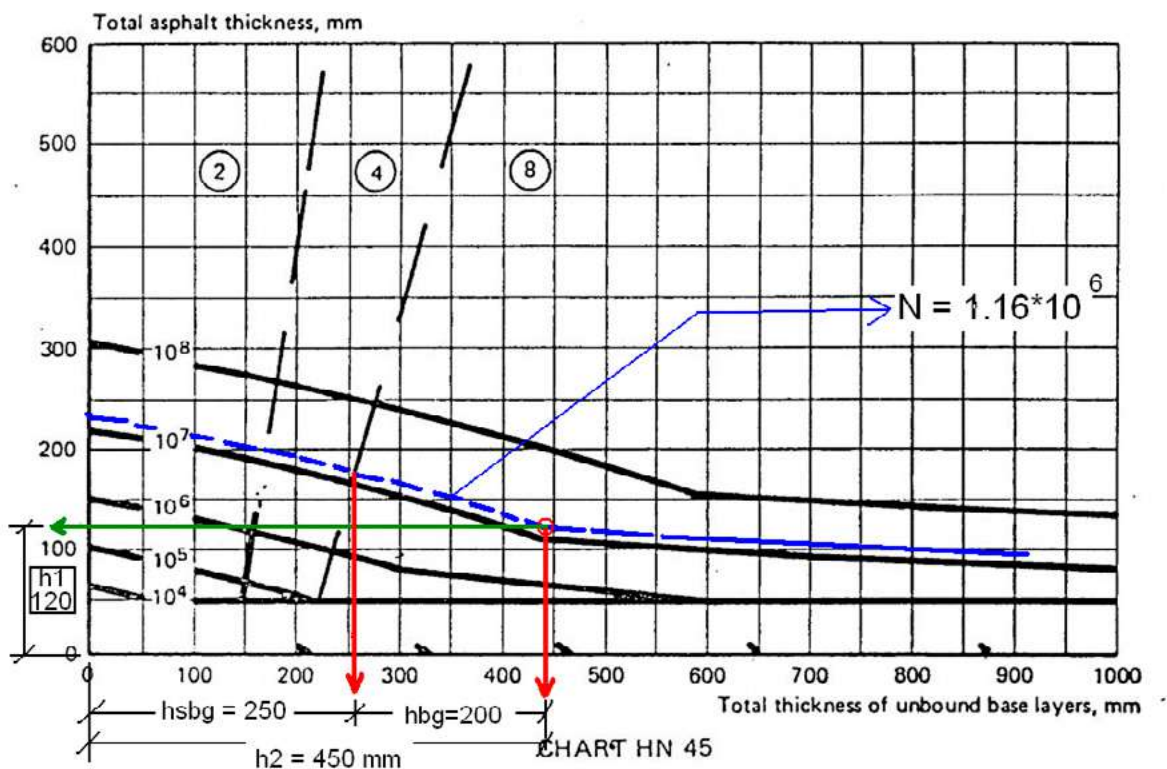
Como resultado de este procedimiento se encontró que la Carta de diseño es por ejemplo la: HN-45 es la que más se aproxima en referencia a la TMAP y al módulo resiliente de la subrasante del diseño en cuestión.

Determinación de los espesores.

Una vez establecido que la carta que más se ajusta a los factores de diseño es por ejemplo la HN-45, se procede a determinar los espesores de las capas de la estructura del pavimento con el siguiente procedimiento:

- Se interpola la curva de Ndis.
- La curva Ndis presenta dos secciones: La sección circular representa la deformación vertical de la subrasante y la sección recta la deformación por tracción de las capas asfálticas.
- De la curva interpolada Ndis se determina el punto de quiebre, donde la curva pasa de circular a tangente, este punto de quiebre se lleva a las abscisas y se determina el espesor total de las capas granulares h₂.
- El punto de quiebre se proyecta a las ordenadas y se determina el espesor total de la capa asfáltica.
- El espesor de las capas granulares h₂, se puede descomponer en capas dependiendo del valor del módulo dinámico del material, el cual aparece en círculo en la carta de diseño, con los números 2, 4 y 8, que corresponde al módulo del material granular en 10⁸ N/m². Para el proyecto suponemos que disponemos de material de base granular con módulo de 8 * 10⁸ N/m².
- El espesor de cada una de las capas granulares se determina proyectando en las abscisas el punto de intersección de la curva de Ndis con las rectas que aparecen en la carta de diseño, de manera que h₂ se puede descomponer en h_{sbg} de la subbase granular y en h_{bg} de la base granular.

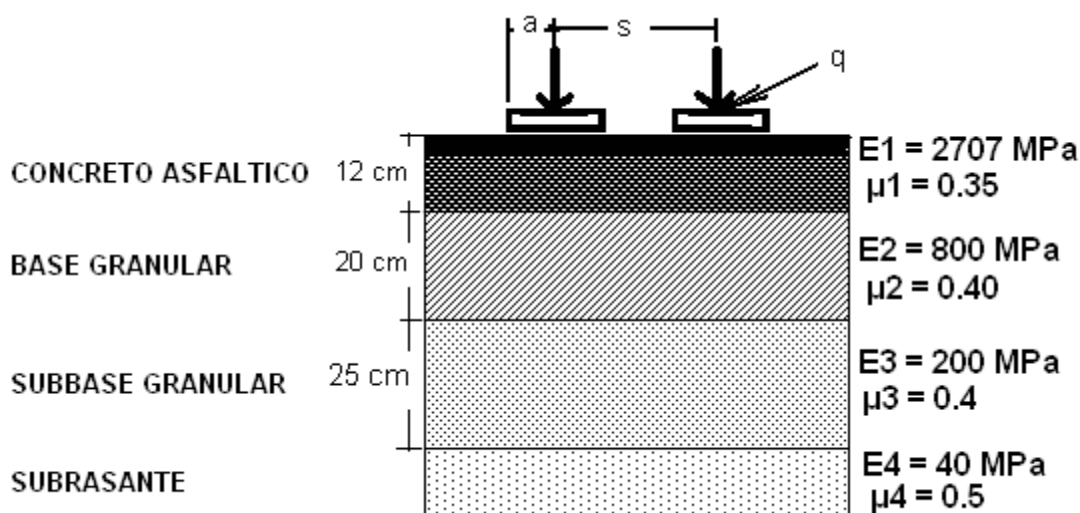
El procedimiento se puede visualizar en la siguiente ilustración de la Carta HN – 45.



Con los espesores definidos y los parámetros de carga se establece el modelo estructural, para comprobar esfuerzos, deformaciones y deflexiones en la estructura diseñada.

B.1.12. MODELO ESTRUCTURAL

- Radio de carga, a (m)
- Presión de contacto, q (MPa)
- Separación entre ejes, s (m)
- Nc para calcular $\epsilon_z \text{ adm} = 85\%$ (Criterio Shell).



CORRELACIÓN DE UNIDADES PARA LOS MODULOS DE LAS CAPAS			
MÓDULO	N/m ²	MPa	Kg/cm ²
E1	2.62 * 10 ⁹	2620	26707
E2	8 * 10 ⁸	800	8155
E3	2 * 10 ⁸	200	2039
E4	4 * 10 ⁷	40	408

A continuación se pueden calcular los esfuerzos, deformaciones y deflexiones de la estructura utilizando por ejemplo el PROGRAMA CEDAP.

- bajo una rueda simple
- bajo una de las llantas de la rueda doble
- bajo el centro de la rueda doble

Esfuerzos, deformaciones y deflexiones admisibles se pueden calcular utilizando por ejemplo el programa cedap.

Finalmente se realiza la comparación de solicitaciones de servicio con las admisibles, para tener el diseño del modelo estructural definido y aprobado.

C. MÉTODO MORIN TODOR

Para el diseño de estructuras del tipo tratamientos superficiales, se ha adoptado el procedimiento denominado Tropical Procedures for Flexible Pavements, desarrollado por W.J. Morin y Peter Todor. El estudio, patrocinado por la United States Agency for International Development, fue realizado en Brasil y estuvo orientado principalmente a subrasantes constituidas por suelos tropicales, pero también puede aplicarse en climas templados, siempre que no exista penetración de la helada en el suelo.

El procedimiento que aquí se describe corresponde a un método teórico - empírico, puesto que fue desarrollado en base a las relaciones que se detectaron entre el comportamiento de una estructura y las deflexiones medidas y entre éstas y la capacidad estructural de cada una de las diversas capas que conforman el pavimento.

Por último, debe señalarse que la inclusión en el Manual de un determinado procedimiento de diseño, no significa que se esté impidiendo que por razones justificadas y previa aceptación de la Dirección de Vialidad, no se puedan utilizar otros procedimientos de reconocido prestigio.

D. CRITERIOS Y PARÁMETROS DE DISEÑO

Los métodos de diseño en general y los empíricos en particular, permiten diseños exitosos siempre que se respeten ciertas condiciones o características que se encuentran implícitas en ellos. Algunos de los conceptos más importantes a tener presente cuando se diseña son los que se enumeran a continuación:

D.1. CONCEPTO INTEGRAL DE UN BUEN DISEÑO

En un contexto integral, un pavimento bien diseñado no es el que resulta únicamente de determinar correctamente los espesores que requieren las diferentes capas de una estructura mediante un cálculo repetitivo, utilizando las relaciones que indican los métodos. El buen diseño resulta de representar en el modelo, un conocimiento completo de todos los factores que se deben valorizar, en especial las propiedades y comportamiento de los suelos locales y del clima y teniendo como referencia experiencias de otras obras que estén prestando un servicio satisfactorio.

Además, todo ello debe reflejarse en las especificaciones de construcción que se preparen especialmente para el proyecto.

D.2. MODULO RESILIENTE

El módulo resiliente (MR) es el parámetro utilizado para representar las propiedades de los suelos de la subrasante en el diseño de pavimentos asfálticos según el método AASHTO. Se determina mediante un ensayo triaxial cíclico sobre una probeta sometida a una carga pulsante de duración definida. Una de las principales características de este ensayo es que numerosos estudios e investigaciones evidencian que los resultados que arroja son muy sensibles al estado de tensiones a que se encuentra sometido el

suelo y que además, influyen factores tales como el contenido de humedad y el espesor de la capa que se analiza.

Normalmente resulta complicado ejecutar el ensayo descrito puesto que se requiere de equipo de laboratorio muy especial. En consecuencia, habitualmente se determina el MR en forma indirecta, correlacionándolo con el ensayo CBR. Este es el procedimiento que se aplica en este Manual, sin embargo, debe tenerse presente que por lo señalado más arriba, cualquier sistema de cálculo que no incluya las presiones de confinamiento, sólo puede considerarse como una aproximación al valor real.

D.3. MÓDULOS ELÁSTICOS DE CAPAS SUCESIVAS

Los métodos de diseño presuponen que los módulos elásticos de las capas son crecientes desde la subrasante hacia la superficie, de manera que siempre debe estructurarse considerando esa condición. En ciertas rehabilitaciones, una capa no ligada de mayor módulo puede quedar intercalada entre otras de menor, pero se debe ser extremadamente cauteloso al suponerle las condiciones en que trabajará; nunca deben ser superiores a las asignadas a la capa que le sigue hacia arriba.

Los análisis tanto teóricos como prácticos, demuestran que el módulo elástico de una capa no tratada, no es independiente del módulo de la capa subyacente, de manera que él no sólo depende de las propiedades del material que conforma la capa. Los factores que intervienen en el módulo elástico son principalmente, el módulo elástico del suelo subyacente, las propiedades del suelo que conforma la capa, el espesor y el grado de confinamiento a que se encuentra sometida.

Como consecuencia de la condición expuesta, en la estructuración de pavimentos flexibles no deben colocarse en forma sucesivas capas de suelos no ligados con módulos elásticos muy diferentes, pues el comportamiento de una capa con módulo elástico alto no será el que estrictamente le hubiere correspondido si ella se apoya sobre un suelo con módulo elástico muy inferior. En la práctica, se recomienda estructurar los pavimentos flexibles incluyendo una capa superior de mejoramiento de la subrasante (tanto para terraplenes como en cortes) cuando los suelos que la conforman tengan un CBR = 10% (aprox. $MR \leq 77$ MPa). Esta capa de mejoramiento deberá tener un espesor no inferior a 300 mm y de preferencia ser granular (según clasificación AASHTO) con un CBR $\geq 15\%$. La influencia de esta capa en el MR representativo de la subrasante en ese punto, puede calcularse con la *ec. 16_1*. Alternativamente, también en vez de la capa de suelo puede utilizarse mejorar la subrasante por medio de telas geotextil colocada inmediatamente debajo de la subbase; en ese caso deben diseñarse según los criterios expuestos en la Sección 3.2.1.4.

Los conceptos expuestos deben utilizarse en la generalidad de los casos, no obstante lo cual, para situaciones muy excepcionales debidamente justificadas, pueden aplicarse criterios diferentes, tales como utilizar base tratadas o ligadas o diseñar capas asfálticas en todo el espesor (full depth asphalt).

D.4. PROFUNDIDAD A QUE AFECTAN LAS SOLICITACIONES

Hasta hace poco tiempo, las solicitaciones que afectan a los pavimentos se simulaban aplicando cargas estáticas de magnitudes similares a las que se dan en la práctica. Esos ensayos mostraban que la acción de la carga no tenía mayor significación por debajo de unos 0,9 a 1,0 m de profundidad. Con el advenimiento de los deflectómetros de impacto, que simulan muy bien las condiciones dinámicas reales que generan las cargas, se ha podido establecer que la influencia alcanza a profundidades significativamente mayores a las detectadas con cargas estáticas. Aun cuando en estricto rigor, la influencia de un estrato subyacente depende de la profundidad a que se encuentra y de la capacidad soporte que presenta (a menor capacidad mayor influencia), se puede aceptar en forma simplificada que en pavimentos flexibles la influencia alcanza hasta unos 2 m por debajo de la rasante y hasta cerca de 3 m en los rígidos.

D.5. ASFALTOS ELASTOMÉRICOS

Este tipo de asfaltos, que se obtiene al modificar el cemento asfáltico con un polímero, resultando un ligante de características geológicas mejoradas, presenta ventajas al utilizarlo en zonas de temperaturas ambientales extremas. Con el método de diseño AASHTO no puede diferenciarse el diseño respecto a un asfalto normal, pero las especificaciones de construcción deben ajustarse de manera de considerar las peculiaridades propias de este material, en especial cuando se colocan en zonas frías.

D.6. LOCALIZACIÓN DE MATERIALES

Como parte de un buen diseño, es necesario que el proyectista indique las disponibilidades locales de materiales que se ajustan a los requerimientos que impone el diseño. Sin que la siguiente enumeración sea exhaustiva, el proyecto debe señalar donde se pueden encontrar suelos que cumplan con lo especificado para terraplenes y demás rellenos, cuáles serían las fuentes para preparar sub bases, bases y capas de pavimentos, en especial asegurándose que cumplen con los correspondientes desgaste Los Ángeles, donde se localizan agregados pétreos para confeccionar hormigones y cuáles son sus características, cual es la disponibilidad de agua para preparar hormigones y para humedecer suelos, etc.

SECCION 3.2.2.2.

CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO

3.2.2.2.1. OBJETIVOS Y ALCANCES

En este Numeral se entregan los conceptos más importantes que permiten caracterizar los parámetros que influyen en el diseño de los pavimentos. En general, se detallan conceptualmente los alcances de los parámetros que presentan condiciones o características iguales o similares tanto para el diseño de pavimentos flexibles como rígidos; los demás parámetros que intervienen en el diseño de uno u otro tipo de pavimento, se caracterizan en los Numerales destinados a describir específicamente los cálculos para el diseño de los diferentes tipos de pavimentos.

3.2.2.2.2. TRÁNSITO

A. GENERALIDADES

Por los caminos y carreteras circula una amplia variedad de vehículos, de dimensiones, pesos, tipos y configuraciones de ruedas muy diferentes, que transmiten cargas de muy distinta índole y que se distribuyen de manera no uniforme a todo el ancho de la superficie pavimentada.

Los procedimientos de diseño consideran esta variedad de solicitudes, su distribución en la superficie del pavimento y la variación que experimentarán durante el periodo de vida de la estructura. Las solicitudes inducidas al pavimento por el tránsito es el factor individual más importante para establecer las dimensiones y características que debe tener un pavimento para soportar en condiciones adecuadas y por un período determinado.

B. FACTOR DE EJES EQUIVALENTES

Uno de los principales aportes del ensayo AASHO Road Test, fue establecer un procedimiento para transformar los diferentes tipos y pesos de ejes que circulan por un camino, a un eje patrón único. El sistema ideado en esa prueba ha demostrado su conveniencia, a tal punto que la mayoría de los métodos y análisis desarrollados con posterioridad han adoptado tanto el concepto como el procedimiento de cálculo.

AASHTO transforma los diferentes ejes que circulan por una ruta, a un eje simple de rueda doble (E.S.R.D) de 80 KN (18 Kips) de peso, considerado como eje patrón. El factor de equivalencia es el cociente que resulta entre el número de ejes de una configuración y peso, necesarios para originar una determinada pérdida de serviciabilidad, respecto del número de ejes de patrón requeridos para producir la misma pérdida de serviciabilidad; el valor de este cociente es el Factor de Ejes Equivalentes.

Las fórmulas AASHTO permiten determinar factores para ejes simples de rueda doble, ejes dobles (tandem) de rueda doble y ejes triples (tridem) de rueda doble (no se incluyen procedimientos para los ejes con ruedas simples). El Factor de Ejes Equivalentes se expresa conceptualmente como sigue:

Factor EEx= (Número de ejes de X peso (kN) que causan determinada pérdida de servic.)

(Número de ejes de 80N que causan la misma pérdida de servic.)

Cada estructura responde de manera distinta ante una misma solicitud, de manera que el Factor EE varía para distintas características del pavimento; influyen principalmente el Número Estructural en los pavimentos flexibles, el espesor en los rígidos y las serviciabilidades, inicial y final, que se adopten. En consecuencia, en estricto rigor, el cálculo de los ejes equivalentes solicitantes debería ser un proceso tentativo y reiterativo, que sólo se detendría cuando los factores de ejes equivalentes sean efectivamente los correspondientes al número estructural definitivo en los pavimentos flexibles y al espesor de la losa en los rígidos (conjuntamente con el índice de serviciabilidad final); el cálculo debiera aplicarse a cada uno de los ejes de los vehículos que circulan por la carretera.

El procedimiento estricto resulta bastante engorroso y poco expedito, de manera que en la práctica, se introducen algunas simplificaciones que no representan alteraciones significativas en la determinación final de los espesores.

Así, se ha establecido que si se calculan los Factores de Equivalencia de los pavimentos flexibles y rígidos, para un Numero Estructural igual a 120 mm (5") y un espesor de losas de hormigón de 230 mm (9"), respectivamente, los resultados no son demasiado diferentes de los valores calculados para otras situaciones, de manera que es perfectamente aceptable utilizarlos para pavimentos con un Número Estructural o espesores de losas, diferentes.

Tampoco se altera significativamente el resultado, si en vez de calcular para cada eje en forma individual, ellos se agrupan por rangos de pesos. Se crea así una estratificación por pesos, para cada uno de los tres tipos de ejes que se utilizan en los métodos de diseño. **Los Gráficos 24_1, 25_1, 26_1 (Factores de ejes equivalentes Ejes simples, dobles y triples) (Ver Anexo B)** muestran los factores de ejes equivalentes para una amplia estratificación de pesos de los ejes, tanto para pavimentos flexibles como para rígidos y para serviciabilidades finales de 2,0 y 2,5. Fueron calculados para las condiciones simplificadas señaladas antes y son para el peso promedio de cada rango.

Las solicitaciones para los efectos de determinar espesores serán los ejes equivalentes (EE) acumulados que circularán por la pista de diseño, durante el periodo que se hubiere escogido como vida útil de diseño del pavimento. Los factores de ejes equivalentes para los pesos de los ejes del denominado tránsito liviano, automóviles y camionetas, son muy pequeños de manera que en la práctica se desprecian.

Los Gráficos 27_1, 28_1, 29_1 (Formulario para calcular ejes equivalentes Ejes simples, dobles y triples) (Ver Anexo B) muestran formularios destinados a uniformar la presentación de los cálculos de los ejes equivalentes (EE) por vehículo cuando se dispone de resultados de pesajes. Esos antecedentes deben procesarse separadamente para cada dirección de circulación, especialmente en caminos que sirven de accesos a los puertos, industrias importantes y otros casos similares. En el formulario se agrupan en un sólo lote todos los camiones de más de dos ejes, es decir, múltiples y los buses se presentan separados en urbanos (microbuses y taxibuses) e interurbanos. Sin embargo, existen situaciones en que pudiera resultar aconsejable aumentar la desagregación de los camiones, en especial cuando se esperan tasas de incremento diferentes para distintos tipos de camiones. En otros casos puede resultar innecesario mantener desagregados los buses en dos categorías; tal es el caso de los caminos rurales importantes donde la cantidad de buses urbanos es poco significativa.

Como información general, en el **Gráfico 30_1 Formulario para calcular ejes equivalentes para diseño (Ver Anexo B)** se entregan, para ser utilizados sólo cuando no se disponga de datos más específicos. Los valores incluidos en esta Tabla parecen representar bien las características del tránsito en caminos importantes, pero no resultan tan confiables para caminos secundarios; también existen evidencias que los pesos serían mayores que los medidos en sectores de la red alejados de los puntos de control.

B.1. TRÁNSITO MEDIO DIARIO ANUAL (TMDA)

El tránsito medio diario anual (TMDA) es el indicador que define el total de vehículos que circula como promedio diario en un año. Si del TMDA se resta el tránsito liviano, quedan sólo los camiones y buses, que son los que interesan para el diseño de los pavimentos. El tránsito pesado medio diario anual, TMDAC, es el indicador adecuado para calcular las solicitaciones de diseño sólo cuando no existen variaciones estacionales significativas en los demás parámetros que intervienen en el comportamiento del pavimento; si ello no es así, como por ejemplo, en zonas donde en invierno existe penetración de la helada en el suelo de la subrasante o cuando existan variaciones significativas del nivel freático, el TMDAC debe desagregarse dividiendo el año en periodos durante los cuales los otros factores se mantienen sensiblemente constantes.

B.2. TASAS DE CRECIMIENTO

El cálculo de las solicitaciones para diseño debe considerar que habitualmente el TMDA varía año a año, por lo que se debe contar con un estudio previo que determine las tasas de variación del volumen de tránsito, normalmente diferentes para cada tipo de vehículo.

El estudio de la demanda debe considerar principalmente las tendencias históricas de los flujos, expresadas como proyecciones ligadas a variables macroeconómicas, tasas de motorización y otras. Eventualmente, cuando sea necesario, debe analizar las peculiaridades dentro del área de influencia que estén asociadas a la evolución del sistema de actividades y examinar los componentes de los flujos determinando cual es el tránsito normal, el reasignado y el generado.

Un aspecto que debe cuidarse al proyectar el tránsito, en especial en caminos bidireccionales, es la posibilidad de saturación que puede presentarse dentro de la vida de diseño del pavimento. Esta situación suele ocurrir cuando al año de puesta en servicio de la obra se proyectan flujos importantes o se utilizan tasas de crecimiento altas, por lo que conviene comprobar que no se alcance dentro del horizonte de diseño, flujos incompatibles con la capacidad de la ruta; una sobrevaloración de las solicitudes implica una mayor inversión inicial innecesaria. Para los efectos de establecer las solicitudes a utilizar en el diseño del pavimento, la capacidad debe determinarse de acuerdo a los procedimientos y criterios utilizados normalmente para el volumen horario correspondiente al Nivel de Servicio D, salvo situaciones especiales debidamente autorizadas por la Dirección de Vialidad.

B.3. FACTOR DE PISTAS DE DISEÑO

Normalmente la pista de diseño corresponde a la pista externa del pavimento, por la que circula la fracción más importante del TMDAC. En carreteras de dos pistas, una en cada sentido, se acepta que la pista de diseño soporta la mitad del TMDAC; en carreteras unidireccionales con dos o más pistas en cada dirección, el tránsito en la pista de diseños algo menor que la mitad del TMDAC, siendo la distribución una función de la magnitud del TMDA.

La forma en que se distribuye el tránsito pesado por las diferentes pistas se indica en la **Tabla 3.2_6**; los porcentajes derivan de conteos efectuados en 129 lugares de los Estados Unidos, por lo que corresponden a la distribución efectiva que se produce con los respectivos TMDA por dirección. Para los efectos del diseño, se recomienda utilizar el factor que corresponda según el TMDA por sentido que se dará aproximadamente a la mitad de la vida de diseño del pavimento.

Tabla 3.2_6. DISTRIBUCION PORCENTUAL DEL TRANSITO PESADO EN CARRETERAS UNIDIRECCIONALES DE DOS Y MÁS PISTAS

TMDA Por dirección	2 PISTAS		3 o MAS PISTAS		
	Interna	Externa	Interna ¹	Central	Externa
2.000	6	94	6	12	82
4.000	12	88	6	18	76
6.000	15	85	7	21	72
8.000	18	82	7	23	70
10.000	19	81	7	25	68
15.000	23	77	7	28	65
20.000	25	75	7	30	63
25.000	27	73	7	32	61
30.000	28	72	8	33	59
35.000	30	70	8	34	58
40.000	31	69	8	35	57
50.000	33	67	8	37	55
60.000	34	66	8	39	53

70.000	--	--	8	40	52
80.000	--	--	8	41	51
100.000	--	--	9	42	49

Porcentaje combinado para una o más pistas

El Gráfico 30_1 Formulario para calcular ejes equivalentes para diseño (Ver Anexo B) es un formulario que tiene por finalidad uniformar la presentación de los cálculos de los ejes equivalentes (EE) solicitantes para los efectos del diseño. Incluye los vehículos livianos y el TMDA total por sentido, aún cuando no tienen relación directa con el cálculo de las solicitaciones, como una manera de permitir una mejor visualización de posibles congestionamientos y facilitar la elección del factor de pista.

Comportamiento del pavimento (Integridad)

El comportamiento de un pavimento es la medida de la calidad del servicio funcional y estructural que presta durante un periodo determinado. Los usuarios califican subjetivamente la calidad funcional, interesándose principalmente la suavidad de la superficie, la seguridad que se refleja en la textura superficial (coeficiente de deslizamiento) y el aspecto general de la obra. Al técnico debe interesarle además, el comportamiento estructural, que es la capacidad del pavimento para soportar las cargas que impone el tránsito y resistir los efectos del medio ambiente.

El comportamiento o integridad funcional y el estructural, están ligados entre sí, pero no son completamente interdependientes; el deterioro estructural se manifiesta hasta cierto punto como una disminución de la calidad funcional, pero algunos tipos de deterioro pueden alcanzar etapas bastante avanzadas sin que el usuario lo detecte. También es posible un aumento del deterioro funcional sin que se experimente un cambio estructural significativo; tal es el caso de una disminución del coeficiente de deslizamiento.

El método de diseño AASHTO utiliza el denominado Índice de Serviciabilidad (p) para representar la evolución del comportamiento de un pavimento. Este indicador, definido a partir de apreciaciones subjetivas realizadas por un panel de usuarios, mide la irregularidad superficial, el agrietamiento, los parches y en el caso de pavimentos flexibles, el ahuellamiento.

Consecuentemente, la condición de un pavimento en un determinado momento, se define mediante el Índice de Serviciabilidad Presente (p_a) que se calcula mediante relaciones matemáticas, una para pavimentos flexibles y otra para rígidos.

En la actualidad el (p_a) se utiliza poco pues existe la tendencia a reemplazarlo por un indicador objetivo de las irregularidades superficiales, desarrollado por el Banco Mundial, conocido por su sigla en inglés IRI (International Roughness Index) y que habitualmente se traduce como el Índice de Rugosidad Internacional. Su popularización se debe a que es el mejor indicador disponible para representar en forma resumida la condición en que se encuentra un pavimento.

La conveniencia de evaluar el estado en que se encuentran los pavimentos midiéndoles el IRI, por una parte y de diseñar de acuerdo con el método AASHTO, por otra, conlleva la necesidad de disponer de una relación entre ambos indicadores. Estudios realizados en diferentes partes del mundo, han propuesto distintas relaciones entre el IRI y el (p_a), las que, salvo excepciones, arrojan resultados bastante similares. En este Manual se proponen las relaciones establecidas en un estudio teórico realizado en el país, que tuvo en consideración la calibración de las relaciones de la AASHTO y que son las siguientes (IRI en m/km ó mm/m):

Pavimentos flexibles	$p_a = 5,85 - 1,68 \text{ IRI}^{0,5}$	(ec. 7_1)
Pavimentos rígidos	$p_a = 7,10 - 2,19 \text{ IRI}^{0,5}$	(ec. 8_1)

“Estas relaciones sólo tienen validez en tanto el IRI inicial o de construcción no resulte muy superior a unos 1,5 m/km. Cuando no se dan esas condiciones, pueden existir evoluciones muy diferentes entre ambos indicadores. La Dirección de Vialidad podrá efectuar las modificaciones a ellas que estime pertinentes, según las evoluciones de la auscultación encontradas en los distintos caminos de la red del país”.

Considerando los valores de índice de p_i (índice de serviciabilidad inicial) que se obtuvieron en las pistas para la prueba AASHTO, este método de diseño que en realidad es un algoritmo para calcular la evolución del deterioro del pavimento, utiliza para el estado inicial un Índice de Serviciabilidad Inicial, $p_i = 4,2$ para pavimentos flexibles y $p_i = 4,5$ para los rígidos. De acuerdo con ellos las ec. 7_1 y 8_1, dan valores del IRI inicial de 0,96 y 1,41 m/km, para asfalto y hormigón respectivamente.

Si mediante procedimientos constructivos muy precisos, se logran pavimentos con menos irregularidades o más bien p_i mayores a los obtenidos en la prueba AASHTO, no existe ningún impedimento para diseñar adoptando valores más altos para este parámetro.

B.4. CONFIABILIDAD

B.4.1. DEFINICIONES

Uno de los problemas más complicados que se debe enfrentar al diseñar es la variabilidad de prácticamente todos los factores que intervienen tanto en el diseño como en el comportamiento, mantenimiento y rehabilitación de los pavimentos.

Tradicionalmente las incertidumbres en los diseños han sido absorbidas mediante coeficientes de seguridad, definidos en base a la experiencia y el buen juicio. Sin embargo, el sistema de aplicar coeficientes de seguridad puede llevar a sobre o subdimensionamientos, dependiendo de los valores que se utilicen como coeficientes de seguridad y de la sensibilidad del diseño.

Se evitan los inconvenientes señalados, si para abordar las incertidumbres se utilizan factores de seguridad que reflejen la variabilidad estadística asociada a cada uno de los parámetros que intervienen en el diseño. AASHTO utiliza para ese propósito cuatro indicadores estadísticos; el promedio aritmético, el rango (diferencia entre los valores extremos), la desviación estándar (medida de la dispersión de los valores individuales respecto del promedio) y el coeficiente de variación (relación entre la desviación estándar y el promedio).

Como la calidad y el comportamiento del diseño están estrechamente ligados a la variabilidad de los materiales, del tránsito, del clima y de otros factores, existe la probabilidad que el diseño presente una falla. La probabilidad de falla es, por supuesto, igual a 1 menos la probabilidad de tener éxito y esto último no es otra cosa que la confiabilidad del diseño.

Confiabilidad, según AASHTO, es la probabilidad que la estructura de un pavimento se comporte de acuerdo a lo esperado durante el periodo de diseño y bajo las condiciones ambientales prevalecientes en el lugar. El nivel de confianza es la probabilidad que la serviciabilidad real del pavimento sea igual o mayor que la esperada para las condiciones prevalecientes. El factor de confiabilidad (F_R) del diseño se expresa como:

$$\text{Log } F_R = - Z_R \cdot S_0 \quad \text{ó} \quad F_R = 10^{-Z_R \times S_0} \quad (\text{ec. 9}_1)$$

En que:

F_R : factor de confiabilidad

Z_R : valor asociado al nivel de confianza de la distribución normal

S_0 : desviación normal del error combinado

Z_R es un factor estadístico que depende únicamente del nivel de confianza que se adopte para el diseño. La **Tabla 3.2_7** incluye los valores de Z_R para diferentes niveles de confiabilidad (R).

Tabla 3.2_7. DESVIACIÓN ESTANDAR NORMAL PARA DIFERENTES NIVELES DE CONFIANZA

NIVEL DE CONFIANZA R (%)	COEFICIENTE ZR
50	- 0,000
60	- 0,253

70	- 0,524
75	- 0,674
80	- 0,841
85	- 1,037
90	- 1,282
95	- 1,645
99	- 2,327

La desviación normal del error combinado (S_0) abarca las varianzas estimadas para cada uno de los factores asociados con la predicción del modelo, respecto del comportamiento del pavimento, incluyendo la varianza de la predicción del tránsito solicitante.

Los estudios y análisis realizados por AASHTO concluyeron que incluyendo todos los factores, el S_0 alcanza a 0,39 para pavimentos rígidos y 0,49 para los flexibles; si no se incluye como factor la predicción del tránsito, los valores de S_0 son de 0,34 para pavimentos rígidos y 0,44 para los flexibles (En el cálculo que incluye todos los factores, AASHTO da un margen de error en las predicciones del tránsito de $\pm 2,5$ veces la media).

De todos los factores que intervienen en la predicción del comportamiento del pavimento, es en la estimación de las solicitaciones donde el proyectista puede con mayor facilidad ajustarse a previsiones con la menor probabilidad de error. La variación en los EE que realmente se acepta en un diseño se puede determinar, aproximadamente, con la siguiente relación:

$$\text{Log (EE dis)} = \text{log (EE presupuestados)} - Z_R \cdot S_0 \quad (\text{ec. 10}_1)$$

La **ec. 10_1** significa que, por ejemplo, si el promedio de las estimaciones de EE que solicitarán el pavimento es de 10 millones, el nivel de confianza es del 80% y se acepta que la desviación normal del error combinado es 0,49, el diseño tolera efectivamente lo siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Log (EE dis)} &= \text{log (10.000.000)} + 0,841 \cdot 0,49 \\ \text{EE dis} &= 25.827.954 \end{aligned}$$

Por el contrario, si mediante un muy buen estudio de la demanda se determina que las solicitaciones serán de unos 10 millones y que es muy improbable que en la práctica ellas resulten más del doble de las estimadas, entonces aplicando la **(ec. 10_1)** se tiene:

$$\begin{aligned} \text{Log (20.000.000)} &= \text{log (10.000.000)} - Z_R \cdot S_0 \\ Z_R \cdot S_0 &= 0,301 \\ \text{El valor permite definir el factor de confiabilidad FR según (ec. 9}_1) \\ F_R &= 10^{-Z_R \cdot S_0} = 2,0 \end{aligned}$$

El procedimiento descrito es conceptualmente correcto, pero tiene algunas limitaciones ya que la pérdida de serviciabilidad que experimenta un pavimento no es sólo función del tránsito; también intervienen otros factores no asociados con las solicitaciones. Por consiguiente, se recomienda utilizar este análisis con precaución y en ningún caso adoptar valores del S_0 inferiores que 0,30 para pavimentos rígidos y 0,40 para los flexibles (valores deducidos de las condiciones existentes en la prueba AASHTO).

B.4.2. CRITERIOS PARA SELECCIONAR LA CONFIABILIDAD

La selección del nivel de confianza adecuado para cada oportunidad dependerá del tipo de proyecto y de los riesgos que se esté dispuesto a aceptar. En una ruta muy transitada normalmente es indeseable tener que cerrarla o aún restringir el uso con cierta frecuencia, como consecuencia de que se presentan fallas que requieren de labores de mantenimiento asociadas con espesores inadecuados del pavimento.

Por otra parte, en una ruta poco conflictiva, puede resultar económicamente atractivo construir inicialmente un pavimento más delgado aun cuando se requiera posteriormente más mantenimiento.

La mejor manera de establecer los niveles de confianza, es analizando la confiabilidad inherente de un número importante de pavimentos en servicio. Este fue el procedimiento utilizado por AASHTO para definir los niveles de confianza que recomienda. Los resultados de ese análisis fueron los siguientes:

- La desviación normal del error combinado (S_0) se estimó, para el caso en que se consideraba la varianza de la proyección del tránsito, en 0,39 para pavimentos rígidos y 0,49 para los flexibles.
- La desviación normal del error combinado (S_0) se estimó, para el caso en que no se considera la varianza de la proyección del tránsito, en 0,34 para pavimentos rígidos y 0,44 para los flexibles.

Los valores superiores del S_0 concuerdan con la mejor estimación que se pudo lograr en la proyección del tránsito. En consecuencia, si por medio de estudios cuidadosos de la demanda se obtienen proyecciones más exactas para el tránsito futuro, es perfectamente posible adoptar valores del S_0 comprendidos entre los extremos señalados; esto es particularmente cierto para caminos con un largo historial.

Asimismo, en los cálculos, AASHTO utilizó un coeficiente de variación del 15 % para la serie de valores representativos de las características de los suelos de la subrasante; consecuentemente, dispersiones diferentes a la supuesta, modifican también el valor de S_0 .

Cuando se proyecte la construcción de pavimentos por etapas se debe considerar la confiabilidad total que se obtendrá. Si se supone que la probabilidad que una determinada etapa de construcción dure la vida de diseño, es independiente de la otra etapa, la probabilidad combinada ó confiabilidad total de que todas las etapas duren las respectivas vidas de diseño, será el producto de las confiabilidades individuales de cada etapa. Consecuentemente, para obtener una determinada confiabilidad total (R_T) en una construcción por etapas, se debe aplicar la siguiente relación para establecer la confiabilidad (R_E) de cada etapa:

$$R_E = (R_T)^{1/n} \quad \text{(ec. 11_1)}$$

En que n es el número de etapas, incluyendo la de la construcción inicial del pavimento.

Los niveles de confianza que se recomiendan para los diseños de los casos normales se indican más adelante.

– Subrasante

(1) Consideraciones generales

El método AASHTO para pavimentos flexibles, caracteriza los suelos de la subrasante mediante el módulo elástico que denomina módulo resiliente (M_R), que se determina según la norma AASHTO T 294-92. Es una medida de las propiedades elásticas del suelo, que a pesar de las dificultades que acarrea el hecho de presentar ciertas características no lineales, es un parámetro fundamental para ser utilizado en análisis mecanicistas de sistemas multicapas.

Existen varios procedimientos para determinar el módulo elástico de un suelo. Los distintos procedimientos dan resultados diferentes, debido a la influencia que ejercen las condiciones especificadas para el ensayo y muy especialmente al grado de confinamiento a que se encuentra la muestra. El M_R debe calcularse tal como ha sido definido, por lo que siempre es conveniente asegurarse que los valores a utilizar corresponden efectivamente a lo especificado para el método AASHTO.

El ensayo de laboratorio para determinar el M_R requiere de equipos muy especializados, personal entrenado y consume un tiempo significativo, de manera que en la mayoría de las ocasiones no es posible o no resulta práctico realizar este ensayo, por lo que se recurre a estimarlo mediante correlaciones con otros ensayos. Más adelante en este Manual, se entregan relaciones que permiten estimar el valor del módulo resiliente en forma indirecta.

En el diseño de pavimentos rígidos, el método AASHTO caracteriza los suelos de la subrasante por el parámetro llamado Módulo de Reacción de la Subrasante (k). En la versión del año 1986-93 del citado método, el valor de este parámetro se debía deducir a partir del MR, pero en la nueva versión del año 1998, se retorna a determinarlo con ensayos con una placa cargada o se propone determinarlo en forma indirecta a partir de otros ensayos. El k mide las condiciones que existen o existirán en la superficie de la subrasante sobre la que se construirá la base y el pavimento de hormigón; representa las condiciones de la subrasante, sin incluir la base que se considera como una capa estructural que influye en la determinación del espesor de las losas de pavimento.

Al igual que para el diseño de pavimentos flexibles, más adelante en este Manual, se entregan relaciones que permiten estimar el valor de k , en forma directa e indirecta.

(2) Prospección de suelos en caminos nuevos

La prospección de suelos debe programarse de manera que los antecedentes que de ella emanen maximicen la eficiencia del trabajo de investigación, para lo cual las mediciones y muestreos deben ejecutarse en los lugares que mejor representen las condiciones de los suelos de la subrasante en el sector.

En el caso de caminos con trazados total o parcialmente nuevos y en las situaciones en que la posición de la rasante variará fundamentalmente de la de un camino existente, la prospección de suelos consistirá básicamente de calicatas desde donde se extraerán y ensayarán muestras. La disposición de las calicatas debe programarse conociendo las características básicas de la rasante de proyecto, lo que no implica que necesariamente deba contarse con la rasante con todos sus parámetros definidos; será suficiente conocer la posición general en planta y alzado, asegurándose que las zonas de corte y terraplén que allí se determinen no varíen con posterioridad, invalidando las conclusiones que pudieran derivar de la prospección.

Salvo que se presenten condiciones especiales, normalmente alteraciones en alzado de hasta unos 0,30 m y en planta hasta de unos 20 m no debieran cambiar los parámetros que definen las propiedades de los suelos.

Para programar la distribución de una prospección en las condiciones descritas, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones de orden general:

Los métodos de diseño presuponen que las capas estructurales se apoyan sobre una subrasante estable, que no sufrirá asentamientos o deformaciones.

Por lo tanto, la estabilidad de la obra básica del camino es condición necesaria para un buen comportamiento de los pavimentos; la prospección, ensayos y estudios necesarios para asegurar esa condición, no forman parte del diseño de los pavimentos y por lo tanto no se encuentra incluida en esta enumeración, pero debe considerarse como parte del proyecto.

No aportan información al diseño del pavimento prospecciones del suelo natural emplazadas en zonas donde el terraplén va a tener 2 m ó más de altura; allí son las propiedades de los suelos del terraplén las que interesan. En todo caso, se debe asegurar que el suelo natural tiene la capacidad de soporte adecuada para no deformarse o experimentar asentamientos con el peso del terraplén; si existieran evidencias de un problema de este tipo se deberá realizar la prospección y los estudios adicionales que correspondan.

En sectores con una pendiente transversal fuerte se puede generar secciones mixtas (terraplén y corte), para las que se debe definir cuál es la situación más desfavorable para los efectos del diseño.

La construcción afecta sólo superficialmente los suelos donde se funda la obra básica, de manera que para los efectos del diseño, son las propiedades del suelo en estado natural las que interesan. Así, cuando la rasante queda a menos de 2,0 m por sobre el suelo natural, se deben detectar sus propiedades a la densidad y grado de saturación naturales.

(3) Prospección para rehabilitación de pavimentos

En la prospección de suelos para la rehabilitación de pavimentos existentes y para reconstruir pavimentos, deben preferirse ensayos no destructivos mediante mediciones con deflectómetros de impacto (Falling Weight Deflectometer, FWD), complementadas con algunas calicatas.

Ante la imposibilidad de ejecutar ensayos con un deflectómetro de impacto, la segunda opción debe ser una prospección dirigida a utilizar un método de diseño basado en las deformaciones elásticas superficiales, tal como mediciones con una viga Benkelman, un deflectómetro Lacroix, un Dynaflect, un Road Rater-Modelo 400 y otros.

Sólo cuando ninguna de las alternativas anteriores resulte factible, la prospección podrá centrarse exclusivamente en calicatas.

La programación de una prospección mediante deflectómetros de impactos, deben tener en cuenta las siguientes consideraciones de orden general:

- los ensayos deben realizarse según una secuencia más o menos fija en cuanto a cantidad y posición; para condiciones normales se recomienda realizar 10 mediciones por Km y por calzada (con un mínimo de 8 mediciones por Km), alternando las mediciones entre una y otra pista.
- las mediciones que se realicen en secciones en que el pavimento se encuentra muy deteriorado por causas que evidentemente guardan relación con fallas de la obra básica, sólo deben utilizarse para analizar problemas de la subrasante y no incluirse como un antecedente para deducir propiedades de las capas estructurales.
- debe ejecutarse una monografía dividiendo el trazado en tramos en terraplén y en corte, considerando que terraplenes de alturas inferiores a unos 0,30 m deben agruparse junto con los tramos en corte, pues su aporte es despreciable.
- los resultados que derivan del retro análisis de las mediciones son muy sensibles a los espesores que se hubieren adoptado para las diferentes capas que conforman la estructura de pavimento que se está analizando. En consecuencia, es de la mayor importancia asegurarse que los espesores adoptados corresponden efectivamente a los reales, por lo que se recomienda ejecutar, tan cerca como sea posible de los puntos donde se haga deflectometría, al menos 4 mediciones de espesor por Km de camino; pueden consistir de piques al borde del pavimento o de preferencia, testigos del pavimento que alcancen hasta la subrasante.
- los módulos elásticos calculados mediante retro análisis a partir de medidas de deflexiones, corresponden a valores del módulo dinámico, en circunstancias que el método de diseño AASHTO utiliza parámetros estáticos. La transformación de uno al otro es función del tipo de suelo en que se hizo la medición; por consiguiente se recomienda ejecutar al menos una calicata de 1,5 m de profundidad por Km., cuando se trata de suelos granulares y de 2 o más para suelos finos, para definir la estratigrafía de los suelos encontrados y su clasificación.

– Drenaje

La conveniencia de drenar el agua fuera de la estructura del pavimento, ha sido un factor que siempre se ha considerado en forma preponderante en el diseño de un camino, a pesar de lo cual, normalmente las bases que se construyen no drenan bien. El exceso de agua que se origina, unido a la alta frecuencia y peso de las cargas solicitantes, llevan con frecuencia a deterioros prematuros de la estructura, por lo que el método de diseño AASHTO considera directamente los efectos del contenido de humedad en los suelos de la subrasante, bases y sub bases.

La evacuación de las aguas que alcanzan al pavimento se logra mediante tres procedimientos; drenaje superficial, subdrenaje y drenes de pavimento, también llamados drenaje estructural. Estos sistemas, sin embargo, sólo evacuan el agua libre, en tanto que el agua atrapada por la capilaridad, no puede ser drenada.

La construcción de pavimentos especialmente fuertes con el objetivo de resistir los efectos de la humedad, no es una solución segura, pues potencialmente existen efectos destructivos causados por agua atrapada dentro de la estructura propiamente tal. Consecuentemente, las actuales tendencias indican la necesidad de no sólo excluir al máximo el agua de la estructura, sino que también dotarla de sistemas que la evacuen con la mayor rapidez posible.

El método AASHTO considera los efectos del drenaje, modificando el coeficiente estructural en los pavimentos flexibles y los modelos de escalonamiento de juntas en los rígidos. En ambos casos, la calidad

del drenaje, se expresa en función del tiempo que demora en drenar la estructura y el porcentaje del tiempo que ésta se encuentra sujeta a niveles de humedad cercanos a la saturación. En el caso de la rehabilitación de pavimentos, se debe averiguar si el diseño original del drenaje es adecuado, si se encuentra operando correctamente y definir los sistemas de drenaje complementarios, cuando corresponda.

SECCION 3.2.2.3.

DISEÑO PAVIMENTOS FLEXIBLES

Comprende la construcción de un pavimento de concreto asfáltico de gradación densa mezclado en planta y en caliente, extendido en una o varias capas que tendrán la composición establecida en las especificaciones técnicas y las dimensiones indicadas en los diseños u ordenadas por MOPC.

Como es de conocimiento general, un concreto asfáltico en caliente convencional es una mezcla de áridos gruesos y finos de alta calidad con cemento asfáltico, densamente graduada. Los áridos y el cemento asfáltico, calentados individualmente entre 130° C y 160° C, son mezclados en planta, aplicados con máquinas terminadoras y compactadas en caliente.

Son mezclas cuidadosamente elaboradas y compactadas para lograr una elevada densificación y bajo porcentaje de vacíos, consideradas como las de mejor calidad entre las mezclas asfálticas, las mezclas en caliente brinda excelentes propiedades de estabilidad, durabilidad y flexibilidad.

3.2.2.3.1. METODO AASHTO 93

El método de diseño de pavimentos flexibles que se presentan en este Manual, está basado en el método AASHTO. Fundamentalmente es la versión de 1993 del método.

El procedimiento que se describe es el resultado de ensayos realizados en pistas de pruebas, constituidas bajo condiciones ambientales y con suelos de características muy definidas y en muchos casos completamente diferentes a las condiciones en que se dan en algunas zonas del país. Por consiguiente, a pesar que se le han introducido una serie de modelaciones matemáticas tendientes a ajustar mejor algunos parámetros a la situación real de la zona donde se emplaza el proyecto que se diseña, se debe ser extremadamente cauteloso cuando corresponda salirse mucho del marco bajo el cual fue desarrollado.

El método en su versión de 1993, es una extensión del procedimiento original derivando de las pruebas AASHTO realizadas durante 2 años y terminadas en 1960. Las modificaciones introducidas en esta versión están únicamente orientadas a expandir las posibilidades de aplicación del método a diferentes climas, diseños, materiales y suelos. Siguiendo ese lineamiento, el procedimiento que se presenta, incluye algunos cambios destinados a ajustarse mejor a la realidad nacional.

La fórmula general de diseño relaciona la cantidad de ejes equivalentes (EE) solicitantes con el número estructural y el nivel de confianza. De manera que la estructura experimente una pérdida de servicialidad determinada. La ecuación es la siguiente:

$$EE = (NE + 25,4)^{9,36} \cdot 10^{-(19,40 + ZR \cdot S_0)} \cdot M_r^{2,32} \cdot [(p_i - p_i)/(p_i - 1,5)]^{1/\beta} \quad (\text{ec. 12}_1)$$

$$\beta = 0,40 + [97,81/(NE+25,4)]^{5,19} \quad (\text{ec. 13}_1)$$

En que:

EE : ejes equivalentes de 80KN acumulados durante la vida de diseño

NE : número estructural (mm)

$$NE = a_1 \cdot h_1 + a_2 \cdot m_2 \cdot h_2 + a_3 \cdot m_3 \cdot h_3$$

a_1, h_1 : coeficiente estructural y espesor (mm) de cada una de las capas asfálticas o tratadas que componen el pavimento. Los subíndices 2 y 3 representan las capas granulares no tratadas.

m_2, m_3 : coeficiente de drenaje de las capas no tratadas (bases y sub bases granulares)

S_0 : desviación estándar del error combinado de todas las variables que intervienen en el

modelo.

M_r : módulo Resiliente del suelo de la Subrasante (MPa)

p_i : índice de servicialidad inicial

p_f : índice de servicialidad final

Un pavimento flexible es un sistema multicapas y por lo tanto, debe diseñarse como tal. Esto implica en primer lugar, una secuencia de capas que a partir de la Subrasante contemple una sub base, una base y la o las capas asfálticas. El primer cálculo es determinar, mediante el algoritmo desarrollado por AASH-TO, el número estructural (NE_t) que se requiere sobre la Subrasante.

Enseguida, se establecen los espesores mínimos de capas asfálticas a colorar para que las tensionas que se generan no originen fallas en la subrasante ni en las propias capas asfálticas; para tales efectos se presentan Tablas y Gráficos que permiten determinar el número estructural mínimo a colocar sobre la base (NE_A), en función de las solicitaciones previstas y de la temperatura media anual ponderada del aire (TMAPA) del lugar donde se localiza la obra. El número estructural para las capas no ligadas (sub bases y bases granulares) se determina como la diferencia entre NE_t y NE_A .

La estructuración de las diferentes capas debe hacerse de manera que la suma de los productos de los espesores por sus correspondientes coeficientes estructurales satisfaga los números estructurales calculados.

La valorización de los parámetros necesarios para establecer el número estructural requerido se explica más adelante, en los Numerales siguientes:

- Serviciabilidad Numeral	- Módulos Resilientes y Elásticos Numeral
- Ejes Equivalentes Solicitantes Numeral	- Coeficientes de Drenaje Numeral
- Nivel de Confianza Numeral	- Coeficientes Estructurales Numeral

A. SERVICIABILIDAD.

El pavimento se diseña para que sirva por un determinado lapso llamado vida de diseño, que se refiere al período durante el cual la serviciabilidad se mantiene dentro de ciertos límites; terminada la vida útil de diseño deberá rehabilitarse. La ecuación de diseño establece un estado inicial del pavimento (p_i), que depende exclusivamente de las posibilidades tecnológicas disponibles para construirlo y un nivel de deterioro considerado como final o inconveniente para transitar (p_f).

Algunas investigaciones indican que la vida diseño no es independiente del nivel de la serviciabilidad inicial, de manera que los pavimentos con buen p_i logran vidas útiles más prolongadas que los con serviciabilidades iniciales más deficientes, permaneciendo constantes las demás condiciones.

En la **Tabla 3.2_8** se entregan los valores que se recomiendan para estos parámetros.

En situaciones especiales se podrán adoptar índices de serviciabilidad final distintos a los que se señalan en la Tabla, siempre que se justifiquen adecuadamente y cuenten con la conformidad de la Dirección de Vialidad.

Tabla 3.2_8. INDICES DE SERVICIABILIDAD

Índice de Serviciabilidad Inicial (p_i)	4,2
Índice de Serviciabilidad Final (p_f)	2,0

B. SOLICITACIONES.

Las solicitaciones que afectan la estructura se expresan como los EE acumulados durante el período de vida de diseño definido. Salvo que se indique o autorice especialmente de otra manera, normalmente

los pavimentos se deberán diseñar en una sola etapa y para las vidas útiles que se indican en la **Tabla 3.2_9**.

Tabla 3.2_9. VIDA DE DISEÑO

CLASIFICACION DEL CAMINO	VIDA DE DISEÑO (AÑOS)
De alto Tránsito en Zonas Urbanas	20 – 30
Caminos Nacionales	10 - 20
Regionales Principales	10 - 20
Regionales Secundarios	5 – 20

El cálculo de las solicitaciones expresadas como ejes equivalentes (EE) se ajustará a los criterios expuestos en la Sección 3.2.2.2.2. y teniendo en consideración los siguientes aspectos:

- El TMDA para el año de partida, así como sus proyecciones, deberá responder a un estudio de demanda específico para el camino que se proyecta.
- El camino o proyecto debe sectorizarse en tramos homogéneos en los cuales las solicitaciones acumuladas durante la vida útil de diseño (EE) sean iguales.
- En lo posible se realizarán algunos pesajes de ejes para establecer, al menos, un orden de magnitud de los EE por tipo de vehículo que corresponde; los valores de EE/Veh deben utilizarse sólo cuando no se dispone de otra información. Por lo demás, debe tenerse en consideración que habitualmente las estratigrafías de pesos por eje resultan mucho más livianas en las proximidades de las plazas de pesaje fijas que en el resto de la red.
- Debe asegurarse que los flujos que efectivamente circularán por la ruta y que se utilizan para calcular los EE, en ningún momento superen la capacidad de la carretera, si ello ocurriera y salvo que existan planes concretos de una ampliación, las solicitaciones deben mantenerse constantes a partir del año que se alcance la capacidad máxima.
- El cálculo de los EE debe presentarse en un cuadro igual o similar al modelo que se incluye como **Figura 30_1** y en todo caso debe incluir al menos antecedentes relacionados con el periodo de vida útil, el TMDA para cada año, total y para cada una de las categorías en que se hubiere dividido el tránsito, el factor de pista de diseño, los EE estimados para cada año y los acumulados.

C. CONFIABILIDAD.

El grado de confiabilidad del diseño se controla por el factor de confiabilidad (F_R) que es función de un valor asociado al nivel de confianza de la distribución normal (Z_R) y de la desviación normal del error combinado (S_0) de todos los parámetros que intervienen en el comportamiento del pavimento.

Para las situaciones normales, la **Tabla 3.2_10** indica los niveles de confianza a utilizar en los diseños y los correspondientes valores del coeficiente estadístico ZR. En situaciones especiales, tales como vías urbanas o semi urbanas de alto tránsito, túneles, accesos a viaductos con mucho tránsito, inmediaciones de las plazas de peaje, etc., se podrán adoptar niveles de confianza distintos a los que se señalan en la Tabla, siempre que se justifiquen adecuadamente y cuenten con la conformidad de la

C.1. DIRECCIÓN DE VIALIDAD.

La desviación normal del error combinado (S_0), tal como se señala en el Numeral correspondiente, incluye las dispersiones inherentes a todos los factores que influyen en el comportamiento del pavimento, entre los cuales tienen una participación preponderante los errores que pudieran darse en la predicción del tránsito solicitante y el grado de variabilidad que presentan los suelos de la subrasante.

Cuando el nivel de solicitaciones es muy elevado, la probabilidad de errar por defecto en la predicción es menor, debido a que la pista de diseño se encuentra a niveles cercanos a la saturación; asimismo, entre mayor es la dispersión de los valores representativos de los suelos de la subrasante, existe una probabilidad más alta de fallas. Por último, con el propósito de minimizar los trabajos de mantenimiento durante la vida de servicio de la obra, el nivel de confianza del diseño debe crecer en la medida que aumenta el tránsito.

La **Tabla 3.2_10** indica los valores que se recomienda utilizar en los diseños de pavimentos flexibles en función de las solicitaciones esperadas y del coeficiente de variación (coeficiente de variación = desviación estándar / promedio) de la serie de valores representativos de las características de los suelos de la subrasante.

Tabla 3.2_10. NIVEL DE CONFIANZA Y VALOR DEL S_0

EE Solicitantes (millones)	Confiabilidad (%)	Z _R	S ₀ en función del coeficiente variación de los suelos				
			15 %	20%	30 %	40%	50%
< 5	60	- 0,253	0,45	0,46	0,47	0,49	0,50
5 – 15	60 – 70	- 0,253 – 0,524	0,45	0,46	0,47	0,49	0,50
15 – 30	60 – 75	- 0,253 – 0,674	0,45	0,46	0,47	0,49	0,50
30 – 50	70 – 80	- 0,524 – 0,841	0,44	0,45	0,46	0,48	0,49
50 – 70	70 – 85	- 0,524 - 1,037	0,42	0,43	0,44	0,47	0,48
70 – 90	70 – 90	- 0,524 – 1,282	0,40	0,41	0,42	0,45	0,46

Debido a la mayor dispersión que resulta al determinar el número estructural para subrasantes débiles, conviene utilizar el mayor valor del rango del nivel de confianza para subrasantes de baja capacidad de soporte y mal drenaje.

El factor de confiabilidad (FR) se determina con los valores del Z_R y S₀ que se adopten, según la ecuación:

$$\text{Log } F_R = - Z_R \cdot S_0 \quad \text{ó} \quad F_R = 10^{-Z_R \cdot S_0} \quad (\text{ec. 14}_4)$$

D. MÓDULOS RESILIENTES Y ELÁSTICOS.

D.1. RELACIONES CBR – MÓDULO RESILIENTE.

El método de diseño AASHTO caracteriza las propiedades de los suelos de la subrasante mediante el parámetro llamado Módulo Resiliente Efectivo (M_R). El módulo resiliente representa el módulo elástico del material después de haber sido sometido a cargas cíclicas; se determina mediante el ensayo AASHTO T 294-92, Método Estándar de Ensayo del Módulo Resiliente de Bases Granulares no Tratadas, Materiales de Subbase y Suelos de Subrasante - Protocolo SHRP P46.

La palabra “efectivo” implica que se debe adoptar un valor medio compensado, teniendo en consideración las variaciones estacionales que eventualmente pudiera experimentar este parámetro en el transcurso del año. En todo caso, para las condiciones que más habitualmente se dan en el país, se recomienda utilizar un valor único, dejando sólo para situaciones climáticas extremas, donde las heladas penetran hasta la subrasante, la aplicación de los conceptos de compensación por daño relativo de la subrasante.

El módulo resiliente (M_R) para diseñar pavimentos en trazados nuevos, habitualmente se define en forma indirecta, estimándolo a partir de resultados de ensayos que determinan el CBR. Diversos estudios, realizados en diferentes lugares han dado origen a una cantidad de fórmulas para relacionar el M_R con el ensayo CBR; las diferencias se originan porque los resultados son muy sensibles a una variedad de factores tales como las propiedades de los suelos, su contenido de humedad, nivel de compactación, estado tensiones de la muestra y procedimientos utilizados en el ensayo.

Para este Manual se incluyen las relaciones determinadas por el Transport and Road Research Laboratory (TRRL) en 1987 y que deben utilizarse solamente para calcular el Módulo Resiliente de los suelos que conforman la subrasante.

El ensayo CBR debe realizarse en conformidad con el ensayo cuyo Método se describe en el Volumen correspondiente de este Manual.

El módulo elástico de una capa no tratada no es independiente del módulo de la capa subyacente, de manera que no debe estructurarse colocando sucesivamente capas de módulos muy diferentes, como sería emplazar una subbase, de alto módulo elástico, sobre una subrasante de baja capacidad soporte.

Para los efectos prácticos, se recomienda que cuando los suelos que conforman la subrasante (tanto en terraplenes como en cortes) tengan un CBR $\leq 10\%$ (aprox. MR ≤ 77 MPa), incluir una capa superior de mejoramiento de un espesor no inferior a 300 mm, de preferencia granular (según clasificación AASHTO) y CBR $\geq 15\%$ o alternativamente colocar bajo la subbase una tela geotextil, según los criterios que se señalan en la Sección 3.2.1.4.

El sistema clásico para establecer el módulo de un sistema de dos capas elásticas sometido a una carga circular, es determinar el asentamiento elástico, el que está dado por la siguiente relación:

$$\Delta = \frac{1,5pa^2}{E_o} \left\{ \frac{a}{\left[a^2 + h^2 \left(\frac{E_1}{E_o} \right)^{2/3} \right]^{1/2}} \left(1 - \frac{E_o}{E_1} \right) + \frac{E_o}{E_1} \right\} \quad (\text{ec.15}_1)$$

En que:

p : presión de inflado del neumático

A : radio del círculo de apoyo del neumático en el pavimento

E_o y E_1 : módulos elásticos de la capa de orden 1 y 0, respectivamente

H : espesor de la capa de orden 1 (superpuesta a la orden 0)

La relación anterior permite determinar el módulo resiliente de una subrasante que incluye una capa superior de mejoramiento de acuerdo con lo siguiente:

$$M_{Rd} = F \cdot MR_o \quad (\text{ec 16}_1)$$

$$1/F = \frac{0.125}{\left[0.0156 + h^2 \left(\frac{M_{R1}}{M_{R0}} \right)^{2/3} \right]^{1/2}} \left(1 - \frac{M_{R0}}{M_{R1}} \right) + \frac{M_{R0}}{M_{R1}} \quad (\text{ec.17}_1)$$

En que:

M_{Rd} : módulo resiliente de diseño (MPa)

- F : factor dado por la (ec. 17_1)
- M_{R0} : módulo resiliente de la subrasante o capa de orden 0 (MPa).
- M_{R1} : módulo resiliente de la capa de orden 1 (MPa).
- h : espesor de la capa de orden 1 (m)

Sistematización del Análisis de la Información de la Prospección de Suelos. El valor representativo de las características de una determinada subrasante, de la que se cuenta con una serie de valores provenientes de la prospección de suelos, es fundamental para lograr un diseño adecuado del pavimento.

Consecuentemente, la información recogida debe tratarse en forma sistemática y ordenada, de manera de asegurarse que los valores adoptados sean efectivamente los representativos de la situación real.

La siguiente pauta define un procedimiento para analizar en forma sistemática y secuencial la información originada en una prospección de suelos con el propósito de caracterizar una subrasante; se ha supuesto una prospección mediante ensayos tradicionales (el procedimiento cuando se dispone de ensayos no destructivos, tipo deflectometría, se indica en el Numeral correspondiente a la Evaluación del Pavimento Existente):

- Programar la prospección cuando se disponga de un perfil longitudinal del proyecto con la rasante prácticamente definitiva, aun cuando no necesariamente con todos sus parámetros y elementos calculados o totalmente definitivos.
- Preparar un cuadro, que puede ser igual o similar al del **Gráfico 31_1 Cálculo de módulo resiliente de diseño (Ver Anexo B)** que se incluye como ejemplo, conteniendo al menos la información que allí se indica. Los antecedentes a consignar deben corresponder a los del estrato más débil detectado hasta una profundidad de mínimo 1,5 m por debajo de la rasante del camino.

Los antecedentes incluidos en las diferentes columnas del **Gráfico 31_1 Cálculo de módulo resiliente de diseño (Ver Anexo B)** son los siguientes:

Columnas 1 y 2	:	Número correlativo y localización (kilometraje) de la prospección.
Columna 3	:	Número de la muestra/profundidad respecto de la superficie del suelo natural de donde se extrajo la muestra.
Columna 4	:	Altura de la rasante sobre el suelo natural; (+) terraplén, (-) corte.
Columnas 5 y 6	:	Clasificación de suelos; sistemas U.S.C.S. y AASHTO.
Columnas 7 y 8	:	Límites de Atterberg.
Columna 9	:	CBR al 95% de la D.M.C.S.
Columna 10	:	Densidad natural
Columna 11	:	Porcentaje de la densidad respecto al Proctor
Columna 12	:	CBR a la densidad natural. (Los valores para CBR no ensayados se deben estimar en base principalmente a la clasificación del suelo según AASHTO, la Densidad Natural y/o el porcentaje del Proctor).
Columna 13	:	Valor de MR calculado
Columna 14	:	Valor del MR adoptado para diseño (ver Numeral siguiente).

D.2. MÓDULO RESILIENTE DE DISEÑO.

El método de diseño AASHTO utiliza como M_R de diseño, el valor promedio de la serie muestral; por otra parte, adoptando el S_o adecuado, se incorpora al diseño la dispersión que presenta la serie por medio del coeficiente de variación (coeficiente de variación = desviación estándar / promedio). Por lo tanto, utilizar procedimientos más conservadores para definir el valor de diseño implica aceptar coeficientes

de seguridad mayores que los necesarios, además que se pierde el control sobre el nivel de confianza con que resulta el diseño.

Como criterio general para un buen diseño, se recomienda evitar dejar hasta 1,5 a 2,0 m por debajo de la rasante, suelos de baja capacidad soporte, es decir suelos con el equivalente a $CBR \leq 3\%$, salvo que un estudio o tratamiento especial asegure que se comportarán en forma adecuada. Cuando se presentan suelos de las características señaladas, normalmente existen tres posibilidades para ajustarse al requerimiento de mejorar su capacidad soporte:

- Realizar un estudio de Mecánica de Suelos que permita establecer procedimientos para densificar el suelo, normalmente junto con drenarlo, con lo que mejora su capacidad soporte.
- Colocar una tela tipo geotextil que aumente la capacidad soporte del suelo. Esta alternativa, normalmente de fácil aplicación, permite considerar que la colocación del geotextil equivale a elevar la capacidad soporte del suelo en el equivalente de 3 a 5 % del CBR, tal como se explica en la Sección 3.2.1.4. De acuerdo con ello, si sobre un suelo $CBR = 2\%$ se coloca una tela geotextil, equivale para los efectos del comportamiento, como si el suelo tuviera una capacidad de soporte CBR entre 5 y 7%. En todo caso para utilizar este procedimiento debe verificarse que el recubrimiento sobre la tela sea el adecuado para evitar ahuellamientos, deformaciones y eventuales roturas de la tela.

También, cuando la prospección indique la existencia de suelos en la subrasante con $CBR \leq 10\%$, es conveniente incluir una capa de mejoramiento superficial de las características allí señaladas; esto se traduce en un módulo resiliente modificado, que puede calcularse con la **ec. 17_1**.

Por otra parte, en las zonas donde la rasante impone terraplenes de alturas superiores a 2 m, son las características de los suelos especificados para estos rellenos los que definen los parámetros para el diseño del pavimento. En el caso de cortes de alturas importantes, el plano de la subrasante normalmente intercepta suelos de mucha mejor calidad que los detectados en la superficie; esta circunstancia también debe ser considerada para el diseño.

Cualquiera fuere el procedimiento que se utilice para modificar la capacidad soporte del suelo en la zona representada por la muestra, el valor correspondiente del M_R representativo se coloca en la **columna 14 del cuadro del Gráfico 32_2 Número estructural capas asfálticas TMAPA 6°C (Ver Anexo B)** Deberá utilizarse alguna nomenclatura como la incluida en la referida Gráfico para señalar los motivos por los que se ha optado por ese valor.

El siguiente paso es establecer el M_R de diseño para sectores o tramos considerados homogéneos en cuanto a las características de los suelos. Se considera que un tramo es homogéneo cuando el coeficiente de variación no es superior al 50 %; con este valor se determina el correspondiente S_v , para lo que se utiliza la **Tabla 3.2_10**. Sin embargo, como el S_v depende del coeficiente de variación y por consiguiente modifica los espesores de las capas de la estructura, es conveniente analizar más de una sectorización antes de optar por una definitiva.

Una vez definida la sectorización se calcula, para cada tramo, el M_R promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación. Los valores del M_R superiores que el promedio más 2 desviaciones estándar, se desechan y no entran en el cálculo; las zonas o áreas representadas por valores inferiores al promedio menos 2 desviaciones estándar, debe tratarse para mejorar la calidad del suelos de fundación, para lo cual pueden aplicarse algunos de los procedimientos indicados más arriba. Tampoco deben considerarse en el cálculo del M_R promedio representativo del tramo.

D.2.1. EJEMPLO DE CÁLCULO DEL M_R .

En el **Gráfico 33_1 Número estructural capas asfálticas TMAPA 14°C (Ver Anexo B)** se incluye un ejemplo de cómo se debe calcular el Módulo Resiliente de diseño. El procedimiento es el siguiente:

- En las columnas 1 a la 11 se colocaron los antecedentes básicos tal como se describe en el sistema de análisis de inf.
- Columna 12. Se indican los CBR a la densidad natural, en atención a lo señalado en el módulo elástico del sistema bicapa; unos determinados en el laboratorio y los otros estimados, básicamente en la clasificación del suelo y la densidad natural o porcentaje del Proctor. Los valores estimados se individualizan con la letra "e" al costado derecho de la columna.

- Columna 13. Se anota el valor del MR.
- Columna 14. Se anota el MR de diseño, calculado con alguno de los siguientes criterios que se individualizan con la letra colocada a la derecha de la columna:
 - Donde $M_R < 77$ MPa se considera una capa de mejoramiento de 300 mm de espesor y CBR = 20%, que eleva el módulo general; se aplica la **ecuación 17_1** y se indica con la letra “m”.
 - Donde CBR < 3% (**ver ec.16_1.**) se coloca una tela geotextil que equivale a mejorar el CBR en 4% para los efectos de calcular MR; se indica con la letra “g”. Alternativamente, también se pudo optar por un reemplazo de material o por colocar una capa de mejoramiento de espesor superior a 300 mm y utilizar el criterio indicado en el punto precedente.
 - Donde se proyecta un terraplén de 2 m de alto o más, es el de este material el que define el valor de diseño, ello es $M_R = 77$ MPa; esos casos se indican con la letra “t”.
 - Se elimina de la serie el valor correspondiente al Pozo N° 8, pues MR = 266 MPa, queda fuera de rango dado por el promedio más dos desviaciones estándar.
 - Los valores utilizados para calcular el MR de diseño tienen un promedio de 90,9 MPa, una desviación estándar de 20,2 MPa y un coeficiente de variación (CV) de 22%. En consecuencia:
 - Puede considerarse todo como un solo tramo, pues el coeficiente de variación es menor que 50%.
 - Para los efectos de diseño se debe utilizar $M_R = 90$ MPa.
 - De acuerdo con la Tabla para CV = 22% ;se tiene:
 - $S_0 = 0,46$ si $EE \leq 30$ millones.
 - $S_0 = 0,45$ si $30 < EE \leq 50$ millones.
 - $S_0 = 0,43$ si $50 < EE \leq 70$ millones.
 - $S_0 = 0,41$ si $EE > 70$ millones.
 - Coeficientes de Drenaje.

El coeficiente de drenaje (mi) que figura en la ecuación general de diseño (**ec. 12_1**), permite ajustar el coeficiente estructural de las capas granulares no tratadas, en función de las condiciones del drenaje del proyecto que se analiza.

De acuerdo con AASHTO, la “calidad del drenaje” es función del tiempo que demora una base o sub base saturada, en evacuar el 50% del agua. Consecuentemente, la calidad del drenaje depende de factores tales como: la permeabilidad de la base, la permeabilidad del suelo de la subrasante, la existencia o no de sistemas de drenaje insertos en la base, la pendiente transversal y la distancia a que se encuentran los puntos de evacuación.

La **Tabla 3.2_11** indica la clasificación de calidad del drenaje de las bases en función del tiempo que demora la evacuación del 50% del agua de saturación, según la definición de AASHTO.

Tabla 3.2_11. CALIDAD DEL DRENAJE DE BASES Y SUB BASES

Calidad del Drenaje	Tiempo de Evacuación
Excelente	2 h.
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Malo	1 mes
Muy Malo	no drena

Los coeficientes de drenaje (m_i) a utilizar dependen tanto de la calidad del drenaje como del tiempo durante el cual la estructura del pavimento se verá expuesta a niveles de humedad cercanas a la saturación, en la práctica, con más de 50% de humedad. El tiempo de saturación depende de la calidad del drenaje y también de la distribución y frecuencia de las precipitaciones que caracterizan la zona donde se localiza el proyecto que se analiza.

La **Tabla 3.2_12**, muestra los coeficientes de drenaje que se proponen para el país; corresponden a un resumen de los resultados obtenidos en un estudio realizado especialmente con ese propósito.

Tabla 3.2_12. COEFICIENTES DE DRENAJE (m_i)

PRECIP.	BASE PERMEABLE	BASE : FINOS HASTA 10%		BASE: MAS 10% FINOS	
		SUBRAS. GRAN.	SUBRAS. FINOS	SUBRAS. GRAN	SUBRAS. FINOS
<= 100 mm	1,40 - 1,35	1,35 – 1,25	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,05
> 100 mm	1,40 - 1,35	1,35 – 1,25	1,35 – 1,25	1,15 – 1,00	1,05 – 0,80
<=150 mm	1,40 – 1,35	1,35 – 1,25	1,35 - 1,25	1,15 – 1,00	1,00
> 150 mm	1,40 – 1,35	1,35 – 1,25	1,25 – 1,15	1,00	1,00 – 0,80
<= 350 mm	1,40 – 1,35	1,35 – 1,25	1,35 - 1,25	1,00	0,80
> 350 mm	1,40 – 1,35	1,25 – 1,15	1,25 - 1,15	1,00-0,80	0,80
<= 1.500 mm	1,40 - 1,35	1,25 – 1,15	1,15	1,00-0,80	0,80 – 0,60
> 1.500 mm	1,35 - 1,30	1,15 – 1,00	1,15 - 1,00	0,80	0,60
<= 500 mm	1,40 - 1,35	1,35 – 1,25	1,25 - 1,15	1,00	1,00 – 0,80
> 500 mm	1,40- 1,35	1,25 – 1,15	1,15	0,80	0,80

Base permeable: menos de 3% de finos y/o coeficiente de permeabilidad > 0,01 cm/s
 Subras Gran.: subrasante granular, máximo 35% pasa tamiz de 0,08 mm
 Subras Finos: subrasante de suelo fino.

Cuando se proyecte una base permeable deberán tomarse todas las precauciones necesarias para que sean efectivas asegurando su drenaje, no sólo inmediatamente después de construida, si no durante toda la vida útil de la obra.

D.3. CORRELACIONES ENTRE CBR Y MR

La mayoría de los métodos actuales utilizan el procedimiento de diseño mecanicista basado en la teoría de elasticidad de las capas. El Modulo Elástico de los suelos a ser utilizados en las diferentes capas de bases y sub-bases puede ser obtenido mediante el ensayo de carga triaxial repetida. Debido a la complejidad de los ensayos y de los equipos requeridos para los ensayos de carga triaxial repetida, se han determinado métodos de aproximación para el cálculo del Módulo Resiliente (Mr) de los suelos basado en el Índice de Soporte de California, más conocido como CBR.

Estas ecuaciones de correlación son las siguientes:

- La guía de diseño de AASHTO sugiere que el módulo resiliente para suelos finos no expansivos y CBR menor o igual a 10, puede ser estimado de acuerdo a lo propuesto por Heukelon y Klomp en 1962:
 - $Mr(\text{psi}) = 1.500 \times \text{CBR}$
- De acuerdo al Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EEUU, el modulo resiliente puede ser estimado de acuerdo a lo propuesto por Green y Hall en 1975:
 - $Mr(\text{psi}) = 5,409 \times \text{CBR}^{0,71}$
- El Concilio Sudafricano de Investigaciones Científicas e Industriales (CSIR), propone la siguiente correlación:
 - $Mr(\text{psi}) = 3.000 \times \text{CBR}^{0,65}$

- El Laboratorio de Investigaciones de Transportes y Carreteras (TRRL) de los EEUU, sugiere la siguiente correlación:

$$Mr(\text{psi}) = 2.555 \times \text{CBR}^{0,64}$$

- Otras correlaciones usadas:

$$Mr = 17,6 \times \text{CBR}^{0,64} \text{ para suelos de CBR entre 2 y 12}$$

$$Mr = 22,1 \times \text{CBR}^{0,55} \text{ para suelos de CBR entre 12 y 80}$$

D.4. COEFICIENTES ESTRUCTURALES.

La versión 1993 del método AASHTO enfatiza la conveniencia de asignar el coeficiente estructural adecuado a cada capa del pavimento, considerando las propiedades reales de los materiales que las constituyen. El coeficiente estructural depende directamente del módulo elástico del material que compone la capa, por lo que la mejor manera de obtenerlo es a través de esa propiedad. Consecuentemente, se deben realizar los ensayos correspondientes para determinar el módulo elástico de las bases y subbases; si son granulares no tratadas, según AASHTO T 294 -92 y si son concretos asfálticos u otros materiales tratados, según ASTM 4123 ó ASTM C 469.

Los ensayos para determinar el módulo elástico requieren equipos especiales, por lo que normalmente se prefiere determinar el coeficiente estructural por procedimientos indirectos. Las siguientes relaciones permiten estimar el coeficiente estructural (a) de concretos asfálticos en función del módulo elástico y de la estabilidad Marshall.

$$a_1 = 0,0052 \cdot E^{0,555}$$

$$\frac{E \text{ en MPa}}{\text{EM : Estabilidad Marshall en N}} \quad \text{(ec.18_1)}$$

$$a_1 = 0,0078 \cdot \text{EM}^{0,441}$$

$$\text{EM : Estabilidad Marshall en N} \quad \text{(ec.19_1)}$$

Los coeficientes estructurales de bases y subbases granulares no tratadas se pueden estimar a partir de las siguientes correlaciones con el CBR:

Coeficiente estructural de bases granulares (a_2).

$$a_2 = 0,032 \cdot (\text{CBR})^{0,32} \quad \text{(ec. 20_1)}$$

Coeficiente estructural de subbases granulares (a_3).

$$a_3 = 0,058 \cdot (\text{CBR})^{0,19} \quad \text{(ec. 21_1)}$$

Los coeficientes estructurales de bases tratadas, tanto con cemento como con asfalto, se pueden estimar a partir de las siguientes correlaciones con la resistencia a la compresión simple determinada con ensayos a la ruptura de testigos de probetas cilíndricas (cuyo método de ensayo se describe en el Volumen correspondiente este Manual) y con la estabilidad Marshall, respectivamente.

Coeficiente estructural de bases tratadas con cemento (a_2).

$$a_2 = 0,0918 \cdot (f_c)^{0,514} \quad \text{(ec. 22_1)}$$

f_c : resistencia cilíndrica a la ruptura (MPa)

Coeficiente estructural de bases tratadas con asfalto (a_2).

$$a_2 = 0,0074 \cdot (EM)^{0,415} \quad EM \text{ en Newton(N)} \quad (\text{ec.23}_1)$$

Para condiciones normales de diseño, con las especificaciones de construcción habituales, se recomienda adoptar los coeficientes estructurales que se indican en la **Tabla 3.2_13**. Sin embargo, para condiciones especiales, debidamente justificadas, se deberán utilizar los coeficientes apropiados a esas situaciones.

Tabla 3.2_13. COEFICIENTES ESTRUCTURALES PARA LAS CAPAS DE PAVIMENTO

CAPA	CARACTERISTICAS	COEFICIENTE ESTRUCTURAL
Subbase Granular	CBR = 40%	0,12
Base Granular	CBR = 80%	0,13
Base Asfáltica Grad. Gruesa	6.000 N	0,33
Base Asfáltica Grad. Abierta		0,28
Grava-emulsión		0,30
C. Asfáltico, Capa Interm.	8.000 N	0,41
C. Asfáltico de Superficie	9.000 N	0,43
Mezclas drenantes		0,32
Microaglomerado discontinuo en caliente		0,40
Mezcla SMA (Stone Mastic Asphalt)		0,43

– **Estructuración de las Capas.**

• **Número Estructural Total (NE_T).**

El número estructural total (NE_T), corresponde al valor que resulta de aplicar la **ec.12_1** para todos los parámetros indicados en los Numerales precedentes, incluyendo el valor del M_R representativo de la subrasante. Todas las capas que compondrán la estructura del pavimento, incluyendo las asfálticas y las no ligadas, se deben estructurar por tipo y espesores de manera que se cumpla con la expresión **ec. 24_1**:

$$NE \text{ (mm)} = a_1 \times h_1 + a_2 \times h_2 \times m_2 + a_3 \times h_3 \times m_3 \quad (\text{ec. 24}_1)$$

Donde a_i son los coeficientes estructurales de las diversas capas, h_i los espesores (mm) de cada capa y m_i los coeficientes de drenaje de las capas no tratadas.

La **ecuación 24_1**, no tiene una solución única pues existen muchas combinaciones que satisfacen el número estructural. Sin embargo, existen una serie de consideraciones que deben tenerse en cuenta al definir los espesores de las diferentes capas.

- Los espesores tienen ciertas limitaciones a los que deben ajustarse para hacerlas compatibles con requerimientos constructivos y de estabilidad; la **Tabla 3.2_14** indica esas limitaciones. El espesor mínimo de la capa asfáltica sobre una base granular se refiere a las pistas de circulación; en las banquetas pueden colocarse espesores menores e incluso variables.
- Por razones constructivas y para evitar una proliferación excesiva de diferentes diseños, los espesores de las capas ligadas (asfálticas) deben redondearse a los 5 mm, en tanto que los de las capas no ligadas, a los 10 mm.
- Una mala estructuración puede originar tensiones y deformaciones superiores a las que son capaces de soportar, la subrasante, las capas granulares no tratadas o las mezclas asfálticas,

por lo que la distribución del NE_T no puede hacerse en forma arbitraria. Se recomienda proceder ajustándose a los siguientes criterios:

La relación entre los módulos elásticos de dos capas no ligadas (granulares) sucesivas, no debe ser mayor que 4.

La relación entre las capas asfálticas y las granulares debe definirse con el procedimiento que se describe en el Numero estructural mínimo; éste permite determinar el número estructural mínimo (NE_A) que deben tener todas las capas de mezclas asfálticas a colocar en la estructura. El procedimiento se basa en análisis teórico – empíricos sustentados en la experiencia nacional.

Tabla 3.2_14. LIMITACIONES A LOS ESPESORES DE LAS CAPAS ESTRUCTURALES

CAPA	Espesor (mm)
Cada capa asfáltica individual, mín.	50 (*)
Capa granular no tratada, mín.	15

(*) Para las capas con mezclas convencionales dependiendo del clima y condiciones de la zona el espesor podrá ser 10 mm menor al indicado en la Tabla.

Para las capas de rodadura especiales tales como mezclas drenantes, microaglomerados discontinuos en caliente y mezclas SMA, no existirá restricción en el espesor mínimo, este estará determinado por las condiciones de diseño de la mezcla ($T_{m\acute{a}x}$. y otros).

– **Número Estructural Mínimo (NE_A) de las Capas Asfálticas.**

La fracción del número estructural total (NE_T) que debe asignarse a las capas asfálticas de la estructura se calcula según un procedimiento de dos etapas: primero se determina la temperatura media anual ponderada del aire (TMAPA) en la localidad donde se localiza la obra, luego con los gráficos que se incluyen, parametrizados para diferentes TMAPA, las solicitaciones previstas (EE) para la vida útil de diseño y el módulo resiliente (M_R) de la subrasante, se determina el número estructural mínimo (NE_A) que deben tener las capas asfálticas.

La temperatura media anual ponderada del aire (TMAPA) se calcula a partir de las temperaturas medias mensuales del aire (TMMA) de la zona donde se emplaza el camino. Para ello se deben utilizar los antecedentes disponibles en la estación meteorológica más cercana a la obra.

La TMMA representativa de cada mes, corresponde al promedio de una estadística de no menos de 10 años. Luego se prepara una Tabla (ejemplo, **Tabla 3.2_15**) en que para la TMMA de cada uno de los 12 meses del año se determina un factor de ponderación (W_i), mediante la siguiente relación:

	$TMMA (^{\circ}C) = 20,348 + 17,5683 \log W_i$	ec. 25_1
--	--	-----------------

En que:

TMMA ($^{\circ}C$) : temperatura media mensual del aire

W_i : factor de ponderación

Por último la temperatura media anual ponderada (TMAPA) se determina calculando el factor de ponderación promedio del año (W_p) que se introduce en la misma **ec. 25_1**, pero en forma inversa; el resultado es la TMAPA.

Tabla 3.2_15. CALCULO DE LA TEMPERATURA MEDIA ANUAL PONDERADA DEL AIRE (TMAPA) (Ejemplo)

MES	TMMA (°C)	Wi
Enero	28	2,73
Febrero	26	2,10
Marzo	22	1,24
Abril	19	0,84
Mayo	16	0,57
Junio	8	0,20
Julio	8	0,20
Agosto	6	0,15
Septiembre	12	0,33
Octubre	12	0,33
Noviembre	19	0,84
Diciembre	22	1,24
	Suma	10,77
	Promedio (Wip) = 10,77/12	0,90
	TMAPA (°C)	19,5 aprox. 20 °C

El **Gráfico 32_1 (Numero estructural capas asfálticas TMAPA 6°C) (Ver Anexo B)** muestra, para varias localidades a lo largo del país, las TMMA y las TMAPA.

Por otra parte la fracción del número estructural total (NET) que debe asignarse a las diversas capas asfálticas que conformarán la estructura se determina con los gráficos incluidos en los **Gráficos 32_1, 33_1, 34_1** que corresponden a TMAPA de 6° C, 14 °C y 19 °C, respectivamente. El procedimiento general a seguir es el siguiente:

- Determinar las solicitaciones, expresadas como EE, calculadas para la vida útil de diseño. Los gráficos han sido calculados para un nivel de confianza del 50%, es decir, para $F_R = 1$ en la **ec.9_1**, por lo tanto, para niveles de confianza diferentes que 50%, debe calcularse el correspondiente F_R . En los gráficos se entra con la cantidad de EE que resulta de multiplicar los EE de diseño por el factor F_R calculado.
- Las curvas que figuran en los gráficos han sido determinadas utilizando como parámetro diferentes valores del módulo resiliente de la subrasante (M_R).
- Con los dos datos descritos se elige el gráfico correspondiente a la TMAPA de la localidad donde se encuentra el proyecto.
- A los gráficos se entra por las abscisas con los EE de diseño, afectados por el factor FR, subiendo verticalmente hasta encontrar la curva correspondiente al MR de la subrasante. Saliendo horizontalmente hacia la izquierda, se determina el número estructural que deben tener la totalidad de las capas asfálticas (NEA). Por lo tanto se debe cumplir lo siguiente:

$$NE_A \text{ (mm)} = \sum a_i \cdot h_i \quad \text{(ec. 26_1)}$$

En que:

a_i : coeficiente estructural de la capa asfáltica de orden i

h_i : espesor (mm) de la capa asfáltica de orden i

- En el caso que la TMAPA de una localidad no coincida con ninguna de las señaladas en los 3 gráficos, se deben calcular los NEA para las dos TMAPA más cercanas e interpolar linealmente para encontrar el valor buscado De la misma manera se debe interpolar dentro del gráfico para valores del MR diferentes de los que figuran en los gráficos.
- La capas no ligadas (subbases y bases granulares) deben estructurarse de manera que se cumpla la siguiente relación:

$$(NE_T - NE_A) \text{ (mm)} = a_2 \cdot h_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot h_3 \cdot m_3 \quad \text{(ec. 27_1)}$$

En que:

a_2 : coeficiente estructural de la base granular

h_2 : espesor (mm) de la base granular

m_2 : coeficiente de drenaje de la base granular

a_3 : coeficiente estructural de la sub base

h_3 : espesor (mm) de la subbase

m_3 : coeficiente de drenaje de la subbase

- Los espesores de las capas ligadas (asfálticas) deben redondearse a los 5 mm, en tanto que los de las capas no ligadas, a los 10 mm.

3.2.2.3.2. TRATAMIENTO SUPERFICIAL TRIPLE.

Son tres riegos alternados y uniformemente distribuidos de ligante bituminoso y árido sobre una superficie acondicionada previamente. El tamaño medio del árido de cada distribución sucesiva es la mitad o menos del tamaño medio de la capa precedente. El espesor total es aproximadamente igual al tamaño máximo nominal del árido de la primera aplicación.

A. CONSIDERACIONES ACERCA DE LOS TRATAMIENTOS ASFALTICO SUPERFICIALES

Antes de entrar a considerar al Pavimento con Tratamiento Superficial Triple, como una solución a carreteras de transito medios, quisiéramos brindar algunas consideraciones acerca de este tipo de recubrimiento.

Entre las técnicas de Pavimentación de carreteras, la de los tratamientos superficiales ha sido una de las soluciones más interesantes para tránsitos de volúmenes medios a bajos. En su historia, los tratamientos han pasado de un sistema destinado para tránsitos livianos a ser utilizado en tratamientos de carreteras con tránsito pesado y en muchos países, en autopistas.

Los tratamientos superficiales pueden ser utilizados como capas de rodadura sobre caminos estabilizados o como conservación de pavimentos asfálticos. Los objetivos que se persiguen son la protección, impermeabilización y mejoramiento de la capa de estructura vial, proporcionando además una superficie antideslizante.

Los tratamientos superficiales abarcan desde una simple y ligera aplicación de cemento asfáltico o emulsión bituminosa, a múltiples aplicaciones de materiales asfálticos sobre las que se distribuyen agregados pétreos.

También se consideran tratamientos superficiales algunos tipos de mezcla asfáltica-agregados. Todos los tratamientos superficiales sellan y prolongan la vida de los caminos. Cada tipo tiene uno o más propósitos especiales.

La siguiente es una clasificación de tratamientos superficiales asfálticos de acuerdo a su aplicación y preparación.

- Tratamientos superficiales simples.
- Tratamientos superficiales dobles.
- Tratamientos superficiales triples.
- Tratamientos superficiales con aplicación única de asfalto.
 - Asfalto en Caliente
 - Emulsiones Asfálticas
- Tratamientos superficiales con Riego de Imprimación.
- Tratamientos superficiales Paliativos de Polvo.
 - Aceites
 - Emulsiones
- Tratamientos superficiales con Rodillos (Road rolling).
- Tratamientos superficiales con Riego Pulverizado (Fog Seal).
- Tratamientos superficiales con Lechadas Asfálticas

A.1. FUNCIONES DE LOS TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

- Un tratamiento superficial por sí mismo no es considerado una estructura de soporte. Básicamente brinda una cubierta impermeable a la superficie existente de la calzada y resistencia abrasiva del tránsito. Algunas de las funciones más comunes con:
 - Proveer una superficie económica y duradera para caminos con bases granulares que tienen tránsitos ligeros y de mediano volumen.
 - Prevenir la penetración superficial de agua en bases granulares y pavimentos viejos que han comenzado a desintegrarse por el tiempo o a fisurarse.
 - Rellamar huecos, recubrir y ligar partículas minerales desprendidas y restaurar la superficie del pavimento.
 - Renovar superficies y restaurar la resistencia al deslizamiento de pavimentos deteriorados por el tránsito en los cuales los agregados superficiales han comenzado a pulirse.
 - Restaurar capas de rodamientos afectadas por los agentes climáticos y dar nueva vida a superficies de pavimentos resacas.
 - Proveer una cubierta temporaria en los casos de construcción de pavimentos incompletos y demorados o cuando se trata de una construcción por etapas.
 - Paliar el polvo.
 - Asegurar la adherencia de las capas asfálticas superiores con las bases granulares (riego de imprimación).
 - Asegurar la trabazón entre la superficie que está siendo pavimentada y la capa superior (riego de liga).

3.2.2.3.3. DISEÑO DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES (MORIN – TODOR, BRASIL)

A. CONSIDERACIONES GENERALES

El método que se entrega para establecer las dimensiones de las capas estructurales de un pavimento tipo tratamiento bituminoso superficial, se basa en un procedimiento estudiado para suelos tropicales del tipo laterítico caracterizado por una razón sílice sesquióxidos menos que 2. El sistema se presenta en el estudio laterite and Lateritic Soils and Other Problem Soils of the tropics, que se fue desarrollando para la Agencia Internacional para el desarrollo de los Estados Unidos por W.J. Morín y Peter C. Todor como parte de un estudio realizado por Lyon Associates Inc. y el Instituto de Investigación de carreteras de la Dirección de Vialidad de Brasil en 1.975.

A pesar que el estudio se realizó en suelos tropicales, su campo de aplicación puede implantarse de manera de utilizarlo en climas templados.

El sistema se basa en las relaciones que existen entre el comportamiento de una estructura y las deflexiones que experimenta y la relación entre ellas y la capacidad resistente de las diferentes capas que conforman la estructura del pavimento. En aspecto más importante de este método de diseño radica en que los coeficientes estructurales de las capas no sólo son función de las propiedades del material que las componen, sino que también de la posición relativa en que estas se encuentran dentro de la estructura. Por ejemplo, un material apto para base tiene su mayor aporte cuando se extiende en los 250 mm superiores; más abajo aporta a la estructura mucho menos.

Al igual que cualquier otro procedimiento para diseñar pavimentos, la calidad de los resultados depende en gran medida de la elección adecuada de los parámetros de cálculo, de manera que es fundamental que el diseño lo realice un profesional experimentado en el diseño de pavimentos.

Básicamente en procedimiento se desarrolla en tres etapas:

- Establecer el Índice Estructural (IE), que es función de los ejes equivalentes que solicitarán el pavimento durante su vida útil y del coeficiente de variación adecuando para reflejar la variabilidad de la construcción.
- En función del valor del CBR, determinado como representativo de la subrasante, se determina el espesor mínimo que debe darse a la suma de espesores de la base más sub base.
- Se determina el espesor de cada una de las capas de la estructura de manera que la suma de los productos de estos por los correspondientes coeficientes estructurales den el Índice estructural requerido. Se considera todas las capas que están hasta 900 mm por debajo de la rasante, pero teniendo en consideración que los coeficientes estructurales son válidos sólo dentro de los rangos de profundidades que se señalan en cada caso.

A.1. CÁLCULO DEL ÍNDICE ESTRUCTURAL

A.1.1. EJES EQUIVALENTES

Para determinar el Índice Estructural (IE), se deben conocer los ejes equivalentes acumulados en la pista de diseño durante el periodo de vida útil asignado al pavimento. El método utiliza los ejes equivalentes tal como fueron definidos por AASHTO.

En general, se recomienda diseñar tratamientos superficiales sólo cuando las solicitudes acumuladas no superen unos 750.000 EE en la pista de diseño; para mayores solicitudes, normalmente es más adecuado considerar pavimentos en base a capas de mezclas asfálticas.

A.1.2. COEFICIENTE DE VARIACIÓN

El coeficiente de variación (razón entre la desviación estándar y el promedio) se determina analizando las deflexiones reales que se producen en los caminos; son un reflejo de la calidad del diseño y uniformidad de la construcción.

Las deflexiones medidas en unos pocos caminos actualmente en servicio en el país, sugieren que para condiciones de construcción controladas, como son las que usualmente se dan en este tipo de obras, se podría utilizar un coeficiente de variación cercano al 15%. Sin embargo, en atención a que se trata de datos parciales, se recomienda, salvo autorización expresa de la Dirección de Vialidad, utilizar para este parámetro un 25% ($v = 0,25$).

A.1.3. ÍNDICE ESTRUCTURAL

El índice estructural (IE) se puede calcular con la siguiente expresión:

$$IE_{(mm)} = 1024v^{0,354} \left[\frac{9,56}{11,49 - \log EE} - 1 \right] \quad (\text{ec. 59}_1)$$

v : coeficiente de variación en tanto por uno.

EE : ejes equivalentes acumulados en la pista de diseño.

A.1.4. CARACTERIZACIÓN DE LA SUBRASANTE

A.1.1. CBR DE DISEÑO

El método de diseño caracteriza las propiedades de los suelos de la subrasante mediante el ensayo CBR, determinado de acuerdo con el Método descrito en el Volumen correspondiente del presente Manual.

Normalmente la prospección de suelos se realizará mediante calicatas u otro tipo de mediciones apropiadas en cuya programación y ejecución debe tenerse en consideración lo expresado en el Numeral correspondiente a Prospección de Suelos en Caminos Nuevos.

El CBR representativo de cada calicata debe ser el correspondiente al estrato más débil comprendido hasta 900 mm por debajo de la rasante.

El valor representativo de las características de una determinada subrasante, para la que se cuenta con una serie de valores provenientes de la prospección de suelos, es fundamental para lograr un diseño adecuado del pavimento. Consecuentemente, la información recogida debe tratarse en forma sistemática y ordenada, de manera de asegurarse que los valores adoptados sean efectivamente los representativos de la situación real. La siguiente pauta define un procedimiento para analizar en forma sistemática y secuencial la información originada en una prospección de suelos mediante calicatas u otro procedimiento similar, con el propósito de caracterizar una subrasante:

- Disponer del perfil longitudinal del proyecto con la rasante prácticamente definitiva, aun cuando no necesariamente con todos sus parámetros y elementos calculados o totalmente definitivos.
- Preparar un cuadro, que puede ser igual o similar al del **Gráfico 47_1** que se incluye como ejemplo, conteniendo al menos la información que allí se señala. Los antecedentes a consignar deben corresponder a los del estrato más débil detectado hasta una profundidad mínima de 900 mm por debajo de la rasante del camino.

Los antecedentes incluidos en las diferentes columnas del cuadro del **Gráfico 47_1** son los siguientes:

Columnas 1 y 2	:	Número correlativo de la prospección y localización (kilometraje).
Columna 3	:	Número de la muestra/profundidad respecto de la superficie del suelo natural de donde se extrajo.
Columna 4	:	Altura de la rasante sobre el suelo natural; (+) terraplén, (-) corte
Columnas 5 y 6	:	Clasificación de suelos; sistemas U.S.C.S. y AASHTO
Columnas 7 y 8	:	Límites de Atterberg.
Columna 9	:	Peso Unitario Seco (P.U.S)

Columna 10	:	CBR al 95% de la D.M.C.S
Columna 11	:	Porcentaje de la densidad respecto al Proctor
Columna 12	:	CBR a la densidad natural. Los valores para muestras no ensayadas deben estimarse en base principalmente a la clasificación del suelo según AASH-TO, el P.U.S y/o el porcentaje del Proctor.

Antes de establecer el CBR de diseño, el camino deberá dividirse en tramos homogéneos en cuanto a las características de los suelos. Se entenderá que un tramo es homogéneo cuando el coeficiente de variación (razón entre la desviación estándar y el promedio) de los CBR representativos es igual o inferior a 50%. En las áreas representadas por valores del CBR menores que el promedio menos 2 desviaciones estándar, deben considerarse soluciones especiales para mejorar esa capacidad de soporte.

El CBR de diseño es un valor tal que se cumple que el 90% de todos los valores de la serie son iguales o superiores a él (percentil 90%). Por último, como criterio general de buen diseño, se recomienda evitar dejar hasta 900 mm por debajo de la rasante, suelos de baja capacidad soporte, es decir, suelos con CBR < 3%.

Asimismo, nunca colocar materiales de base o subbase directamente sobre suelos de baja capacidad soporte; se recomienda mantener entre los CBR de capas sucesivas una relación que no supere 1 a 4, aproximadamente.

A.1.2.EJEMPLO DE CÁLCULO DEL CBR DE DISEÑO

En el **Gráfico 47_1 (Calculo del CBR de diseño tramo: camino ejemplo) (Ver Anexo B)** se presenta un ejemplo de cálculo del CBR de diseño. El procedimiento es el siguiente:

- En las columnas 1 a la 11 se colocaron los antecedentes básicos tal como se describe en CBR de diseño
- La columna 12 indica los CBR a la densidad natural; algunos determinados mediante el respectivo ensayo de laboratorio y otros estimados, básicamente en la clasificación del suelo y la densidad natural o porcentaje del Proctor. Los valores estimados se individualizan con la letra “e” al costado derecho de la columna.
- En la columna 13 se anota el CBR utilizado para calcular el de diseño; son los de la columna 12, pero algunos han sido modificados ajustándose a alguno de los siguientes criterios:
 - En los tramos con CBR = 3% se prevé colocar una tela geotextil que mejora el equivalente a 3% del CBR; se indican con la letra “g”.
 - El CBR = 92,1 % queda por sobre el rango que define el promedio más dos desviaciones estándar, por lo que se elimina de la serie; se indica con la letra “r”.
- La serie resultante en la columna 13, se caracteriza por lo siguiente::

CBR Promedio = 11,9%

Desviación Estándar = 5,8

C. Variación = 49%; por consiguiente puede considerarse como un tramo homogéneo.

CBR de diseño (percentil 90%) = 5,75 ~ 6%

A.1.5. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

A.1.1.ESPESOR MÍNIMO DE RECUBRIMIENTO POR ENCIMA DE LA SUBRASANTE (EL TRATAMIENTO NO TIENE VALOR ESTRUCTURAL)

La capacidad de soporte de la subrasante, expresada en función del valor del CBR, es el elemento clave en la determinación de los espesores que requieren las diferentes capas del pavimento. Para garantizar que cada capa pueda aceptar, sin deteriorarse las solicitaciones previstas, debe garantizarse un espesor

mínimo de capas no tratadas. Este espesor mínimo, es función del CBR y se puede expresar con la siguiente relación:

$$e \text{ mín (mm)} = 592 - 308 \log (\text{CBR}) \quad (\text{ec } 60_1)$$

A.1.2. ESTRUCTURACIÓN

El proceso consiste en determinar una estructura tal que cumpla con las siguientes condiciones

- que el espesor de la base más la subbase sea igual o mayor que el valor resultante de aplicar la **ec 60_1**
- que la suma de los productos de los espesores por los correspondientes coeficientes estructurales de cada una de las capas que conforman el pavimento y hasta 900 mm por debajo de la rasante, sea al menos igual al Índice Estructural (IE) antes determinado.
- para todos estos efectos, el espesor del tratamiento bituminoso superficial se desprecia.

La estructuración se puede expresar como sigue:

$$IE = a_1 \times h_1 + a_2 \times h_2 + \dots + a_n \times h_n \quad (\text{ec. } 61_1)$$

$$h_1 + h_2 + \dots + h_n = 900 \text{ mm}$$

El espesor de la base más la subbase ($h_1 + h_2$) no debe ser inferior que el e mín., determinado mediante la **ec. 61_1**. Los coeficientes estructurales de las diferentes capas y materiales son los que se indican en la **Tabla 3.2_16**.

Tabla 3.2_16. COEFICIENTES ESTRUCTURALES

BASES (0 a 250 mm de profundidad)	Coef. Estructural
- Piedras trituradas, graduación abierta	1,037
- Piedras trituradas, bien graduadas	1,394
- Tratadas con cemento	
Resistencia a la compresión cilíndrica a 7 días $\geq 4,6$ MPa	2,400
Resistencia a la compresión cilíndrica a 7 días $\geq 2,8$ MPa	2,100
Resistencia a la compresión cilíndrica a 7 días $< 2,8$ MPa	1,600
- Tratadas con cal	1,400 – 1,600
- Gravas no tratadas	
CBR ≥ 100 %	1,394
CBR = 90 %	1,232
CBR = 85 %	1,167
CBR = 80 %	1,102
CBR = 75 %	1,037
CBR = 70 %	0,940
CBR = 60 %	0,552
CBR = 50 % (mín.)	0,383
SUBBASES (250 a 500 mm de profundidad)	
CBR ≥ 40 %	0,576
CBR = 35 %	0,290
CBR = 30 %	0,205

CBR = 25 % (mín.)	0,075
SUBRASANTE (500 a 900 mm de profundidad)	
CBR ≥ 20 %	0,481
CBR = 15 %	0,357
CBR = 10 %	0,212
CBR = 9 %	0,183
CBR = 8 %	0,133
CBR = 7 %	0,084
CBR = 6 %	0,053
CBR = 5 %	0,033
CBR = 4 %	0,020
CBR = 3 %	0,015
CBR = 2 % (mín.)	0,010

En relación a la **Tabla 3.2_16**, es muy importante tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Los coeficientes estructurales asignados para las bases sólo son válidos cuando los materiales se encuentran hasta 250 mm de profundidad bajo la rasante.
- Los coeficientes estructurales asignados para las subbases sólo son válidos cuando los materiales se encuentran entre 250 y 500 mm de profundidad.
- Los coeficientes estructurales de la subrasante son válidos para estratos comprendidos entre 500 y 900 mm de profundidad bajo la rasante.
- Los materiales con CBR = 40%, pueden también utilizarse entre 100 y 250 mm de profundidad, siempre que se les asigne el coeficiente correspondiente a Bases, CBR = 50% (a = 0, 383).

3.1.1. EJEMPLO:

El siguiente ejemplo muestra cómo se debe proceder en la estructuración del pavimento.

Parámetros de diseño:

Tránsito: EE acumulados en pista de diseño : 420.000 EE

- Valor representativo de la subrasante, CBR : 7 %
- Coeficiente de variación, v : 25 %

Cálculos:

Índice Estructural, IE (**ec. 62_1**)

$$IE(mm) = 1024v^{0,354} \left[\frac{9,56}{11,49 - \log EE} - 1 \right] = 396mm$$

- Espesor mínimo de recubrimiento (**ec. 63_1**)

$$e \text{ mín. (mm)} = 592 - 308 \log (\text{CBR}) = 332 \text{ mm}$$

- Estructuración (coeficientes estructurales según **Tabla 3.2_16**)

Capa	Profundidad	Espesor (mm)	Coefficiente Estructural	Índice Estructural (mm)
Base CBR=100%	0 – 200	200	1,394	278,8
Subbase CBR=40%	200 – 250	50	0,383	19,2
	250 – 380	130	0,576	74,9
Subrasante CBR=7%	380 – 500	120	--	--
	500 – 900	400	0,084	33,6
IE TOTAL				406,5>396

Espesor de base más subbase = 200 + 180 = 380 mm > 332 mm

A.1.1.UTILIZACIÓN DEL MÉTODO AASHTO PARA TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

En primer lugar, los tratamientos superficiales tienen poco o nada de aporte estructural ya que los mismos son utilizados como capas de protección sobre caminos estabilizados o como conservación de pavimentos asfálticos y los objetivos que se persiguen con este tipo de recubrimiento son la protección, impermeabilización y mejoramiento de la capa de rodadura, proporcionando además una superficie antideslizante, y no la de que esta capa tenga un aporte estructural.

Por tanto, el método AASHTO puede ser utilizado confiriendo a esta capa de tratamiento superficial un aporte estructural CERO, y que las demás capas estructurales por debajo de ella absorban las solicitudes para la cantidad de ejes calculados para el tiempo de vida útil, además del buen criterio y experiencia del Ingeniero estructurista.

3.2.2.3.4. TRATAMIENTO ASFALTICO SUPERFICIAL DOBLE

Son dos riegos alternados y uniformemente distribuidos de ligante bituminoso y árido sobre una superficie acondicionada previamente. El tamaño medio del árido de cada distribución sucesiva es la mitad o menos del tamaño medio de la capa precedente. El espesor total es aproximadamente igual al tamaño máximo nominal del árido de la primera aplicación.

A. DISEÑO

Seguir Guías indicadas en el Diseño de Tratamientos Superficiales MORIN – TODOR

3.2.2.3.5. CONCRETO ASFALTICO EN FRIO (PAVIMENTO FLEXIBLE)

Las mezclas de concreto asfáltico en frío, están constituidas por la combinación de uno o más agregados pétreos y un relleno mineral (filler de ser necesario), con un asfalto emulsionado catiónico o diluido con solvente, cuya mezcla, aplicación y compactación se realizan en frío (condiciones ambientales).

Es importante acotar, que cada vez más en el mundo, se está dejando de lado el uso de asfaltos diluidos en solventes (naftas, kerosén u otro solvente) ya que atacan activamente al medio ambiente cuando se evaporan. Por esta simple razón, es recomendable la utilización de emulsiones asfálticas, ya que el producto de evaporación de ellas es solamente agua.

Si bien el ligante puede ser precalentado hasta no más de 60° C, el resto de las operaciones, como queda expresado, se llevan a cabo a temperatura ambiente. Los agregados pétreos no requieren secado ni calentamiento, es decir, que se los emplea tal como se presentan en el acopio, con su humedad natural.

Estas mezclas también pueden ser elaboradas en la misma planta central destinada a la elaboración de las mezclas calientes, prescindiendo para ello del sistema de calefacción para el secado de los áridos y el calentamiento y circulación del asfalto.

Igualmente es posible la preparación in situ, es decir, sobre la misma calzada donde va a ser aplicada, para lo cual se utilizarán maquinarias y equipos más simples como son las motoniveladoras y mezcladoras livianas de una sola pasada, tipo motopavimentadora, etc. Las mezclas en frío con emulsiones catiónicas

nicas o con asfaltos diluidos al solvente presentan un amplio margen para su elaboración en relación con las mezclas convencionales en caliente.

En primer término porque el ligante emulsión es más adaptable a los agregados pétreos locales con elevado contenido de finos de difícil eliminación y en segundo lugar, porque pueden ser mezclados durante un tiempo más prolongado. En cambio, el mezclado en caliente es una operación que se ve limitada en ese aspecto, para evitar el enfriamiento de la mezcla antes de su compactación.

La decisión del uso de una u otra mezcla, en cada caso particular, dependerá del consejo técnico-económico, de la magnitud y lugar de emplazamiento de la obra, del tránsito, condiciones climáticas reinantes, etc.

A. DISEÑO

Se aplica el método Marshall con las modificaciones de equipo y técnica que se detallan:

A.1. EQUIPO.

Se utilizarán los mismos elementos y aparatos del método Marshall normal, excepto:

*** Molde de compactación:**

Será el mismo del método original, al que se le practicarán perforaciones laterales cónicas de 1 mm de diámetro interior y 2 mm de diámetro exterior, distribuidas simétricamente en cinco (5) hileras de doce (12) orificios cada una.

*** Prensa de compactación:**

Para la preparación de las probetas se aplicará compactación estática en lugar de dinámica, para lo cual se reemplaza el pisón por una prensa de accionamiento eléctrico o manual, que permita aplicar cargas de hasta 135 Kg/cm² (11 ton. aproximadamente), con una velocidad constante de 5 mm por minuto.

A.2. PREPARACIÓN Y ENSAYO DE PROBETAS.

Este método requiere que al aplicar la carga estática a la probeta, el agua contenida en la mezcla sea eliminada en forma nítida por las perforaciones del molde, sin ser acompañada por emulsión.

Se mezclan las distintas fracciones de agregados inertes secos y a temperatura ambiente.

Se le agrega la cantidad de agua prevista y se uniforma.

Se incorpora la emulsión establecida y se mezcla en forma homogénea.

Se deja en reposo durante 30 a 60 minutos, lapso en el cual deberá haberse desarrollado el proceso de rotura de la emulsión.

Se prepara el molde Marshall, perforado lateralmente, colocándole la base y el collar de extensión, perfectamente limpios.

Se introduce en el fondo un disco de papel de filtro u otro papel absorbente.

Transcurrido el tiempo de reposo de la mezcla, se la coloca totalmente en el molde, se la acomoda golpeando vigorosamente 30 veces con varilla de hierro o espátula y se nivela la superficie del material.

Se aplica sobre esta superficie un disco de papel absorbente y se apoya sobre el mismo la zapata del pistón de compactación.

Se lleva el conjunto a la prensa de compactación y se le aplica gradualmente una carga continua a razón de 5 mm por minuto, hasta completar los 135 Kg/cm², aproximadamente 11 toneladas, manteniendo esta carga total durante 5 minutos.

Al iniciar la compactación, se observará fluir el agua por los orificios, que al principio puede salir algo turbia, pero que inmediatamente se aclarará.

Si ello no ocurriera, se dejará más tiempo en reposo la mezcla o se preparará una nueva utilizando emulsión de rotura un poco más rápida.

Terminada la compactación se quita la base y mediante el extractor de probetas u otro elemento adecuado, se retira la probeta del molde.

Extraída la probeta se la identifica y lleva a estufa a 60° C hasta peso constante, no menos de 24 horas. Luego se deja la probeta a temperatura ambiente como mínimo 12 horas.

La altura de la probeta y la obtención de la densidad, estabilidad y fluencia se realizarán siguiendo el ensayo Marshall normal.

Se obtendrá asimismo la estabilidad residual por efecto del agua (24 horas a 60° C)

Terminados estos ensayos modificados, se obtendrán los parámetros para seguir los métodos de dimensionamiento más convenientes.

3.2.2.3.6. PAVIMENTO ARTICULADO (ADOQUINES)

El pavimento articulado consiste en un manto flexible de hormigón de alta resistencia, compuesto de elementos uniformes que se colocan en yuxtaposición y que debido a la conformación de caras laterales se consigue una transferencia de cargas desde el elemento que la recibe hacia varios de sus adyacentes, trabajando solidariamente y sin posibilidad de desmontaje individual.

Así se consigue, que la fracción de carga transmitida a la base por el elemento, sea igual al 40% de la carga que le es aplicada.

Los elementos son de hormigón de cemento, vibrado y prensado. Estos se elaboran mecánicamente, utilizando matrices, en instalaciones adecuadas, sea en plantas o en el mismo obrador, donde es posible tomar todas las precauciones que permitan obtener un producto de gran homogeneidad, tanto en sus dimensiones y forma, como en su resistencia a la compresión, al desgaste y a la absorción de agua, lo que le asegura una larga vida útil.

La producción de los componentes del pavimento articulado puede ser mecánica, mediante máquinas automáticas o artesanales, con una bloquera común.

Estos elementos sobre una base adecuada, conforman con su conveniente ensamblado, una superficie apta para soportar la acción del rodamiento de vehículos y facilitar el escurrimiento de las aguas. Las juntas entre las diversas piezas reciben un adecuado tratamiento impermeabilizante.

A. DISEÑO

Es conveniente utilizar bases buenas con CBR altos, convenientemente compactadas. En función a la resistencia de los adoquines el profesional proyectista podrá determinar si será utilizado para un tránsito mediano o bajo.

3.2.2.3.7. TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE (FLEXIBLE)

Consiste en una sola aplicación uniformemente distribuida de ligante bituminoso, seguido de una aplicación de árido de tamaño tan uniforme como sea posible. Esta se realiza sobre una superficie acondicionada y con una estructura apropiada a las condiciones de sollicitación a que va a estar expuesta.

A. DISEÑO

Seguir las Guías indicadas en el Diseño de Tratamientos Superficiales.

3.2.2.3.8. CONCRETO ASFALTICO EN FRIO

Indicado en el **Numeral 3.2.1.3.4.**

3.2.2.3.9. PAVIMENTO ARTICULADO (ADOQUINES)

Indicado en el **Numeral 3.2.1.3.4.**

SECCION 3.2.2.4.

DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS

Se denominan así los pavimentos constituidos por losas de hormigón hidráulico, armadas o no, que reposan generalmente sobre una base adecuadamente preparada y, a veces, sobre el propio terreno natural o del terraplén. A causa de su rigidez distribuyen las cargas transmitidas por el tráfico sobre un área relativamente amplia de la base o del terreno natural.

3.2.2.4.1. METODO AASHTO 93

El método de diseño de pavimentos rígidos nuevos sin armaduras y con o sin barras de traspaso de cargas, que se presenta está basado en el método AASHTO con las modificaciones introducidas en el Supplement to the AASHTO Guide of Paviment Structures Part II – Rigid Pavement Design & Rigid Pavement design, publicado en 1993.

El procedimiento es el método teórico empírico (mecanicista), que si bien mantiene el concepto básico del método AASHTO de 1993, añade nuevos términos que modifican la ecuación de diseño, a fin de incorporar las tensiones críticas que se producen en las losas del pavimento producto de la combinación de las cargas de borde, efecto de temperatura y distintas condiciones de borde, además, el método incluye verificación para más condiciones del escalonamiento de las juntas transversales, con y sin barras de traspaso de cargas y del agrietamiento de esquina, cuando no se le colocan barras de traspaso de cargas.

Para facilitar la comprensión y sistematizar el procedimiento de diseño, se incluye un diagrama de flujo con las secuencias de las distintas etapas del proceso, se presentan las ecuaciones que permiten establecer los espesores de las losas de pavimento y una breve descripción de las variables que intervienen en el método, recomendándose los valores a utilizar. Por último, se describen los procedimientos que se deben seguir para verificar las condiciones del escalonamiento de juntas y del agrietamiento de esquinas.

Los **Gráficos 35_1(Procedimiento de diseño de espesor de losa), 36_1 (Verificación de escalonamiento en juntas transversales), 37_1(Verificación de espesor por carga de esquina) (Ver Anexo B)** muestran esquemáticamente las recuentas a seguir para ajustarse al procedimiento de diseño descrito en la determinación de espesores de losa, la verificación de escalonamientos y las tensiones de esquina, respectivamente.

A. ECUACION DE DISEÑO

La ecuación de diseño es:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R S_0 + 7,35 \log_{10}(D + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,5 - 1,5} \right]}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D + 1)^{8,46}}} + (4,22) \quad (\text{ec. 31}_{28})$$

$$- 0,32 P_t \log \left[\frac{S'_c C_d [D^{0,75} - 1,132]}{215,63 J \left[D^{0,75} - \frac{18,42}{(E_c/k)^{0,25}} \right]} \right] \quad (\text{ec. 31}_{30})$$

$$(\text{ec. 31}_{31})$$

Dónde:

W_{18} = Numero de Ejes solicitantes en el carril de diseño (80KN)

Z_R = Factor determinado por la confiabilidad del diseño

S_0 = Desviación Estándar

D= Espesor de la losa (Pulg)

Δ PSI = Variación del Índice de Serviciabilidad Presente

S'_c = Resistencia a flexo tracción del Hormigón (PSI)

C_d = Coeficiente de drenaje

J = Coeficiente de transferencia de carga

E_c = Modulo Elástico del Hormigón (PSI)

k = Modulo de reacción de la Sub rasante (PCI)

En la expresión precedente son parámetros de entrada el Trafico (W_{18}), las condiciones de fundación (k), las condiciones del medio ambiente (C_d) y las características del material del pavimento (S'_c y E_c). Por otra parte, constituyen variables de diseño, el periodo de desempeño del pavimento, la confiabilidad, la desviación estándar y el coeficiente de transferencia de cargas.

B. SERVICIABILIDAD

El Índice de Serviciabilidad Inicial p_i , corresponde a la serviciabilidad al momento de puesta en servicio el camino y por lo tanto depende de la calidad de la construcción que se utilice. Debe tenerse en consideración que la vida útil real del pavimento se encuentra estrechamente ligada al nivel de la serviciabilidad inicial; a mejor p_i mayor vida útil para las mismas condiciones de servicio.

La serviciabilidad final (p_f) es el menor valor que puede alcanzar este indicador antes que resulte inconveniente transitar el pavimento.

En la **Tabla 3.2_17** se entregan los valores que se recomiendan para estos parámetros. En situaciones especiales se podrán adoptar índices de serviciabilidad final distintos a los que se señalan en la Tabla, siempre que se justifiquen adecuadamente y cuenten con la conformidad de la Dirección de Vialidad.

Tabla 3.2_17. INDICES DE SERVICIABILIDAD

Índice de Serviciabilidad Inicial (p_i)	4,2
Índice de Serviciabilidad Final (p_f)	2,5

C. EJES EQUIVALENTES SOLICITANTES

Las solicitaciones que deberá soportar la estructura se expresan como los EE acumulados durante el período de vida de diseño. Salvo que se indique o autorice especialmente de otra manera, normalmente los pavimentos rígidos deberán diseñarse en una sola etapa y para las vidas diseño que se indican en la **Tabla 3.2_18**.

Tabla 3.2_18. VIDA DE DISEÑO

CLASIFICACIÓN DEL CAMINO	VIDA DE DISEÑO (AÑOS)
De alto tránsito en zonas urbanas	25 – 40
Caminos Nacionales	20 – 30
Caminos principales	20
Caminos secundarios	20

El cálculo de las solicitaciones expresadas como ejes equivalentes (EE) se ajustará a los criterios expuestos en la Sección 3.2.2.2.2. y teniendo en consideración los siguientes aspectos:

- El TMDA para el año de partida, así como sus proyecciones, deberá responder a un estudio de demanda específico para el camino que se proyecta.
- El camino o proyecto debe sectorizarse en tramos homogéneos en los cuales las solicitaciones acumuladas durante la vida útil de diseño (EE) sean iguales.
- En lo posible se realizarán algunos pesajes de ejes para establecer, al menos, un orden de magnitud de los EE por tipo de vehículo que corresponde; los valores de EE/Veh. deben utilizarse sólo cuando no se dispone de otra información. Por lo demás, debe tenerse en consideración que habitualmente las estratigrafías de pesos por eje resultan mucho más livianas en las proximidades de las plazas de pesaje fijas que en el resto de la red.
- El cálculo de los EE debe presentarse en un cuadro igual o similar al modelo que se incluye como Cuadro del **Gráfico 30_1** y en todo caso debe incluir al menos antecedentes relacionados con el periodo de vida útil, el TMDA para cada año, total y para cada una de las categorías en que se hubiere dividido el tránsito, el factor de pista de diseño, los EE estimados para cada año y los acumulados.

D. CONFIABILIDAD

El grado de confiabilidad del diseño se controla por el factor de confiabilidad (F_R) que es función de un valor asociado al nivel de confianza de la distribución normal (Z_R) y de la desviación normal del error combinado (S_0) de todos los parámetros que intervienen en el comportamiento del pavimento.

Para las situaciones normales, la **Tabla 3.2_19** indica los niveles de confianza a utilizar en los diseños y los correspondientes valores del coeficiente estadístico Z_R . En situaciones especiales, tales como vías urbanas o semi urbanas de alto tránsito, túneles, accesos a viaductos con mucho tránsito, inmediaciones de las plazas de peaje, etc., se podrán adoptar niveles de confianza distintos a los que se señalan en la Tabla, siempre que se justifiquen adecuadamente y cuenten con la conformidad de la Dirección de Vialidad.

La desviación normal del error combinado (S_0), tal como se señala en el Numeral correspondiente incluye las dispersiones inherentes a todos los factores que influyen en el comportamiento del pavimento, entre los cuales tienen una participación preponderante los errores que pudieran darse en la predicción del tránsito solicitante y el grado de variabilidad que presentan los suelos de la subrasante. Cuando el nivel de solicitaciones es muy elevado, la probabilidad de errar por defecto en la predicción es menor, debido a que la pista de diseño se encuentra a niveles cercanos a la saturación; asimismo, entre mayor es la dispersión de los valores representativos de los suelos de la subrasante, existe una probabilidad más alta de fallas. Por último, con el propósito de minimizar los trabajos de mantenimiento durante la vida de servicio de la obra, el nivel de confianza del diseño debe crecer en la medida que aumenta el tránsito.

La **Tabla 3.2_18** indica los valores que se recomienda utilizar en los diseños de pavimentos flexibles en función de las solicitaciones esperadas y del coeficiente de variación (coeficiente de variación = desviación estándar / promedio) de la serie de valores representativos de las características de los suelos de la subrasante.

Tabla 3.2_19. CONFIABILIDAD (Z_r) Y VARIABILIDAD (S_0)

EE Solicitantes (millones)	Confiabilidad (%)	Z_r	S_0 en función del coeficiente variación de los suelos				
			15 %	20%	30 %	40%	50%
< 15	60	- 0,253	0,35	0,36	0,37	0,39	0,40
15 – 30	60 – 70	- 0,253 – 0,524	0,35	0,36	0,37	0,39	0,40

30 – 50	70 – 75	- 0,524 – 0,674	0,34	0,35	0,36	0,38	0,39
50 – 70	75 – 80	- 0,674 - 0,841	0,32	0,33	0,34	0,37	0,38
70 – 90	80 – 85	- 0,841 – 1,037	0,30	0,31	0,32	0,35	0,36

Debido a la mayor dispersión que resulta al determinar el número estructural para subrasantes débiles, conviene utilizar el mayor valor del rango del nivel de confianza para subrasantes de baja capacidad de soporte y mal drenaje.

El factor de confiabilidad (F_R) se determina con los valores del Z_R y S_0 que se adopten, según la ecuación, **ec. 32-1**.

$$\text{Log } F_R = - Z_R \cdot S_0 \text{ ó } F_R = 10^{-Z_R \cdot S_0} \quad (\text{ec. 32}_1)$$

E. MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE

El módulo de reacción de la subrasante, k (MPa/m), es el parámetro que se utiliza para caracterizar la capacidad de soporte de la subrasante. Muchas veces a la denominación se agrega la palabra “efectivo” para indicar que se está utilizando un valor medio compensado que toma en consideración las eventuales variaciones estacionales que, en ciertas circunstancias experimenta este parámetro a lo largo del año. En todo caso, se recomienda incluir esa consideración sólo cuando se prevea una penetración de la helada importante en suelos heladizos.

E.1. CORRELACIONES PARA SUELOS FINOS (A-4 A A-7M, SEGÚN CLASIFICACIÓN AASHTO)

La capacidad soporte de los suelos finos está muy influenciada por el nivel de saturación (S_r) a que se encuentran. Esta es función del contenido de humedad (ω), el peso unitario seco o densidad seca (d) y el peso específico (G). La relación es la siguiente:

$$S_r = \frac{\omega(\%)}{\frac{1000}{\gamma_d} - \frac{16}{G}} \quad (\text{ec. 33}_1)$$

Para cada tipo de suelo fino la misma AASHTO, ha determinado una función lineal que relaciona el valor de k (MPa/m) con S_r . Debe tenerse en consideración que las relaciones fueron establecidas para humedades iguales y superiores al 50%, por lo que extrapolaciones para grados de humedad inferiores, pueden conducir a errores. Para los suelos tipo A-6, la función lineal es válida sólo hasta un 85% de humedad; a mayor grado de saturación, el valor de k disminuye menos que la función lineal.

La siguiente función lineal general, expresada en la **ecuación 34_1**, en que A y B toman los valores de la **Tabla 3.2_20** permite determinar el valor de k que corresponde en cada caso.

$$k(\text{MPa/m}) = A \cdot S_r + B \quad (\text{ec. 34}_1)$$

Tabla 3.2_20. VALORES DE A Y B PARA SUELOS FINOS

Clasificación Suelo	A	B
A – 4	- 0,44	55,73
A – 5	- 0,59	70,07

A – 6 (para $S_r < 80\%$)	- 1,11	116,00
A – 6 (para $S_r \geq 80\%$)	$K = 1,76 \cdot 10^8 \frac{S_r}{5,78}$	
A - 7 – 5	- 0,77	86,14
A - 7 – 6	- 0,56	76,56

Nota: Para suelos A-4: usar ecuación A-4 si la densidad seca es entre 1.440 y 1.680 kg/m³ y CBR entre 4 y 8%. Usar ecuación A-7-6 para suelos con densidad seca entre 1.600 y 2.000 kg/m³ y CBR entre 5 y 15%.

E.2. RANGOS DE VALORES DE K PARA SUELOS GRANULARES

Para suelos granulares los valores de k se pueden estimar con la **Tabla 3.2_21**.

Tabla 3.2_21. RANGOS DE VALORES DE k PARA SUELOS GRANULARES

CLASIFICACION AASHTO	DESCRIPCION	U.S.C. S	DENSIDAD SECA (kg/m ³)	CBR (%)	k (MPa/m)
suelos gruesos					
A-1-a, bien graduado	Grava	GW, GP	2.000-2.250	60 – 80	80 - 120
A-1-a, mal graduado			1.900-2.100	35 – 60	80 – 110
A-1-b	Arena gruesa	SW	1.750-2.100	20 – 40	55 – 110
A-3	Arena fina	SP	1.680- 1.900	15 – 25	40 – 80
Suelos A-2 (granulares con muchos finos)					
A-2-4, grava	Grava limosa	GM	1.100-2.300	40 – 80	80 – 135
A-2-5, grava	Grava limo arenosa				
A-2-4, arenosa	Arena limosa	SM	1.900-2.150	20 – 40	80 – 110
A-2-5, arenosa	Grava areno limosa				
A-2-6, grava	Grava arcillosa	GC	1.900-2.250	20 – 40	55 – 120
A-2-7, grava	Grava areno arcilla				
A-2-6, arenoso	Arena arcillosa	SC	1.680-2.100	10 – 20	40 – 95
A-2-7, arenoso	Arena gravo arcillosa				

E.3. CORRELACIÓN CON EL CBR

La siguiente relación permite estimar el valor de k cuando se conoce el CBR, sin embargo, debe tenerse presente que el rango de variación respecto al promedio es del orden de $\pm 50\%$.

$$k \text{ (MPa/m)} = 69,78 \log_{10} (\text{CBR}) - 10,16 \quad (\text{ec.35}_1)$$

El CBR se debe determinar de acuerdo con el ensayo cuyo método se describe en el Volumen correspondiente de este Manual.

E.4. DETERMINACIÓN MEDIANDO ENSAYOS CON PLACA DE CARGA

El valor de k correspondiente a la subrasante puede determinarse mediante dos tipos de ensayos de placa de carga; ensayos con cargas estáticas repetitivas (AASHTO T221, ASTM D1195) o ensayos con car-

gas estáticas no repetitivas (AASHTO T222, ASTM D1196). Estos ensayos no fueron desarrollados para el caso específico del diseño de pavimentos rígidos por lo que no proporcionan en forma explícita el valor del parámetro k requerido por el método de diseño.

El diseño de los pavimentos rígidos requiere el k estático elástico; puede determinarse con cualquiera de los dos ensayos indicados sobre una subrasante terminada o sobre un terraplén, siempre que su altura sea de por lo menos 3 m; en caso contrario el resultado obtenido debe corregirse utilizando el ábaco **Gráfico 40_1 (Tensión de tracción en la fibra superior de la losa debido a la acción combinada de carga de esquina y un diferencial negativo de temperatura 1) (Ver Anexo B).**

El ensayo debe realizarse con un plato de 762 mm (30") de diámetro. En el ensayo repetitivo, el k se determina como la razón entre la carga y la deformación elástica (la parte que se recupera de la deformación total); en el ensayo no repetitivo, se usa la razón entre carga y deformación para una deformación de 1,25 mm (0,05").

E.5. AJUSTE PARA DISEÑO

El valor del k del suelo natural debe modificarse cuando se presentan cualquiera (o ambas) de las siguientes condiciones:

- a existencia de un estrato rígido, tal como roca o un estrato de suelo firmemente cementado (tosca, canchagua, manto de caliche, etc.) localizado hasta 3 m por debajo del nivel de la rasante
- un terraplén construido sobre el suelo natural.

Para ajustar el valor del k cuando se dan las condiciones señaladas, se puede utilizar el ábaco del **Gráfico 40_1 (Tensión de tracción en la fibra superior de la losa debido a la acción combinada de carga de esquina y un diferencial negativo de temperatura 1) (Ver Anexo B).**

E.5.1. SISTEMATIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE LA PROSPECCIÓN DE SUELOS

El valor representativo de las características de una determinada subrasante, para la que se cuenta con una serie de valores provenientes de la prospección de suelos, es fundamental para lograr un diseño adecuado del pavimento. Consecuentemente, la información recogida debe tratarse en forma sistemática y ordenada, de manera de asegurarse que los valores adoptados sean efectivamente los representativos de la situación real.

La siguiente pauta define un procedimiento para analizar en forma sistemática y secuencial la información originada en una prospección de suelos con el propósito de caracterizar una subrasante; se ha supuesto una prospección mediante ensayos tradicionales (el procedimiento cuando se dispone de ensayos no destructivos, tipo deflectometría, se indica en el Numeral correspondiente a la Evaluación del Pavimento Existente):

- Programar la prospección cuando se disponga de un perfil longitudinal del proyecto con la rasante prácticamente definitiva, aun cuando no necesariamente con todos sus parámetros y elementos calculados o totalmente definitivos.
- Preparar un cuadro, que puede ser igual o similar al del **Gráfico 39_1 Calculo módulo de reacción de la subrasante tramo: camino ejemplo (Ver Anexo B)** que se incluye como ejemplo, conteniendo al menos la información que allí se indica, cuando se utiliza el CBR para calcular el k e introduciendo las alteraciones necesarias, cuando se utiliza otro procedimiento. Los antecedentes a consignar deben corresponder a los del estrato más débil detectado hasta una profundidad de mínimo 1,5 m por debajo de la rasante del camino y de preferencia hasta 3 m por debajo de ella.

Los antecedentes incluidos en las diferentes columnas del **Gráfico 39_1** son los siguientes:

Columnas 1 y 2	:	Número correlativo y localización (kilometraje) de la prospección.
Columna 3	:	Número de la muestra/profundidad respecto de la superficie del suelo natural de donde se extrajo la muestra.
Columna 4	:	Altura de la rasante sobre el suelo natural; (+) terraplén, (-) corte.

Columnas 5 y 6	:	Clasificación de suelos; sistemas U.S.C.S. y AASHTO.
Columnas 7 y 8	:	En el ejemplo se indican los Límites de Atterberg; si el k se determinara por correlación con la clasificación y grado de saturación, debería cambiarse por el contenido de humedad (w) y el peso específico.
Columna 9	:	Peso Unitario Seco (PUS).
Columna 10	:	En el ejemplo se indica el CBR al 95% de D.M.C.S.; en otros casos se podría indicar el grado de saturación.
Columna 11	:	En el ejemplo se incluye el porcentaje de la densidad respecto al Proctor; en otros cálculos podría eliminarse.
Columna 12	:	Se indica el CBR a la densidad natural. (Los valores para CBR no ensayados se deben estimar en base principalmente a la clasificación del suelo según AASHTO, la Densidad Natural y/o el porcentaje del Proctor).
Columna 13	:	Valor de k calculado (k nat).
Columna 14	:	Valor del k modificado (k cor) por la presencia de un estrato rígido a menos de 3 m de profundidad y/o por existir un terraplén que modifica el k según el ábaco correspondiente.
Columna 15	:	Valor del k adoptado para el diseño.

E.5.2. MÓDULOS DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE DEL DISEÑO

El método de diseño AASHTO utiliza como k de diseño, el valor promedio de la serie muestral; por otra parte, adoptando el S_o adecuado, se incorpora la dispersión que presenta la serie por medio del coeficiente de variación (coeficiente de variación = desviación estándar / promedio). Por lo tanto, utilizar procedimientos más conservadores para definir el valor de diseño implica aceptar coeficientes de seguridad mayores que los necesarios, además que se pierde el control sobre el nivel de confianza con que resulta el diseño.

Como criterio general para un buen diseño, se recomienda evitar dejar hasta 1,5 a 2,0 m por debajo de la rasante, suelos de baja capacidad soporte, es decir suelos con el equivalente a CBR = 3 %, salvo que un estudio o tratamiento especial asegure que se comportarán en forma adecuada. Cuando se presentan suelos de las características señaladas, normalmente existen tres posibilidades para ajustarse al requerimiento de mejorar su capacidad soporte:

- Realizar un estudio de Mecánica de Suelos que permita establecer procedimientos para densificar el suelo, normalmente junto con drenarlo, con lo que mejora su capacidad soporte.
- Reemplazar un estrato del suelo de baja capacidad por otro mejor. Esta solución presenta el problema de cómo evitar que el tramo donde se realizó el reemplazo se convierta en una especie de "piscina", con lo que se pierde todo el efecto deseado. La "piscina" se crea porque el suelo de reemplazo es normalmente mucho más permeable que el que lo rodea, de manera que el agua que alcanza hasta él no puede drenar.
- Colocar una tela tipo geotextil que aumente la capacidad soporte del suelo. Esta alternativa, normalmente de fácil aplicación, permite considerar que la colocación del geotextil equivale a elevar la capacidad soporte del suelo en el equivalente de 3 a 5 % del CBR, tal como se explica en la Sección 3.2.1.4. De acuerdo con ello, si sobre un suelo CBR = 2% se coloca una tela geotextil, equivale para los efectos del comportamiento, como si el suelo tuviera una capacidad soporte de CBR entre 5 y 7%. En todo caso para utilizar este procedimiento debe verificarse que el recubrimiento sobre la tela sea el adecuado para evitar ahuellamientos, deformaciones y eventuales roturas de la tela.

Por otra parte, en las zonas donde la rasante impone terraplenes, el k representativo debe modificarse tal como se muestra En el **Gráfico 38_1 Ajuste de K para terraplén y/o estrato rígido (Ver Anexo B)** en función de la altura del terraplén y la densidad de los suelos que lo conforman. También modifica el k la presencia de un estrato rígido a menos de 3 m de profundidad.

En el caso de cortes de alturas importantes, el plano de la subrasante normalmente intercepta suelos de mucha mejor calidad que los detectados en la superficie; esta circunstancia también debe ser considerada para el diseño.

Cualquiera fuere la razón o el procedimiento que se utilice para modificar la capacidad soporte del suelo en la zona representada por la muestra, el valor correspondiente del k representativo se coloca en la columna 14 del cuadro del **Gráfico 39_1 Cálculo módulo de reacción de la subrasante tramo: camino ejemplo (Ver Anexo B)**.

El siguiente paso es establecer el k de diseño para sectores o tramos considerados homogéneos en cuanto a las características de los suelos. Se considera que un tramo es homogéneo cuando el coeficiente de variación no es superior al 50 %; con este valor se determina el correspondiente S_0 , para lo que se utiliza la **Tabla 3.2_10**. Sin embargo, como el S_0 depende del coeficiente de variación y por consiguiente modifica los espesores de la estructura, es conveniente analizar más de una sectorización antes de optar por una definitiva.

Una vez definida la sectorización se calcula, para cada tramo, el k promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación. Los valores del k superiores al promedio más 2 desviaciones estándar, se desechan y no entran en el cálculo; las zonas o áreas representadas por valores inferiores al promedio menos 2 desviaciones estándar, deben tratarse para mejorar la calidad del suelo de fundación, para lo cual pueden aplicarse algunos de los procedimientos indicados más arriba.

E.5.3. EJEMPLO DE CÁLCULO DEL K

En el **Gráfico 39_1 Cálculo módulo de reacción de la subrasante tramo: camino ejemplo (Ver Anexo B)** se incluye un ejemplo de cómo determinar el Módulo de Reacción de la Subrasante se diseñó. El procedimiento es el siguiente:

- En las columnas 1 a la 12 se anotaron los antecedentes básicos. Se señalan los CBR a la densidad natural, tanto determinados en laboratorio como estimados, básicamente por correlación con los anteriores por la clasificación de los suelos y la densidad natural; estos se individualizan con una letra "e" al costado derecho de la columna.
- En la columna 13 se anota el valor de k calculado, correspondiente a la densidad natural.
- En la columna 14 se indica el valor del k corregido, sea por la presencia de un estrato rígido a menos de 3 m de profundidad (**Gráfico 38_1**), sea por la existencia de un terraplén (**Gráfico 38_1**) o por un reemplazo de material.
- Debajo de la columna 14 se entrega una serie de antecedentes respecto de la serie analizada, compuesta de 21 valores:

Promedio	= 64,5 MPa/m
Desv. Estándar	= 23,6 MPa/m
C. Variación	= 36,6 %%
Promedio más 2 desv. Estándar	= 111,8
Promedio menos 2 desv. Estándar	= 17,3

- El tramo es homogéneo pues el coeficiente de variación es menor que 50%. No se requiere de una división adicional.
- El valor correspondiente al Pozo N° 8, $k = 127$ MPa/m es mayor que el promedio más 2 desviaciones estándar, por lo que corresponde retirarlo.
- La nueva serie (k dis en la columna 15) queda compuesta ahora de sólo 20 valores y tiene las siguientes características:

Promedio	= 61,4 Mpa/m (valor de diseño)
D. Estándar	= 19,3 %
C. Variación	= 31,4 %

- Para los efectos de diseño se debe utilizar k = 61 Mpa/m.

- De acuerdo con la **Tabla 18_5** para un coeficiente de variación de 31%, corresponde elegir un $S_{0'}$ en función de los EE solicitantes de los que se indican en la columna correspondiente a $S_0 = 30\%$.

E.5.4. RESISTENCIA DE LA FLEXO TRACCIÓN

Para el diseño se debe utilizar exclusivamente, la resistencia media de diseño a la flexotracción a 28 días y con las cargas de ensayo en los tercios. El valor a asignar a este parámetro dependerá de las posibilidades que existan en la zona del proyecto para preparar hormigones de calidad. Sin perjuicio de lo anterior, para situaciones donde no se presenten condicionantes restrictivas (disponibilidad de áridos de calidad, equipo de preparación adecuado, etc.), en función del tipo de vía, se recomiendan los valores que se indican en la **Tabla 3.2_22**.

Tabla 3.2_22. RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCION (Promedio a los 28 días)

Tipo de Vía	Resistencia a la Flexotracción (MPa)
Carreteras Primarias	4,8 – 5,4
Carreteras Secundarias	4,6 – 5,0
Caminos Terciarios	4,2 – 4,8

Para el Módulo de elasticidad de hormigones de características normales se recomienda, en general, utilizar el valor de 29.000 MPa. También se puede estimar con la siguiente relación, en función de la resistencia a la compresión cilíndrica:

$$E_c = 4.779,4 \times f^{0,5} \quad (\text{ec. 36}_1)$$

en que:

E_c : Módulo de elasticidad del hormigón (MPa)

f : Resistencia a la compresión cilíndrica (MPa)

E.5.5. MÓDULO DE ELASTICIDAD Y COEFICIENTE DE FRICCIÓN DE BASE

La **Tabla 3.2_23** incluye valores que permiten estimar el módulo de elasticidad de la base que se utilice y el coeficiente de fricción entre base y pavimento.

Tabla 3.2_23. TABLA DE ELASTICIDAD Y COEFICIENTE DE FRICCIÓN DE LAS BASES

Tipo de Material de Base	Módulo Elasticidad (MPa)	Coeficiente de Fricción		
		Bajo	Medio	Alto
Suelo Fino	20,6 – 275,6	0,5	1,3	2,0
Arena	68,9 – 172,3	0,5	0,8	1,0
Granular	103,4 - 310,1	0,7	1,4	2,0
Gráfico Polietileno	-	0,5	0,6	1,0
Arcilla Estabilizada con Cal	137,8 – 482,3	3,0	-	5,3
Base Tratada con Cemento	$(3,45+fc') \cdot 1000$	8,0	34	63

Base Tratada con Asfalto	2067 – 4134	3,7	5,8	10
Hormigón Pobre sin Compuesto Curado	$(3,45+fc') \cdot 1000$	> 36		
Hormigón Pobre con Simple o Doble Compuesto Curado.	$(3,45+fc') \cdot 1000$	3,5	-	4,5

f'_c : Resistencia a la Compresión, MPa.

E.5.6. FACTOR DE AJUSTE POR TIPO DE BANQUINA

El Factor de ajuste por el tipo y características de la banquina a construir, se incluye en la **Tabla 3.2_24**. El concepto de borde libre implica una pista de circulación de 3,5 m de ancho con banquetas granulares, sin revestir, revestidas con un tratamiento superficial o con una capa asfáltica; la banquina de hormigón amarrada se refiere a una banquina pavimentada con un pavimento de hormigón de no menos de 150 mm de espesor, 600 mm de ancho y amarrada a la pista mediante barras de acero y la pista ensanchada se refiere a una pista de no menos de 4,3 m de ancho construida de una sola vez, en la que se demarca para que el tránsito circule como en una pista de 3,5 m de ancho.

Tabla 3.2_24. FACTOR DE AJUSTE POR TIPO DE BANQUINA

Tipo de Banquina	Factor TB
Borde libre	1,00
Banquina de hormigón amarrada	0,94
Banquina de pista ensanchada	0,92

E.5.7. TEMPERATURAS Y PRECIPITACIONES

El modelo para diseño requiere de antecedentes relacionados con el clima de la zona donde se emplaza el proyecto; se recomienda adoptar el promedio de al menos un periodo de 10 años. Los parámetros que intervienen son:

- Velocidad media anual del viento (nudos)
- Temperatura del aire media anual (° C)
- Precipitación media anual (mm)
- Número de días con precipitación mayor que 5 mm

– Estructuración

Los pavimentos rígidos que se diseñen bajo los términos que señala este Manual y salvo, instrucción o aprobación especial de la Dirección de Vialidad, deberán ajustarse a los siguientes términos generales:

- Deben diseñarse con una base granular de 150 mm de espesor compactado.
- Las juntas de contracción se distanciarán entre 3 y 5 m, debiendo adoptarse el valor inferior para zonas donde las variaciones de temperaturas sean extrema y el superior donde sean menos pronunciadas. En cualquier caso, la distancia entre juntas es uno de los parámetros que intervienen en el diseño, por lo que deberá analizarse cuál es la distancia más conveniente para cada proyecto en especial.

- Cualquiera fuere el espesor resultante al aplicar las relaciones que se incluyen en este Manual, los pavimentos de hormigón a diseñar para la Dirección de Vialidad no tendrán más de 300 mm de espesor.
- El espesor mínimo normal será de 180 mm, salvo que se demuestre en base a valorizar los parámetros que intervienen en el diseño, que dicho espesor puede disminuirse en un caso especial.

E.5.8. DETERMINACIÓN DE ESPESORES

E.5.8.1. TENSIÓN DE TRACCIÓN MÁXIMA DE LA LOSA CON CARGA DE BORDE

Considerado el efecto de la temperatura

La tensión de tracción máxima considerando carga de borde y los efectos de la temperatura (σ_t') se determina con la ecuación siguiente:

$$\sigma_t' = \sigma_t T_b F \left(1,0 + \left(\frac{5}{9} \right) b \Delta T (+) \right) [MPa] \quad (\text{ec } 37_1)$$

dónde:

σ_t = Tensión de tracción máxima en la losa de hormigón para una condición de carga de borde, en MPa, dada por la **ecuación 38_1**.

$$\sigma_t = \frac{80.012,743}{D^2} \left[4,227 - 4,547 \left(\frac{180}{5,622 \pi l} \right)^{0,2} - 0,00158 \left(\frac{E_b \times H_b}{k} \right)^{0,5} - 0,0308 \left\{ H_b \left(\frac{E_b}{E_c} \right)^{0,75} \right\}^{0,5} \right] \quad \text{ec. } 38_1$$

$$l = \sqrt[4]{\frac{E_c \cdot D^3}{12 \cdot (1 - \mu^2) \cdot k}} \quad [\text{mm}] \quad (\text{ec. } 39_1)$$

- D : Espesor de losa (mm).
- E_c : Módulo de elasticidad del hormigón (salvo condiciones especiales, usar 29.000 MPa).
- E_b : Módulo de elasticidad de la base, MPa.
- H_b : Espesor de la base, mm.
- K : Módulo de reacción de la subrasante, MPa/m.
- μ : Razón de Poisson para el hormigón (salvo casos especiales utilizar 0,15).
- T_b : Factor de ajuste por tipo de banquina dado por la **Tabla 3.2_24**.
- F : factor de ajuste por fricción dado por la **ecuación 40_1**
- F : $1,117 - 2,457 \cdot 10^{-7} \cdot D \cdot E_b - 4,549 \cdot 10^{-4} \cdot D + 9,100 \cdot 10^{-5} \cdot E_b - 0,000315 \cdot f$ (**ec. 40_1**)

f : coeficiente de fricción entre la losa y la base dado por la Tabla correspondiente

b : factor de ajuste por longitud de losa dado por la ecuación correspondiente

$$\log b = -1,944 + 2,279 \frac{D}{1} + 91,7 - 75718996,95 \frac{D^2}{k \cdot l^4} + \left(\frac{0,731}{1} \right) \left(\frac{E_b \cdot H_b^{1,5}}{k} \right)^{0,1} - 118,872 \frac{D^3}{k \cdot l^2} - 8,711 \cdot 10^{10} \frac{D^3 \cdot L}{k \cdot l^4}$$

(ec. 41_1)

L : Distancia entre juntas de contracción (m)

$\Delta T (+)$ = Diferencial efectivo de temperatura positivo. Se define como la diferencia entre la temperatura de la fibra superior e inferior de la losa, en ° C, dado por la **ecuación 42_1**.

$$\Delta T (+) = 12,33 - \frac{2385,715}{D} + 0,707 \cdot WIND + 0,596 \cdot TEMP - 5,924 \cdot 10^{-4} \cdot PRECIP$$

(ec. 42_1)

WIND : Velocidad media anual del viento, nudos.

TEMP : Temperatura media anual del ambiente, ° C.

PRECIP : Precipitación media anual, mm.

E.5.8.2. TENSIÓN DE TRACCIÓN MÁXIMA DE LA LOSA PARA UNA CONDICIÓN DE CARGA DE BORDE, CONSIDERADO EFECTO DE TEMPERATURA, EN LAS CONDICIONES DE LA PRUEBA AASHTO

La tensión de tracción máxima considerando carga de borde y efecto de temperatura, en las condiciones de la Prueba AASHTO, se determina mediante la **ecuación 43_1**.

$$\sigma_i = \frac{80012743}{D^2} \left[4,125 - \left(\frac{7,286}{D^{0,15}} \right) \right]$$

$$\sigma_i = \sigma_{(AASHTO)} \cdot F_{AASHTO} \left[1,0 + \left(\frac{5}{9} \right) b_{AASHTO} \Delta T (+)_{AASHTO} \right]$$

(ec. 43_1)

$$\sigma_i = \frac{80012743}{D^2} \left[4,125 - \left(\frac{7,286}{D^{0,15}} \right) \right] \quad (\text{ec. 44}_1)$$

Dónde:

$$F_{AASHTO} = 1,192 - 0,000497D \quad (\text{ec. 45}_1)$$

$$\log b_{AASHTO} = -1,944 + 0,134.D^{0,25} - 0,0137.D^{0,5} + \frac{29,0679}{D^{0,75}} - \frac{30,150}{D} - \frac{546,368}{D^{1,5}} \quad \text{ec. 46}_1)$$

$$\Delta T(+)_AASHTO = 25,308 - \frac{2527,859}{D} \quad (\text{ec. 47}_1)$$

E.5.8.3. VERIFICACIÓN DEL ESCALONAMIENTO SIN BARRAS DE TRASPASO DE CARGAS

Para verificar la magnitud de los escalonamientos se utilizan modelos desarrollados por la Dirección de Vialidad, a través del Instituto de Investigaciones y Ensayos de Materiales (IDIEM) de la Universidad de Chile en 1997. Los modelos son para pavimentos de hormigón simple con juntas sin barras de traspaso de carga. En general, los modelos se calibraron en pavimentos en servicio que experimentaron bajos escalonamientos de las juntas transversales y por lo tanto, se encuentran en revisión; en cualquier caso es la información disponible más fidedigna para las condiciones nacionales.

- Pavimento sobre Base Tratada con Cemento.

$$ESCAL_{BTC} = W_{18}^{0,434729} \left(0,009539.N5 + DEFLE^{0,378606} + 0,058668.DREN - 0,150972 \right) \quad (\text{ec. 48}_1)$$

Dónde:

ESCALBTC : Escalonamiento promedio de juntas transversales para pavimentos sobre una Base Tratada con Cemento, mm.

W_{18} : Ejes Equivalentes acumulados, millones.

N5 : Número de días con precipitación mayor a 5 mm.

DEFLEX : Deflexión de esquina de la losa (**ecuación 38_1**), mm.

DREN : 0 si existe dren.

: 1 en cualquier otro caso.

Con:

$$DEFLEX = \left(\frac{P}{kI^2} \right) \left(1.1 - \frac{0,88 \cdot a \cdot \sqrt{2}}{l} \right) \quad (\text{ec. 49}_1)$$

Dónde:

P : Carga de rueda, 4086 kg.

a : Radio del área de carga, 14,37 mm.

l : Radio de rigidez relativa sistema losa fundación, mm.

$$l = \sqrt[4]{\frac{E_c \cdot D^3}{12 \cdot (1 - \mu^2) \cdot k}} \quad \text{ec. 50}_1)$$

E_c : 29.000 MPa

D : Espesor de losa, mm.

μ : Coeficiente de Poisson ($\mu = 0,15$)

k : Módulo de reacción de la subrasante, MPa/m

- Pavimento sobre Bases Abiertas Ligadas y Granulares.

$$ESCAL_{GR,BAL} = W_{18}^{0,461188} \left(0,006742 \cdot N5 - 0,125288 \cdot GR - 0,148135 \cdot BAL + \right. \\ \left. DEFLEX^{0,369655} + 0,457194 \cdot DREN - 0,373423 \right) \quad (\text{ec. 51}_1)$$

Dónde:

$ESCAL_{GR,BA}$: Escalonamiento promedio de juntas transversales, mm.

W_{18} : Ejes Equivalentes acumulados, millones.

N5 : Número de días con precipitación mayor a 5 mm.

DEFLEX : Deflexión de esquina de la losa (ecuación 2,15), cm.

DREN : 0 si existe dren

: 1 en cualquier otro caso.

GR : 1 si es base granular.

: 0 en cualquier otro caso.
 BAL : 1 si es base abierta ligada.
 : 0 en cualquier otro caso.

Para que el diseño sea aceptable y salvo que expresamente la Dirección de Vialidad acepte para un caso específico otra cosa, el escalonamiento no debe superar los 5 mm. Se debe tener en consideración que en la gran mayoría de los casos, un escalonamiento excesivo no se soluciona simplemente aumentando el espesor del pavimento.

Diseñando con losas más cortas se disminuye el escalonamiento; si por ese procedimiento aún no se logra un escalonamiento aceptable, sólo queda incorporar barras de traspaso de cargas en las juntas.

E.5.8.4. VERIFICACIÓN POR CARGA DE ESQUINA

La verificación por cargas en las esquinas se realiza sólo cuando no se consideran barras de traspaso de cargas en las juntas; el proceso de verificación consiste en lo siguiente:

Determinar el espesor de losa requerido, asumiendo que la carga crítica es aquella ubicada en el borde

- Calcular la tensión de borde de losa
- Calcular el diferencial de temperatura negativo equivalente consecuencia del efecto de temperatura, alabeo de construcción y humedad, para lo que se utilizan las siguientes expresiones:

Diferencial efectivo de temperatura negativo, ° C:

$$\Delta T(-) = 28,62 + \frac{2377,897}{D} + 0,817 \cdot WIND + 0,227 \cdot TEMP + 2,884 \cdot 10^{-4} \cdot PRECIP \quad (\text{ec. 52}_1)$$

dónde:

- $\Delta T(-)$: diferencial efectivo de temperatura negativo. Se define como la diferencia entre la temperatura de la fibra superior e inferior de la losa, en °C.
- D : espesor de losa, mm.
- WIND : velocidad media anual del viento, nudos.
- TEMP : temperatura media anual del ambiente, °C.
- PRECIP : precipitación media anual, mm.

Gradiente negativo de temperatura equivalente debido a curvatura por construcción y humedad:

- Para clima húmedo; precipitación media anual ≥ 760 mm ». 0 a 0,044 ° C/ mm; se sugiere utilizar 0,022 ° C/mm.
- Para clima seco; precipitación media anual < 760 mm. » 0,022 a 0,066 ° C/ mm; se sugiere utilizar 0,044 ° C/mm.

- Calcular la tensión de esquina en la losa por efecto de carga y alabeo por temperatura. Esta tensión se estima de los gráficos que se presentan en las **Gráficos 44_1 al 47_1 (Tensión de tracción en la fibra superior de la losa debido a la acción combinada de carga de esquina y un diferencial negativo de temperatura, Factor de ajuste según nivel de adherencia, considerando carga de esquina y un diferencial negativo de temperatura y Calculo del CBR de diseño tramo: camino ejemplo) (Ver Anexo B)**. Esos gráficos están referidos para dos tipos de base y tres tipos de subrasante, considerando la losa totalmente adherida a la base.
- Corregir la tensión de esquina según nivel de adherencia para el caso de bases tratadas.
- Comparar la tensión producto de una carga en el borde de la losa y la tensión producida por una carga en la esquina.

Si la tensión producto de una carga en la junta, combinada con un gradiente negativo de temperatura, es mayor que aquella que produce una carga ubicada en la mitad de la losa combinada con un gradiente positivo de temperatura, entonces se debe rediseñar el pavimento.

E.5.9. VERIFICACIÓN DEL ESCALONAMIENTO CON BARRAS DE TRASPASO DE CARGAS EN LAS JUNTAS

El modelo para establecer el escalonamiento para juntas con barras de traspaso de carga es el siguiente:

$$\begin{aligned}
 \text{FAULTD} = & 2,54 \cdot \text{CESAL}^{0,25} \cdot (0,0628 - 0,0628 \cdot C_d + 7,7245023 \cdot 10^{-5} \cdot \text{BSTRESS}^2 \\
 & + 4,424617 \cdot 10^{-11} \cdot \text{JTSPACE}^2 + 1,4814 \cdot 10^{-10} \cdot (1,8 \cdot \text{FI} + 32)^2 \cdot \text{PRECIP}^{0,5} \quad (\text{ec. 53}_1) \\
 & - 0,009503 \cdot \text{Basetype} - 0,01917 \cdot \text{Widenlane} + 0,0009217 \cdot \text{Age}
 \end{aligned}$$

(Ver Gráficos 40_1 al 45_1 Tensión de tracción en la fibra superior de la losa debido a la acción combinada de carga de esquina y un diferencial negativo de temperatura y 46_1 Factor de ajuste según nivel de adherencia, considerando carga de esquina y un diferencial negativo de temperatura) (Ver Anexo B).

Dónde:

FAULTD : Escalonamiento promedio predicho para pavimentos de hormigón simple con juntas con barras de traspaso de carga, mm.

CESAL : Ejes Equivalentes acumulados para el período de diseño, millones.

C_d : Coeficiente de drenaje AASHTO modificado, dado por la **Tabla 3.2_25**

Tabla 3.2_25. COEFICIENTE DE DRENAJE AASHTO MODIFICADO

Drenaje Longitudinal	Clima	Subrasante Suelos finos		Subrasante Suelos Granulares	
		Base No-Permeable	Base Permeable	Base No-Permeable	Base Permeable
No	Húmedo	0,70 – 0,90	0,85 – 0,95	0,75 – 0,95	0,90 – 1,00
No	Seco	0,90 – 1,10	0,95 – 1,05	0,90 – 1,15	1,00 – 1,10
Si	Húmedo	0,75 – 0,95	1,00 – 1,10	0,90 – 1,10	1,05 – 1,15
Si	Seco	0,95 – 1,15	1,10 – 1,20	1,10 – 1,20	1,15 – 1,20

Notas:

Suelos Granulares: Clasificación AASHTO A-1 a A-3

Suelos Finos: Clasificación AASHTO A-4 a A--8

Base Permeable: k = 305 m/día. Coeficiente de Uniformidad (C_u) = 6

Clima Húmedo: Precipitación > 635 mm/año

Clima Seco: Precipitación = 635 mm/año

Seleccionar el valor medio del intervalo y utilizar otras características del drenaje (pendiente transversal, profundidad de los fosos, drenabilidad relativa de la subbase, diseño como tina de baño, etc.) para seleccionar el valor final.

Bstress = tensión de compresión máxima en el hormigón debido a la flexión de la barra, en MPa. **(Ecuación 54_1).**

$$Bstress = 32.560631 \cdot f_d \cdot P.T. \left(\frac{K_d \cdot \left(2 + BETA \cdot \frac{OPENING}{2.54} \right)}{4 \cdot E_s \cdot BETA^3} \right) \quad \text{(ec. 54_1)}$$

$$BETA = 4.5188379 \cdot \sqrt[4]{\frac{K_d \cdot DOWEL}{4 \cdot E_s \cdot I}} \quad \text{(ec. 55_1)}$$

f_d = factor de distribución

$$f_d = \frac{2.12}{\frac{I}{2.54} + 1} \quad \text{(ec. 56_1)}$$

I = radio de rigidez relativo losa-suelo de fundación, mm.

I = momento de inercia de la sección transversal de barra de transferencia de carga, mm⁴.

$$I = 0.25 \cdot \pi \cdot \left(\frac{DOWEL}{2} \right)^4 \quad \text{(ec. 57_1)}$$

P : carga aplicada, 4082,56 kg.

T : porcentaje de transferencia de carga **(adoptar 45%)**.

K_d : módulo de reacción de la barra, 405 MPa/mm.

BETA : rigidez relativa del sistema hormigón - barra.

DOWEL : diámetro de la barra, mm.

- E_s : módulo de elasticidad de la barra, MPa.
 OPENING : abertura promedio de la junta transversal, mm. **(ec. 58_1)**

$$OPENING = 0,9997 \cdot CON \cdot Jt_{space} \cdot \left(\frac{1,08 \cdot 10^{-5} \cdot TRANGE + 1,92 \cdot 10^{-4}}{2 + e} \right) \quad \text{(ec. 58_1)}$$

- Jt_{space} : longitud de losa promedio, cm.
 CON : factor de ajuste debido a la fricción base/losa,
 : 0,65 para base estabilizada.
 : 0,80 para base granular o base de hormigón pobre agrietada.
 TRANGE : rango de temperatura anual, ° C.
 e : Retracción por el curado del hormigón, utilizar 0,00015 (mm/mm).
 FI : índice de congelamiento medio anual, ° C - días.
 PRECIP : precipitación anual, mm.
 Basetype : 0 para base no estabilizada,
 : 1 para base estabilizada.
 Widenlane : 0 si se trata de pista ensanchada,
 : 1 si no se trata de pista ensanchada.
 Age : edad del pavimento, años.

E.5.10. DISEÑO DE LAS JUNTAS

Las juntas tienen por objetivo permitir la expansión y contracción del pavimento, con lo que disminuyen las tensiones provocadas por cambios ambientales, tales como de temperatura y humedad y las que origina la fricción pavimento/base; asimismo, facilitan la construcción. Se deben considerar los siguientes tres tipos de juntas:

- Juntas de contracción, destinadas a aliviar las tensiones causadas por los diferenciales de temperatura y humedad y por la fricción; son por lo tanto, para controlar el agrietamiento. El método de diseño que se presenta permite definir la distancia entre juntas que resulta más adecuada para cada circunstancia especial.
- Juntas de expansión destinadas a dejar un espacio para que el pavimento pueda expandirse. Se utilizan solamente en la zona de contacto entre un pavimento con una estructura o con otro pavimento en una intersección.
- Juntas de construcción que facilitan la construcción del pavimento.

Las juntas de contracción se deben diseñar esviadas de manera de mejorar el comportamiento del pavimento, minimizar las irregularidades superficiales y consecuentemente, prolonga la vida útil. El esviaje, en el sentido de avance de los vehículos, debe ser de 1,2 m por calzada de 7,0 m de ancho.

F. METODO P.C.A.

F.1. ASPECTOS GENERALES

La Portland Cement Association (PCA) publicó en 1966 un procedimiento para el diseño de espesores de pavimento, basado en el “consumo de resistencia”.

En este método se calcula las tensiones que produce el tráfico en cada rango de carga, comparándolas con la resistencia de diseño adoptada denominando la relación de ellas como “razón de esfuerzos”. De acuerdo a este valor se establece el número de repeticiones permitidas en cada rango de carga que comparada con el número de repeticiones esperadas, permite establecer un porcentaje de consumo de resistencia por cada rango de carga, cuya suma no debe exceder de un 100 %.

Después de muchos años de aplicación y revisión se publicó en 1984, un nuevo método cuyo autor es Robert G. Packard. Este procedimiento permite cuantificar la influencia que significa colocar una banquina con hormigón, adyacente al pavimento. A diferencia de otros métodos que solo señalan este efecto desde el punto de vista cualitativo. En este método se utilizan dos criterios.

Criterio de fatiga, para mantener el esfuerzo del hormigón debido a las repeticiones de carga dentro del límite aceptable y para prevenir el agrietamiento por fatiga.

Criterios de erosión, para limitar los efectos de la deflexión del pavimento en los bordes y las esquinas y con ello controlar la erosión del material de fundación.

Los parámetros básicos de diseño en este método.

- Tráfico solicitante.
- Resistencia de diseño de hormigón.
- Módulo de reacción de subrasante. Se utiliza el valor del modulo corregido.
- Tipo de banquina y junta transversales con 4 alternativas de acuerdo si la banquina es pavimentada y si se coloca juntas transversales.

F.2. TRÁFICO DE DISEÑO Y FACTOR DE SEGURIDAD.

El tráfico de diseño se expresa como numero de ejes que pasan, en la pista de diseño en cada rango de carga y recibe el nombre de “repeticiones esperadas en cada rango de carga”.

Este factor más importante en el cálculo del espesor del pavimento, su determinación se hace basándose en los siguientes parámetros:

- Distribución del número de ejes solitantes por cada 1.000 vehículos.
- Tasas de crecimiento de cada tipo de vehículo.
- Factor de Pista de Diseño. Es un factor de discusión del tráfico pesado en la pista de diseño.

Con esta información se determina el tráfico solicitante para la vida de diseño elegida.

El factor de seguridad se aplica al valor mayor del rango de carga considerado según el siguiente criterio:

Para carreteras con alto volumen de tráfico, sin interrupción.

F.S = 1,2

Para carretera y calles arteriales con moderado volumen de tráfico pesado.

F.S = 1,1

Para caminos, calles residenciales y otros, con escaso volumen de tráfico pesado

F.S = 1,0

F.3. RESISTENCIA DE DISEÑO DE HORMIGÓN.

En este método la resistencia de diseño a utilizarse es la resistencia a la flexotracción a 28 días, determinada a través del ensayo AASTHO T-97 que en el caso de usar cementos grado corriente puede corresponder a la medida de obra amplificada por el factor 1,045.

F.4. METODOLOGÍA DE CÁLCULO.

Los gráficos y tablas para el cálculo por el método PCA 1.984. Incluyen las siguientes alternativas.

- Pavimento de hormigón simple, sin banquina pavimentada ni pasadores en las juntas transversales.
- Pavimento de hormigón simple, con banquina Pavimentada, sin pasadores en las juntas Transversales (S-N).
- Pavimento de hormigón simple, sin banquina pavimentada, con pasadores en las juntas transversales (N-S).
- Pavimento de hormigón con banquina pavimentada, y pasadores en las juntas transversales (S-S).

Los pasos a seguir para el cálculo de espesores son los siguientes:

- a) Definición de los datos básicos de entrada.
 - Tipo de banquina y pasadores.
 - Resistencia de diseño (media a 28 días).
 - Valor del módulo de reacción de diseño.
 - Factores de seguridad adoptada.
 - Número de ejes esperados en cada rango de carga para la vida de diseño adoptada.
- b) Colocar tentativamente un espesor de pavimento.
- c) Con la información contenida en a y b determinar los valores de “Esfuerzo Equivalente” y “Factor de Erosión”.
- d) Calcular el “Factor de Razón de Esfuerzo”, dividiendo el valor del esfuerzo equivalente por la resistencia de diseño. Con el “Factor de Erosión” y “Razón de Esfuerzo” se determinan las repeticiones permitidas. Las repeticiones permitidas se expresan finalmente como por ciento de las repeticiones esperadas.

La suma de la columna fatiga, permite establecer si el espesor tentativo cumple los requerimientos. Estos son tales que, cada uno por separado no debe exceder de 100 %. En caso contrario debe incrementarse el espesor tentativo y recalcular.

En la siguiente tabla se indican los espesores resultantes para diferentes situaciones:

Resumen de cálculo de espesores método P.C.A.						
Tráfico	Modulo Diseño K	Resistencia diseño R d	Espesor pavimento (cm) y factor de control (E. & F.)			
			N - N	S - N	N - S	S - S
Muy pesado Categoría 8 (F S = 1.2)	5	40	33 E	31 F	31 F	27 F
	10	40	31 E	28 E	29 F	25 F
	15	40	30 E	28 E	27 F	24 F
	5	44	33 E	30 E	29 F	25 F
	10	44	31 E	28 E	27 F	23 F
	15	44	30 E	28 E	26 F	23 F
	5	48	33 E	30 E	28 F	24 E

Pesado categoría 7 (F S = 1.2)	10	48	31 E	28 E	26 F	23 E	
	15	48	30 E	28 E	26 F	23 E	
	5	40	32 E	29 E	31 E	27 F	
	10	40	30 E	27 E	28 F	25 F	
	15	40	29 E	27 E	27 E	24 F	
	5	44	32 E	29 E	29 E	25 F	
	10	44	30 E	27 E	26 F	23 F	
	15	44	29 E	27 E	25 E	22 E	
	5	48	37 E	29 E	27 E	24 E	
	10	48	30 E	27 E	25 E	22 F	
	15	48	29 E	27E	25 E	22 E	
Medio Categoría 6 (F S = 1.2)	5	40	30 E	26 E	30 F	26 F	
	10	40	27 E	25 E	27 F	24 F	
	15	40	26 E	25 E	26 F	23 F	
	5	44	28 E	26 E	28 F	24 F	
	10	44	27 E	25 E	25 F	22 F	
	15	44	26 E	25 E	24 F	21 F	
	5	48	28 E	26 E	26 F	23 E	
	10	48	27 E	25 E	24 E	21 E	
	15	48	26 E	25 E	23 E	20 E	
	5	36	28 F	25 F	28 F	25 F	
Medio a liviano Categoría 5 (F S = 1.1)	10	36	26 F	23 F	26 F	23 F	
	15	36	25 E	22 E	25 F	22 F	
	5	40	26 F	23 E	26 F	23 F	
	10	40	24 F	21 E	24 F	21 F	
	15	40	23 F	21 E	23 F	20 F	
	5	44	25 E	22 E	25 F	21 F	
	10	44	23 E	21 E	22 F	20 F	
	15	44	22 E	21 E	21 F	19 F	
	Liviano Categoría 4 (F.S = 1.1)	5	36	27 F	23 F	27 F	23 F
		10	36	24 F	21 F	24 F	21 F
15		36	23 F	20 F	23 F	20 F	
5		40	25 F	21 F	25 F	21 F	
10		40	23 F	20 F	23 F	20 F	
15		40	21 F	19 F	21 F	19 F	
5		44	23 F	20 F	23 F	20 F	
10		44	21 F	18 F	21 F	18 F	
	15	44	20 F	18 F	20 F	17 F	

Notación

N – N : Sin banquina pavimentada, ni pasadores.

S – N : Banquina pavimentada y sin pasadores.

N – S : Sin banquina pavimentada y con pasadores.

S – S : Banquina pavimentada y pasadores-.

E : Controla la erosión.

F : Controla fatiga

En las categorías 6 a 8 se usa Factor de seguridad al tránsito de 1,2 y en los 4 y 5 Factor de seguridad 1,1

F.5. SENSIBILIDAD DE LOS FACTORES DE DISEÑO

Un análisis global de los resultados contenidos en las tablas mencionadas permite establecer la importancia relativa de los factores de diseño

F.6. CAPACIDAD DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE.

En términos generales se puede establecer que si duplica el valor del modulo de reacción de diseño se logra una disminución media de 2 cm. en el espesor de la losa, cuando se trata de subrasantes del tipo deficiente a buenos. Para el rango de buenas a muy buenas esta disminución es del orden de 1 cm.

F.7. RESISTENCIA DE DISEÑO DE HORMIGÓN.

La influencia de la resistencia del hormigón en el espesor de la losa puede sintetizarse en el resumen contenido en tabla.

Influencia de la resistencia del hormigón		
Tráfico	Junta	Resistencia del Hormigón
Medio a muy pesado	Sin pasadores	No tiene influencia. Controla la erosión
	Con pasadores	En promedio un aumento de 3 Kg/cm ² . disminuye 1 cm. el espesor
Mediano a liviano	con y sin pasadores	En promedio un aumento de 3 Kg/cm ² . disminuye 1 cm el espesor

F.8. COLOCACIÓN DE BANQUINA PAVIMENTADA

La colocación de una banquina pavimentada permite disminuir en promedio 3 cm en el espesor del pavimento.

F.9. COLOCACIÓN DE PASADORES

La colocación de pasadores en las juntas transversales tiene una fuerte influencia en el espesor de la losa para la condición de trafica pesado y muy pesado, dependiendo además de la resistencia de diseño del hormigón. Su colocación permite una disminución de espesores del orden de 5 cm para hormigones de alta resistencia y del orden de 2 cm para hormigones de resistencia media a baja. Para la condición de tráfico medio a liviano y liviano no tiene influencia en ningún caso.

En la situación de tráfico medio y hormigón de alta resistencia su colocación permite reducir el espesor de 2 a 3 cm Para hormigón de resistencia media y baja no tiene influencia.

En la tabla que se presenta a continuación se esquematiza el efecto de los pasadores.

Efecto de la colación de pasadores.

Tráfico	Resistencia del hormigón	Efecto de la colocación de pasadores en las juntas transversales
Pesados y Muy Pesados	Alta	Permite reducir el espesor en 5 cm.
	Media y baja	Permite reducir el espesor en 2 cm.

Medio	Alta	Permite reducir el espesor en 2 a 3 cm.
	Media y baja	No influye
Medio a liviano	Alta a baja	No influye
Liviano	Alta a baja	No influye

G. MÉTODOS BROKAW

G.1. ASPECTOS GENERALES

El método de diseño basado en el escalonamiento de la junta transversal fue desarrollado por Max P. Brokaw y ha sido incorporado por algunos países como uno de los cuatro métodos oficiales de diseño, tomando la denominación de "Método Brokaw". Su aplicación esta circunscrita a los pavimentos de hormigón que no tiene retuerzo ni barras de traspaso de carga en las juntas transversales.

SECCION 3.2.2.5.

OTROS TIPOS DE PAVIMENTOS

3.2.2.5.1. EMPEDRADOS

Este tipo de pavimentos es ampliamente utilizado en el Paraguay por los municipios para la pavimentación de calles y últimamente por el MOPC para pavimentación de tramos de caminos rurales tanto departamentales como vecinales.

Los pavimentos tipo empedrado para caminos rurales son una solución interesante, pero generan una gran incomodidad para el tránsito a medianas y altas velocidades. Debido a este inconveniente y al verse obligado el tránsito a desplazamientos lentos, el costo de operación se eleva muchísimo (tiempo de traslado y consumo de combustible), a los cuales se deben sumar al alto desgaste de neumáticos y averías en los sistemas de suspensión y ejes delanteros y traseros de los vehículos, sin contar de que requieren altos costos de mantenimiento.

Por esta razón se pueden encontrar otras soluciones, al mismo costo y con la misma capacidad de generación de mano de obra, pero que brinden mayor comodidad y un menor costo de operación y mantenimiento.

No obstante, la solución con pavimento tipo empedrado pueden formar parte de un proyecto por etapas, en donde en un corto plazo se realice un recubrimiento con asfalto u hormigón hidráulico.

Por tanto conviene utilizarlo criteriosamente; de hecho todavía existen en la mayoría de los países del mundo, incluidos los altamente desarrollados.

Los empedrados, se tratan de Pavimentos Altamente Permeables elaborados a partir de piedra partida en dimensiones convenientes y colocadas a mano con las puntas hacia abajo y las caras planas hacia arriba, sobre un lecho de arena o tierra del lugar con buenas características, de manera que al recibir la carga del tránsito su inter-trabazón les permita soportar las solicitaciones correspondientes. En la medida que se vaya terminado los tamos de no muy larga longitud, es conveniente pre-compactarlos con un rodillo liso de peso mediano a los efectos de producir un conveniente asentamiento de las piedras sobre el lecho de arena o tierra.

Debido a que son altamente permeables, es muy importante tener en cuenta la hidráulica del drenaje superficial y lateral. Por ello un elemento muy importante es el diseño de la sección transversal la conveniente pendiente longitudinal.

En Paraguay se utiliza la sección transversal a dos aguas con cordones sin cunetas y en Misiones – Argentina la sección transversal parabólica con cordones cunetas. Sin entrar a detalles de la calidad de construcción de la base (fundamental para este tipo de pavimentos), la sección parabólica tiene amplia ventaja sobre la sección a dos aguas, ya que permite en primer lugar aprovechar el efecto arco autoportante (ampliamente utilizada en la ingeniería de todos los tiempos) y en segundo lugar un rápido traslado de las aguas hacia los cordones cunetas laterales.

A. DISEÑO DE EMPEDRADOS

La preparación de la base y los drenajes son fundamentales para el diseño de un empedrado. Una subrasante con CBR alto es recomendable.

3.2.2.5.2. ESTABILIZADOS GRANULOMETRICOS

Los estabilizados granulométricos consisten en mezclas binarias (dos materiales, lo más usual) o terciarias (combinación de tres materiales), normalmente diseñadas de acuerdo a métodos de cálculo y procesos constructivos con controles de calidad laboratorillosales.

Las mezclas binarias suelen ser las más viables por su menor costo. Se busca una combinación de material granular y limo-arcilloso en gradaciones controladas. Si hay exceso de material limo-arcilloso puede

haber problemas por entumecimiento. Si hay exceso de material granular hay una falta de cohesión y la única interacción es el rozamiento.

La capacidad de compactación (mayor o menor posibilidad de compactar un suelo, es decir, conseguir mayor o menor densidad) tiene relación con la granulometría de la mezcla. Una buena compactación va a implicar que sea mayor la densidad seca, con lo que la permeabilidad es menor, lo mismo que la sensibilidad al agua. Además aumentamos el rozamiento interno de las partículas y hay mayor capacidad cementante de la arcilla. Cuánto la mezcla granulométrica está bien compactada, la capacidad cementante de la arcilla es mayor.

A. DISEÑO

Al tratarse de un recubrimiento para caminos de tierra y volverlos transitables en épocas de lluvia para mediano y bajo volúmenes de tránsito, es recomendable que la mezcla tenga una fracción arcillosa entre 4 a 8 por ciento, que permite la ligazón entre partículas y una capacidad portante con CBR alto.

3.2.2.5.3. ENRIPIADOS Y ENTOSCADOS

A. ENRIPIADOS:

Los materiales conocidos con el nombre de Ripio pueden ser naturales o previamente preparados. Los ripios naturales son piedras de tamaño pequeño a mediano que han sufrido desgastes por la acción de la naturaleza, conocidos también como cantos rodados, pero que en este caso están mezclados con suelos de cierta cohesividad. Los ripios previamente preparados consisten en piedras trituradas que posteriormente se mezclan con algún suelo cohesivo.

Esto permite realizar recubrimiento de calzadas de tierra, conocidos como enripiados, para brindarles protección ante la acción del tránsito y los factores climáticos, que se traducen en buenas condiciones de operabilidad, así como de durabilidad cuando se tiene un programa adecuado de mantenimiento.

En varios Departamentos la Región Oriental de nuestro País pueden encontrarse canteras de Ripio Natural, que de hecho los Distritos de Conservación de Caminos del MOPC los conocen y los utilizan frecuentemente. Debido a que la mayoría de ellas se encuentran en propiedades privadas, últimamente es cada vez más difícil encontrarlos a bajo costo.

A.1. DISEÑO

No existe un método de diseño propiamente dicho. Contar con una subrasante de alto valor de soporte es recomendable.

B. ENTOSCADOS:

En los lugares donde existe basalto aflorado o a poca profundidad, existe la posibilidad de que puedan encontrarse el material resultante de la descomposición del basalto, conocido técnicamente como Saprolito.

En el sur y este del País, especialmente en los Departamentos de Itapúa y Alto Paraná, así como en la Provincia de Misiones – Argentina, este material es conocido como Tosca y es ampliamente utilizado (en Misiones – Argentina) para el mejoramiento de caminos y con muy buenos resultados. Lo cual fácilmente podría extrapolarse en los departamentos de Itapúa y Alto Paraná y por qué no también en otros Departamentos del País donde pueda encontrarse la tosca.

El entoscado, al igual que el enripiado, consiste en una mezcla de ese producto de la descomposición del basalto con la misma arcilla roja de la zona, o suelo laterítico (que también es descomposición del basalto), que sirve de ligante a la mezcla. Lo más importante es que esa arcilla está presente en forma natural en la gran mayoría de los caminos, ya que es el material predominante.

Esta mezcla extendida sobre las calzadas de tierra roja, constituye una buenísima carpeta de rodadura que proporciona tránsito de todo tiempo y gran durabilidad en condiciones de mantenimiento regular.

El Saprólito (Tosca) es una descomposición del basalto, por tanto un material en proceso de degradación. Pero este proceso de degradación se detiene si el material es aislado de los agentes externos ambientales y climáticos.

B.1. DISEÑO

Al igual que el enripiado, no existe un método de diseño propiamente dicho. Contar con una subrasante de alto valor de soporte es recomendable.

C. ESTABILIZADO SUELO-CEMENTO

El suelo-cemento consiste en la mezcla íntima de suelo con cemento Pórtland compactado en su contenido óptimo de humedad. Esta mezcla puede ser realizada en planta (fuera del camino), o in situ, sobre el mismo camino. La función del cemento es aglutinar el material y convertirlo en una masa endurecida de carácter estable. El agua hidrata el cemento y ayuda a obtener la máxima densidad lubricando los granos y partículas de suelo. Una vez que el suelo-cemento ha sido mezclado y compactado, se inicia la acción del cemento que, provoca el endurecimiento de la masa.

Suele ser muy bueno para lograr el mejoramiento de los caminos de tierra y obtener transitabilidad permanente en cualquier condición climática, generalmente es de bajo costo, resistente, durable y de mínima conservación.

Aunque las razones del éxito en este tipo de estabilizados son varias, se deben destacar dos de carácter primordial: el máximo uso del material local más barato, el suelo y su máxima y simple ejecución.

Como su masa está formada en gran proporción, el 90 % término medio, por suelos del lugar o que se extraen de los alrededores, y el resto, 10 % aproximadamente, integrado por cemento Pórtland, las inversiones para la adquisición y movimiento de materiales son menores que la de cualquier otro mejorado, pues aquéllos son materiales granulares que demandan, en general, el transporte desde largas distancias, de grandes cantidades de agregados, los cuales se degradan con el tiempo, ya que el ligante arcilla no es muy efectivo como el cemento Pórtland, caso de los enripiados y entoscados.

La utilización del suelo del lugar y la simplicidad de los métodos constructivos, configuran las condiciones ideales para que la construcción de los mejorados del suelo-cemento pueda llevarse a cabo con gran celeridad. El rendimiento diario de un equipo corriente es del orden de los 1800 m³ a 2000 m² de 15 cm de espesor y no se requiere mano de obra especializada. La construcción de mejorado de este tipo se inicia con la escarificación y pulverización del suelo del lugar, luego se distribuye el cemento y se mezcla uniformemente con el suelo pulverizado; la operación siguiente consiste en agregar el agua necesaria para obtener la humedad óptima y finalmente se procede a compactar y terminar el pavimento.

C.1. SUELO MEJORADO CON CEMENTO

Se usa en subrasantes o explanadas y se define como una mezcla de suelo y una cantidad pequeña de cemento, generalmente inferior al 2% en peso, añadida con el fin de mejorar algunas propiedades de los suelos.

Al contrario que el suelo-cemento, la mezcla resultante sigue teniendo la estructura de un material suelto, al menos a corto plazo. La mejora o modificación con cemento se usa generalmente con suelos de grano fino, plásticos y a veces con humedades naturales excesivas con dificultades de compactación, expansividad y baja capacidad de soporte.

El conglomerante modifica sus características a corto y largo plazo de forma moderada, pasando a ser suelos utilizables. Por su limitada o nula resistencia mecánica se recomienda su uso en subrasantes de pavimentos de tráfico ligeros y medios. Para el caso de tráfico pesado y de alto volumen, se sugiere colocar una subrasante de mayor capacidad de soporte sobre el suelo modificado con cemento.

C.2. DISEÑO

Para diseñar un suelo cemento es conveniente utilizar en método de la compresión simple de probetas estandarizadas. Resistencia a la compresión simple a ser determinada en cada caso.

D. ESTABILIZADO SUELO-CAL

El suelo estabilizado con cal, consiste en la mezcla íntima, convenientemente compactada, de suelo, cal y agua, que se efectúa con el fin de modificar determinadas propiedades de los suelos.

La cal, sola o en combinación con otros materiales, puede ser utilizada para tratar una gama de tipos de suelos. Las propiedades mineralógicas de los suelos determinarán su grado de reactividad con la cal y la resistencia final que las capas estabilizadas desarrollarán.

En general, los suelos arcillosos de grano fino (con un mínimo del 25 por ciento que pasa el tamiz 200 -75 μm y un Índice de Plasticidad mayor que 10) se consideran buenos candidatos para la estabilización. Los suelos que contienen cantidades significativas de material orgánico (mayor que 1 por ciento) o sulfatos (mayor que el 0.3 por ciento) pueden requerir cal adicional y/o diferentes procedimientos de construcción.

D.1. DISEÑO

Para el diseño de mezclas suelo cal es conveniente utilizar el método CBR a la quinta penetración y no el método de compresión simple.

E. CRITERIOS DE BANQUINAS.

Es recomendable que el diseño estructural de las banquetas esté íntimamente ligado al diseño estructural de la calzada del pavimento, ya que esto permitirá un mejor funcionamiento de toda la estructura.

Por esta razón todas las capas de base y sub-base deberían extenderse a los lados sobre toda la plataforma, y de ser posible también el recubrimiento final, por ejemplo carpeta de concreto asfáltico, debería extenderse sobre estas bases, siendo la indicadora de separación entre banquina y calzada solo la pintura en el pavimento. Esto, aparte de hacer que la estructura tenga un óptimo funcionamiento es altamente deseable desde el punto de vista de la seguridad, ya que no existe ningún desnivel entre calzada y banquina.

Si por cuestiones de costo se pretende construir una banquina diferenciada, sería conveniente que solo el recubrimiento final este diferenciado en calzada y banquina estructuralmente, mientras que las bases y sub-bases son las mismas como ya dijimos.

Para caminos de muy bajo tránsito podría considerarse la posibilidad de construir estructuras de menor capacidad portante para la banquina, como así también recubrimientos de menor calidad; pero no perdiendo de vista que soluciones de esta naturaleza requerirán que en su fase de operación los trabajos de mantenimiento sean de mayor envergadura y costo.

F. LISTADO DE OTROS TIPOS DE ESTABILIZADOS PARA CAMINO DE BAJO TRÁNSITO QUE PODRIAN SER UTILIZADOS EN FORMA LOCALIZADA.

- estabilizado suelo-asfalto
- estabilizado químico
- estabilizado con escoria de alto horno
- estabilizado con polvo de cerámica
- estabilizado con melaza (suelos arenosos)

CAPITULO 3.2.3.

DISEÑO PARA OBRAS DE RECAPADO, REPOSICIÓN O MEJORAMIENTO DE LA CARPETA

SECCION 3.2.3.1.

CRITERIOS BÁSICOS

3.2.3.1.1. ALCANCES

En el concepto más amplio, la reposición de pavimentos involucra numerosas técnicas y procedimientos destinados a mejorar la capacidad estructural y/o funcional de los pavimentos. Varios de estos procedimientos son más propios del mantenimiento pues no involucran diseños propiamente tales, de manera que no corresponde detallarlos en este manual; aquí se entregan criterios y métodos para diseñar reposiciones que involucran la colaboración de una capa adicional de pavimento, que puede ser de hormigón o de asfalto, con el objetivo de extender significativamente la vida útil de la superestructura. Por incluir una capa adicional cuyo diseño considera el aporte estructural del pavimento a reponer, los procedimientos que se describen se demuestran “recapados”. Se diferencian de las “reconstrucciones” o “repavimentaciones” porque en esas el diseño prescinde del aporte del pavimento a reponer, ya sea porque éste se retira previamente o porque no trabaja conjuntamente con la nueva estructura.

Que algunas técnicas de reposición o mantenimiento no se encuentren descritas en este Manual, no implica que necesariamente los proyectos de reposición deban excluirlas. Por el contrario, se recomienda realizar un análisis completo de las posibilidades de reposición de un pavimento, incluyendo entre ellas, técnicas que no sean recarpeteos, aún cuando pudieran parecer más propiamente de mantenimiento. Varias de esas técnicas de mantenimiento se describen en detalles en el Volumen correspondiente a, Mantenimiento Vial.

Las investigaciones más recientes para la reposición de pavimentos indican que claramente la mejor solución técnica y económica consiste en diseñar el procedimiento más apropiado para cada tipo de deterioro que se presente.

Las diversas técnicas de reposición que se han desarrollado en los últimos tiempos dan los mejores resultados cuando se aplican justo para el nivel de deterioro para el que fueron desarrolladas; es el concepto de “ventanas de oportunidad” que indica que cada técnica de reposición da los mejores resultados cuando se aplica dentro de un rango definido de deterioro. Aún cuando en estos casos de deterioro que permitan optar por la técnica de reposición más adecuada, el criterio expuesto debe siempre estar presente al momento de optar por el tipo de reposición.

El origen del deterioro de un pavimento normalmente se encuentra asociado a una serie de factores, de manera que a veces resulta bastante complejo establecer cuál es la combinación de soluciones que mejor se adapta a cada situación particular. A ellos se debe agregar que muchos de los procedimientos de reposición disponibles en la actualidad, se encuentran en etapas de experimentación, por lo que se carece de una gran experiencia sobre sus resultados. La reposición de pavimentos tiene, en estos momentos, mucho de científico pero también una gran dosis de arte, por lo que en cada proyecto se debe emplear una gran cantidad de análisis, conjuntamente con un “buen sentido”.

En la **Tabla 3.2_26** se enumeran algunos de los procedimientos de reposición de pavimentos que han dado buenos resultados en otros países y que por lo tanto pueden tenerse en cuenta al momento de buscar la mejor solución para un buen pavimento deteriorado.

Tabla 3.2_26. ALGUNOS PROCEDIMIENTOS DE REPOSICION

REPOSICIONES SIN RECAPADO	TOPICOS DEL CAPITULO DE MANT. Y/O REPARACIONES
1. Reparaciones en todo el espesor	
2. Reparación parcial del espesor	
3. Fresado/cepillado del pavimento	
4. Colocación de drenes de pavimento	
5. Restauración de elementos de transferencia	

6. Tratamientos de la superficie	
7. Pavimentos insertados	
REPOSICIONES MEDIANTE RECAPADOS	TOPICOS DEL CAPITULO DE RECAPADOS
1. Recapado de asfalto sobre asfalto	103.04.1 (b)
2. Recapado de asfalto sobre hormigón	103.04.1(c)
3. Pavimento de hormigón sobre asfalto	103.04.1 (e)
4. Pavimento de hormigón s/ hormigón	103.04.1 (f)
5. Reciclados	Considerado solo en las Especificaciones Técnicas

En consideración a la complejidad del proceso de diseño de la reposición de un pavimento, conviene tener presente una serie de consideraciones que aseguren que se han tenido en cuenta los principales factores que se requieren para lograr el diseño más adecuado, para tales efectos se reitera que, aun cuando en este Manual sólo se describen procedimientos para diseñar reposiciones que consideran una capa de pavimento adicional, muchas veces, la mejor solución para una determinada situación, puede ser una combinación que incluya tanto técnicas de reposición como de mantenimiento.

La mayoría de las técnicas de reposición sin recarpeteos que se mencionan en la **Tabla 3.2_26**, tal como allí se señala, se encuentran descritas en las Operaciones de Mantenimiento del Volumen correspondiente de este Manual.

A. DIAGNOSTICO

A.1. ANTECEDENTES

El diagnóstico correcto de las causas que originaron el deterioro del pavimento que se analiza y que se pretende subsanar, es básico para determinar la solución más adecuada. Para evitar errores de diagnóstico se debe recolectar y evaluar suficiente información sobre el estado en que se encuentra el pavimento de manera de comprender integralmente los orígenes de los deterioros.

Como punto de partida, es importante contar con antecedentes relacionados con la historia del pavimento, tales como el año de construcción, geometría de la estructura, eventuales mantenimientos que se hubieren efectuado, las condiciones del drenaje, las características de los suelos de la subrasante, etc. De gran ayuda para este estudio son el Inventario Vial y las mediciones del IRI, tan actualizadas como sea posible, antecedentes que normalmente la Dirección de Vialidad tiene disponibles.

A.2. BALIZADO

Previo a la recolección de datos de terreno, será indispensable proceder a balizar el pavimento, señalizando cada 20 m, como máximo y escribiendo el kilometraje cada hectómetro. Para evitar errores de distancia, el balizado se debe ir cerrando, aproximadamente cada 1.000 m, contra mediciones previamente realizadas con instrumental topográfico que asegure una precisión del orden de ± 50 mm cada 1.000 m. En caminos bidireccionales las mediciones deben realizarse por el eje, marcando puntos cada 20 m; cada hectómetro se deberá señalizar además, en el borde exterior del pavimento y al costado derecho avanzado en el sentido del kilometraje. En carreteras con calzadas unidireccionales, en general, conviene medir por el eje de la mediana para tener un kilometraje único, para luego trasladar marcas hacia los bordes externos del pavimento de ambas calzadas (cuando el estudio comprenda las dos calzadas) y escribiendo el kilometraje en los hectómetros en los bordes externos del pavimento de cada una de las calzadas.

A.3. MONOGRAFÍA

Un antecedente fundamental para conseguir un diagnóstico correcto de la situación en que se encuentra el pavimento a rehabilitar es la preparación de una monografía detallada. Por sus objetivos y alcances, se recomienda preparar la monografía de pavimentos en dos fases o etapas del proyecto de reposición.

Para la etapa de diagnóstico, se requiere una monografía que permita identificar el tipo de deterioros que caracteriza el camino y aproximadamente la severidad y extensión de los mismos, de manera que

conjuntamente con los otros antecedentes señalados antes, se puedan definir diferentes opciones de reposición, estimar sus costos y evaluar interferencias u otras condicionantes. Por los alcances y objetivos descritos, esta monografía debe prepararse ajustándose a los criterios y procedimientos de la Dirección de Vialidad.

En una segunda etapa, una vez que se encuentren definidos el o los tipos de reposición a diseñar, la monografía de pavimento deberá complementarse, concentrándose ahora exclusivamente en recopilar la información específica que requieren los procedimientos de reposición adoptados y del tipo de información disponible.

El comportamiento de varios de los procedimientos de reposición depende de lo que se denomina “reparaciones previas”, por lo que el primer objetivo de este trabajo adicional será detectar con exactitud las características y extensión de los deterioros que requieren de una reparación antes de aplicar el método de reposición seleccionado (Las características de los deterioros a reparar en forma previa se describen más adelante, junto con los correspondientes procedimientos de reposición).

Cuando se disponga del número estructural efectivo del pavimento existente (NE_{ef}) obtenido mediante retro análisis de mediciones de deflexión, no será necesario recabar más información del pavimento que la señalada hasta aquí.

Cuando no se disponga del NE_{ef} determinado por retro análisis, la monografía deberá complementarse además, con una descripción detallada del tipo y nivel de todos los deterioros que presenta el pavimento, de manera de contar con antecedentes suficientes para estimar un valor del NE_{ef} en los términos que se señala más adelante.

La recolección de información adicional deberá considerar los grados de deterioro o niveles de severidad tal como se clasifica en el Volumen correspondiente al Mantenimiento Vial.

A.3.1. INFORME DE DIAGNÓSTICO

El diagnóstico, cuyo objetivo es definir las causas del deterioro, debe ser preparado por un ingeniero especialista en diseño de pavimentos, con experiencia en el diseño de reposiciones. En el informe debe analizar toda la problemática para la reposición del pavimento, proponiendo la o las soluciones que estime más adecuadas basándose en el análisis y evaluación de los antecedentes disponibles y justificar la o las proposiciones. El informe de diagnóstico deberá incluir como mínimo, los siguientes aspectos:

- descripción de las características generales del pavimento; año de construcción, espesores de las diversas capas, ancho de la calzada, características y estado de las banquetas, mantenimientos importantes que se hubieren realizado, valores del IRI y al deslizamiento, si estuvieran disponibles, etc. También debe incluirse una descripción de la situación de la sección transversal especialmente en lo que se refiere a bombeos y peraltes de las curvas horizontales.
- descripción del estado del pavimento (monografía), indicando superficie o longitud aproximada de las fallas más características, niveles de escalonamiento de juntas, cantidad de losas con más de 3 quebraduras y/o inestables y evidencias de surgencia de finos (pumping) en pavimentos de hormigón, niveles del ahuellamiento y áreas severamente agrietadas indicando probable origen de las mismas, en los asfálticos y toda otra información de interés para definir y caracterizar la situación del pavimento, tal como se indica en el Instructivo para la inspección de pavimentos individualizado antes.
- identificación de las eventuales limitaciones o restricciones para materializar las diferentes soluciones, que pudieran existir. Deberá ponderar, al menos, factores tales como: disponibilidad limitada de recursos, problemas para el manejo del tránsito durante la construcción, vida útil remanente y agregada por las soluciones alternativas, restricciones en la geometría de la ruta, disponibilidad de faja fiscal, existencia de servicios públicos, etc.
- estimación de las cantidades de obras para reparaciones previas, asociadas a él o los procedimientos de reposición que se proponen.
- justificación de él o los tipos de reposición que se proponen, indicando una estimación de las inversiones asociadas a cada uno ellos.

Una vez identificado el problema y definidas todas las posibles soluciones, se debe establecer cuál es la más conveniente para la situación particular que se está analizando. Para ello se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- los procedimientos de reposición más efectivos son los que van directamente dirigidos a solucionar las causas que están originando el deterioro y que previenen que este vuelva a repetirse.
- aún cuando pueda resultar fácil programar un arreglo “a la rápida”, o peor aún un arreglo tipo cosmética, ello siempre resultará en una solución indeseable. Los fondos que se invierten en soluciones de ese tipo son recursos malgastados; si no se tratan los mecanismos que están originando el deterioro éstos se repetirán con una intensidad creciente. Los beneficios de corto plazo derivados de reparaciones superficiales nunca justifican la inversión requerida; este tipo de tratamiento no es intrínsecamente malo es simplemente antieconómico.
- en general, las reposiciones sólo deben programarse para sectores en que el pavimento se encuentra seriamente deteriorado. Así, por ejemplo, en una calzada unidireccional con pavimento de hormigón, puede que sólo la pista externa se encuentre seriamente deteriorada; en tal caso sólo debe reponerse esa pista. Lo anterior no significa que para los tramos no incluidos en la reposición no se programen obras de reparación que pueden ser de menor envergadura.
- las soluciones detectadas pueden incluir más de una sola técnica de reposición.
- la solución más adecuada, para cada caso particular, se determina sopesando las ventajas de las diferentes alternativas detectadas contra las restricciones que presenta el proyecto. La solución adecuada y factible es aquella que junto con reparar los deterioros existentes, previene que ellos se vuelvan a repetir, mientras satisface las restricciones impuestas.

Una vez definido el o los tipos de reposición a efectuar, se deberá programar y definir los alcances de la recolección de antecedentes de terrenos adicionales que se requieren. Normalmente, los antecedentes complementarios serán una monografía detallada del pavimento (en los términos que se señalan más arriba en el Numeral Monografía) y una prospección de los suelos de la subrasante y propiedades de las capas que conforman la estructura existente, obtenidas de preferencia mediante mediciones de deflexiones con un deflectómetro de impacto.

B. CONSIDERACIONES IMPORTANTES PARA EL DISEÑO DE RECAPADOS (PARÁMETROS DE DISEÑO)

B.1. REPARACIONES PREVIAS

El deterioro de un pavimento incluye fallas visibles y otras que no pueden verse desde la superficie y deben detectarse por otros medios. Cualquiera fuera el tipo y características del recarpeteo a colocar, se requiere una cierta cantidad de reparaciones previas, de manera que el comportamiento de la nueva capa no se vea adversamente afectado. Muchas de las fallas que se presentan en este tipo de rehabilitaciones tienen su origen en una carencia o reparaciones previas deficientes.

La cantidad y características de las reparaciones previas están relacionadas con el tipo de recarpeteo a colocar; consecuentemente, la selección de cual tipo utilizar está influenciada por el nivel de deterioro que presente el pavimento. Cuando un pavimento se encuentra muy deteriorado deben elegirse los sistemas menos sensibles a la condición del pavimento existente.

Como las reparaciones previas dependen del tipo de rehabilitación a utilizar, los alcances que deben darse a estas obras se señalan al analizar los diferentes tipos de recapados.

B.2. REFLEXIÓN DE GRIETAS

La reflexión de grietas es frecuentemente el origen de muchos deterioros de los recarpeteos. Los métodos de diseño no consideran los efectos de la reflexión de grietas, de manera que deben tomarse medidas especiales para minimizar la ocurrencia de este fenómeno. Algunos criterios que se han utilizado con éxito para minimizar la reflexión de grietas son:

- como norma general, entre mayor es el espesor del recarpeteo más se retarda la aparición de grieta reflejadas. Sin embargo, casi nunca resulta recomendable aumentar el espesor más allá de ciertos límites sólo para disminuir este efecto.
- se han obtenido excelentes resultados al incluir en los recarpeteos asfálticos sobre pavimentos de hormigón, una base asfáltica de granulometría abierta. Para caminos rurales, donde existe un número significativo de camiones pesados, recarpeteos de un espesor total igual o superior que unos 120 mm, incluyendo la capa de granulometría abierta, han retardado significativamente la aparición de grietas reflejadas.
- antes de recarpetear con asfalto un pavimento de hormigón se deben reparar o reemplazar las losas muy quebradas (3 o más grietas) que presenten signos de estar trabajado (las juntas presentan saltaduras de bordes).
- antes de recarpetear con asfalto un pavimento asfáltico, se deben reemplazar todas las áreas que presenten agrietamiento por fatiga de alta severidad y cualquier otra zona inestable. Los conceptos de nivel de severidad son los que se indican en el Volumen correspondiente al Mantenimiento Vial.
- el espesor de un recarpeteo asfáltico sobre un pavimento asfáltico con propósito de reforzar la estructura de un camino rural con un número significativo de camiones, no deberá ser inferior a unos 90 mm. Carpetas destinadas a una mejora funcional del pavimento pueden tener espesores mucho menores.
- la mayoría de las membranas plásticas fabricadas especialmente para recarpeteos asfálticos sobre carpetas asfálticas, permiten disminuir o eliminar los espesores adicionales que se suelen colocar para retardar la reflexión de grietas (no incluye disminuciones de espesores de diseño). Sin embargo, debe tenerse en consideración que la efectividad de estos elementos es muy sensible a los procedimientos utilizados al colocarlos.

B.3. EJES EQUIVALENTES SOLICITANTES

Los ejes equivalentes acumulados durante la vida útil del proyecto deben calcularse utilizando los coeficientes de equivalencia adecuados. Los factores de equivalencia que corresponde utilizar para cada tipo de recarpeteo son los que se indican en la **Tabla 3.2_27**.

Tabla 3.2_27. FACTORES DE EQUIVALENCIA A UTILIZAR

Pavimento Existente	Tipo Recapado	Factores a Utilizar
Flexible	Capa Asfáltica	Flexible
Flexible	Hormigón	Rígido
Hormigón	Capa Asfáltica	Rígido
Hormigón Fracturado	Capa Asfáltica	Flexible
Hormigón	Hormigón	Rígido
Hormigón con Recarpeteo Asfáltico	Hormigón	Rígido
Hormigón con Recarpeteo Asfáltico	Capa Asfáltica	Rígido

B.3.1. DRENAJE

El agua muy a menudo es el origen del deterioro (o la aceleración del deterioro) que afecta tanto a pavimentos rígidos como flexibles. En el diseño de una reposición se debe investigar si mejorando el drenaje de la plataforma y/o bajo el pavimento, se podría desacelerar el ritmo del deterioro que ha venido experimentando el pavimento.

En los pavimentos flexibles la humedad puede ser la causa o el origen de la aceleración de fallas tales como la pérdida de áridos, ahuellamientos, deformaciones, grietas por fatigamiento y baches. En pavimentos rígidos puede causar surgencia de finos, deterioro de juntas, escalonamiento de juntas y grietas de esquinas. En zonas donde hay penetración de la helada, la subrasante pierde parte de la capacidad soporte.

Durante los estudios de terreno (incluso durante la construcción) se debe verificar la eficiencia del sistema de drenaje del pavimento existente y detectar cualquier falla originada en deficiencias de éste.

B.3.2. ENSANCHES

En ciertas ocasiones se aprovechan los trabajos de reposición de un pavimento para ensancharlo, adicionando pistas completas o ensanchando una pista antigua angosta. El diseño de estos elementos requiere de una coordinación entre el diseño del ensanche y el del recarpeteo, considerando no sólo las condiciones finales de la superficie sino que también las condiciones estructurales, tanto del pavimento existente como del ensanche. Las consideraciones más importantes que se deben tener en cuenta son:

- las vidas útiles tanto del ensanche como del pavimento existente deben ser las mismas.
- las características de la sección del ensanche deben ser sensiblemente iguales a las del pavimento existente, incluyendo semejanzas de materiales de refuerzo, espesores y espaciamiento de juntas (se puede utilizar un espaciamiento menor).
- el ensanche de un pavimento de hormigón con hormigón, debe amarrarse mediante barras de acero a las losas existentes. Se pueden utilizar las mismas barras y distribución señalada para los pavimentos nuevos.
- es conveniente colocar una membrana separadora a lo largo de la junta longitudinal del ensanche de manera que impida el traspaso de grietas entre uno y otro lado.
- el recarpeteo debe tener, en general, un espesor único tanto en la pista antigua como en el ensanche.
- deben colocarse drenes de pavimento, salvo que un estudio asegure que no resultan necesarios.

B.4. EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO EXISTENTE

B.4.1. TRAMOS UNIFORMES

Para abordar el diseño del recarpeteo debe subdividirse el camino en tramos uniformes, para los que se establecen parámetros de diseño en forma independiente de los otros tramos; deben corresponder a valores promedios de factores tales como el espesor, número de grietas por kilómetro, módulo resiliente o capacidad soporte, etc. Definidos los parámetros representativos de un tramo, se determina un espesor de recarpeteo único para ese tramo.

B.4.2. CONDICIÓN FUNCIONAL

La condición funcional se refiere a cualquier factor que afecte adversamente la serviciabilidad del camino desde el punto de vista del usuario. Ciertos tipos de deterioro funcional pueden solucionarse colocando un recarpeteo, en especial los relacionados con un bajo coeficiente de roce al deslizamiento.

El siguiente listado describe algunos de los deterioros funcionales que más comúnmente se presentan y la forma de abordarlos.

- En todo tipo de pavimento, un coeficiente de roce al deslizamiento insuficiente originado en agregados pulidos y/o clima húmedo, puede incrementarse colocando un recarpeteo de espesor adecuado a los niveles de tránsito. También se soluciona con un sello de fricción en los pavimentos asfálticos y mediante un cepillado en los de hormigón.
- Cuando el pavimento resbaloso tiene su origen en la exudación del asfalto, la mejor solución normalmente consiste en remover la capa superficial mediante una fresadora, reemplazándola por una capa de fricción de granulometría abierta o una capa diseñada para los niveles de tránsito existentes.
- En cualquier tipo de pavimento, las irregularidades de la superficie causadas por ondulaciones pueden corregirse mediante una capa nivelante, es decir, de espesores variables.

- Las irregularidades causadas por un agrietamiento severo y por baches, sólo se corrigen temporalmente si se coloca un recarpeteo; la solución integral debe incluir reparaciones en todo el espesor de las áreas deterioradas y la colocación de una capa de características y espesor adecuados para retardar la reflexión de las grietas hacia la superficie.
- Las irregularidades causadas por una pérdida del árido superficial, se pueden solucionar mediante un recarpeteo de poco espesor. En todo caso deben tomarse medidas, incluso removiendo la parte superficial, para asegurar una buena adherencia entre la capa antigua y la nueva; también debe asegurarse que el problema no se origina en una mala adherencia árido - asfalto, pues en tal caso debe removerse toda la capa.
- Las irregularidades causadas por el escalonamiento de las juntas de un pavimento de hormigón pueden aliviarse mediante la colocación de un recarpeteo de espesor adecuado o mediante el cepillado de la superficie. Sin embargo, el escalonamiento está indicando una mala transferencia de cargas entre las juntas y problemas en el drenaje de la subbase, de manera que una solución integral debe considerar estos problemas.

B.4.3. CONDICIÓN ESTRUCTURAL

La insuficiencia estructural se refiere a cualquier factor que reduzca la capacidad del pavimento para soportar solicitaciones. Los procedimientos que se describen para diseñar refuerzos de los pavimentos se basan en el concepto que el tiempo y la repetición de las cargas disminuyen la capacidad de soporte del pavimento y que es posible incrementar esa capacidad mediante un recarpeteo.

En los pavimentos flexibles la capacidad estructural queda representada por el número estructural (NE); en los rígidos es el espesor de la losa (H) el que la define, en tanto que en los compuestos (asfalto sobre hormigón) la capacidad estructural se expresa como un espesor equivalente.

Si CE_{ef} es la capacidad estructural efectiva de un pavimento existente; CE_f la capacidad estructural que requiere para soportar las solicitaciones previstas y CE_{rec} la capacidad estructural del recarpeteo a colocar, entonces la deficiencia estructural o capacidad estructural que se debe adicionar es: $CE_{rec} = CE_f - CE_{ef}$. Esta expresión indica obviamente, que la capacidad estructural a adicionar sólo puede ser correctamente calculada en la medida en que se evalúe adecuadamente la capacidad estructural del pavimento existente.

Para evaluar la capacidad estructural efectiva se debe considerar la condición actual del pavimento, así como el comportamiento futuro de los materiales. No existe un procedimiento único y definitivo para determinarla; los tres procedimientos que se detallan a continuación son los normalmente más aceptados:

a) Método basado en una inspección visual complementada con ensayos de los materiales.

En este sistema la capacidad estructural efectiva se determina analizando toda la información concerniente al diseño, construcción y mantenimiento, seguida de una detallada monografía que identifique la posición, tipo, cantidad y severidad de las fallas.

b) Método basado en ensayos no destructivos.

Este procedimiento, que consiste en medir deflexiones por medio de un deflectómetro de impacto, permite evaluar directamente las características de la subrasante y de las capas del pavimento; es el que entrega mejor información y más fidedigna para determinar la capacidad estructural efectiva y por lo tanto, se recomienda que se utilice siempre, dejando los otros procedimientos para obtener información complementaria o para casos excepcionales debidamente autorizados, en que no se pueda disponer de un deflectómetro de impacto. El módulo resiliente se debe calcular mediante la ecuación de Losberg o mediante programas de retro análisis; en este último caso, se deberá poner a disposición de la Dirección de Vialidad los softwares Modulus y Wesdef.

A pesar de las bondades señaladas, debe tenerse en consideración que el sistema de medición de deflexiones presenta algunas limitaciones que deben tenerse muy en cuenta. Las deflexiones permiten

determinar mediante retrocálculo, las propiedades de las diferentes capas que integran el pavimento y de la subrasante, pero ello requiere conocer los espesores de las capas que componen la estructura.

Los resultados son muy sensibles a pequeñas variaciones de espesor, de manera que es muy importante asegurarse que efectivamente los valores usados son los reales; no deben utilizarse espesores medios o aproximados, conviene verificarlos en terreno con cierta frecuencia a lo largo del camino.

Por otra parte, el módulo elástico de la subrasante calculado mediante retro análisis, no es el mismo módulo resiliente que se utiliza en el método AASHTO. En tanto no se cuente con estudios más acabados, se recomienda utilizar las siguientes relaciones para transformar el módulo retro analizado (Esr) al módulo resiliente (MR) que utiliza el método AASHTO.

Pavimentos flexibles. $M_R = C \cdot E_{sr}$ (ec. 64_1.)

Los valores del parámetro C son los que se indican en la **Tabla 3.2_28**.

Tabla 3.2_28. VALORES DEL COEFICIENTE C

Subrasante	Valor "C"
Suelos finos	0,33
Suelos granulares	1,00
Terraplén granular sobre suelo fino	$0,33 + 0,33 \cdot h$ $0 < h \leq 2$
Terraplén suelo fino sobre granular	$1 - 0,33 \cdot h$ $0 < h < 2$

h : altura del terraplén (m).

para h > 2 m; usar C = 0,33 ó 1,00, según corresponda

Pavimentos Rígidos. $K = B \cdot K_{sr}$ (ec 65_1)

El parámetro B toma los valores que se indican en la **Tabla 3.2_29**.

Tabla 3.2_29. VALORES DEL COEFICIENTE B

Subrasante	Valor "B"
Suelos finos	0,50
Suelos granulares	1,00
Terraplén granular sobre suelo fino	$0,5 + h/6$ $0 < h \leq 3$ m
Terraplén suelo fino sobre suelo granular	$1,0 - h/6$ $0 < h < 3$

h : altura del terraplén (m).

para h>3 m, usar B = 1 ó 0,5, según corresponda

En resumen, los ensayos con deflectómetro de impacto permiten determinar la eficiencia de la transmisión de cargas en juntas y grietas, estimar la capacidad soporte de la subrasante y establecer el módulo de elasticidad del hormigón, en los pavimentos rígidos y establecer el módulo resiliente de la subrasante y calcular directamente el número estructural efectivo (NEef) de un pavimento flexible.

Un segundo método del tipo no destructivo y que puede utilizarse para diseñar recarpeteos de asfalto sobre asfalto, cuando no se disponga de un deflectómetro de impacto, es el que se basa en mediciones de deflexiones mediante una viga Benkelman, con una carga estática de 40 kN.; de preferencia debe utilizarse el método Canadiense de ensayo (rebound). También se puede diseñar de acuerdo con este método, cuando se miden deflexiones con el deflectómetro Lacroix, el Dynaflect, el Road Rater – Modelo 400 y otros, para lo cual esas mediciones deben transformarse a sus equivalentes en viga Benkelman.

B.5. MÉTODO BASADO EN LA VIDA ÚTIL REMANENTE.

Se basa en el concepto que la repetición de cargas provoca un fatigamiento de la estructura, lo que disminuye su capacidad para soportar solicitaciones adicionales.

Se calcula estableciendo la cantidad acumulada de solicitaciones que ha soportado el pavimento hasta el momento del análisis (EE_p) y las solicitaciones adicionales ($EE_{1,5}$) necesarias para llevar la estructura a un fatigamiento total, es decir hasta que el índice de serviciabilidad alcance a 1,5. La razón entre estos valores, expresada como un porcentaje, es la vida remanente y se expresa como sigue:

$$VR = 100 \frac{1 - EE_p}{EE_{1,5}} \quad (\text{ec. 66}_1)$$

En que:

VR : vida útil remanente (%)

EE_p : ejes equivalentes acumulados a la fecha del análisis

$EE_{1,5}$: ejes equivalentes necesarios para llevar la estructura a un $p_f = 1,5$

El número estructural efectivo (NE_{ef}) puede obtenerse aplicando la siguiente relación, en que NE_o es el número estructural original de la estructura:

$$NE_{ef} = NE_o \cdot (0,5 + 0,096 \cdot VR^{0,385}) \quad (\text{ec. 67}_1)$$

La capacidad estructural de un pavimento determinada por el procedimiento descrito no tiene en consideración ningún trabajo de reposición que se pudiera haber realizado. Por otra parte, presenta una serie de imprecisiones y dificultades, de manera que muchas veces da resultados que se alejan bastante de lo que pudiera parecer razonable.

Consecuentemente, se recomienda usar este procedimiento sólo para estudios a nivel de anteproyecto o más generales y eventualmente para estimar el NE_{ef} al final de un período en diseño por etapas.

SECCION 3.2.3.2.

RECAPADO CON CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE SOBRE OTRO CONCRETO

3.2.3.2.1. ASFALTICO

A. FACTIBILIDAD TÉCNICA

El recarpeteo con una mezcla asfáltica de un pavimento asfáltico es una alternativa factible, excepto cuando del pavimento existente sean tales que obliguen a remover o reemplazar áreas muy extensas. Las principales condiciones que hacen que la alternativa no sea factible son:

- la cantidad de grietas por fatigamiento existentes es tan alta que prácticamente obliga remover parte substancial del pavimento
- presenta un ahuellamiento significativo que podría repetirse después de recarpeteado.
- existe una base tratada que presenta señales de un serio deterioro que obliga a incluir reparaciones muy extensas para asegurar un soporte uniforme de la subrasante.
- Existe una base granular que debe reemplazarse pues evidencia contaminación e infiltración de suelos finos de la subrasante.
- La capa asfáltica presenta pérdidas de áridos por falta de adherencia entre árido y ligante.

B. REPARACIONES PREVIAS

Los siguientes tipos de fallas deben repararse antes de iniciar la colocación del recarpeteo, pues si no se ejecutan la vida útil de la reposición se acortará significativamente:

Tipo de falla	Reparación necesaria
Grietas por fatigamiento	Todas las áreas que presenten grietas por fatigamiento de alta severidad, deben repararse; también las áreas localizadas con grietas de severidad media, salvo que se instale una membrana especial para minimizar la reflexión de grietas. La reparación debe profundizarse en caso que se detecten suelos de baja capacidad soporte en la subrasante.
Grietas lineales	Toda grieta lineal abierta en más de 19 mm debe bachearse. Las grietas abiertas más de 6 mm se deben rellenar con una arena asfalto u otro producto adecuado para rellenar juntas. Si existen grietas transversales se deben tomar precauciones para minimizar su reflexión.
Ahuellamientos	Las huellas deben rellenarse con mezcla asfáltica o deben rebajarse mediante fresado, antes de colocar el recarpeteo. Si el ahuellamiento es severo, se debe determinar su origen y actuar en consecuencia.
Irregularidades superficiales	Se debe investigar la causa de toda depresión, levantamiento y corrugación y subsanar el problema; la mayoría de las veces se requiere remover y reemplazar el pavimento.

Cuando se opte por esta alternativa de reposición se deberá preparar la monografía detallada, localizando y cuantificando las áreas que requieren de trabajo previos de acuerdo con lo señalado más arriba.

C. ESPESOR DE RECARPETEO

El espesor requerido para aumentar la capacidad estructural de un camino y permitirle soportar el tránsito futuro, está dado por:

$$NE_{rec} = NE_f - NE_{ef} \quad (\text{ec. 68}_1)$$

En que:

NE_{rec} : número estructural del recarpeteo

NE_f : número estructural necesario para soportar el tránsito futuro

NE_{ef} : número estructural efectivo del pavimento existente

Para determinar el espesor del recarpeteo se deben seguir los siguientes pasos:

C.1. ESTABLECER LAS SOLICITACIONES

Determinar las solicitaciones que se acumularán durante el periodo de vida útil proyectado (EE).

En caso de que se vaya a determinar el número estructural efectivo por el método de la vida útil remanente (procedimiento no recomendado para proyectos definitivos), establecer las solicitaciones acumuladas a la fecha del análisis (EE_p).

C.2. CARACTERIZAR LA SUBRASANTE

De preferencia determinar el MR representativo de la subrasante mediante retro análisis de mediciones con un deflectómetro de impacto.

Si resultara imposible hacer deflectometría, el MR se puede determinar mediante una prospección de los suelos de la subrasante.

Para el diseño se debe utilizar el promedio de la serie de valores detectados.

C.3. DETERMINAR EL NÚMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO

De preferencia, determinar el NE_{ef} mediante el retro análisis de mediciones con un deflectómetro de impacto.

Si resultara imposible hacer deflectometría, el NE_{ef} se puede determinar preparando una monografía detallada de las características del deterioro que presenta la capa y utilizar los coeficientes estructurales que se entregan en la **Tabla 3.2_30**. Al aplicar los valores indicados en la Tabla se debe suponer que mediante trabajos previos al recarpeteo se repararon todas las áreas que presentan anomalías.

C.4. DETERMINAR EL NÚMERO ESTRUCTURAL TOTAL REQUERIDO

El número estructural requerido para las solicitaciones previstas se determina como si se tratara de un pavimento nuevo, haciendo abstracción del pavimento existente. En los tres pasos previos se caracterizaron las solicitaciones y la subrasante, por lo que sólo falta definir los índices de serviciabilidad inicial y final, y el nivel de confianza, para contar con todos los antecedentes que permiten determinar el número estructural (NE_f) necesario para soportar el tránsito previsto.

El NE_{ef} se determina tal como se señala para un pavimento nuevo.

C.5. NÚMERO ESTRUCTURAL DEL RECARPETEO

De acuerdo con la ec. 68_1 el número estructural del recarpeteo es: $NE_{rec} = NE_f - NE_{ef}$, es decir, la diferencia entre el valor calculado en el Numeral 4 menos el determinado en el Numeral 3.

En cuanto a estructuración, se recomienda, salvo que el pavimento existente se encuentre en muy buen estado (prácticamente sin deterioro), distribuir el NE_{rec} al menos en dos capas; la inferior debe ser una base tratada con asfalto o si existe un agrietamiento significativo, una mezcla de graduación abierta.

Tabla 3.2_30. COFICIENTES ESTRUCTURALES RECOMENDADOS PARA PAVIMENTOS EXISTENTES

CAPA	CONDICION SUPERFICIAL	COEFICIENTE
Capa	Poco o casi nada de grietas de fatiga y/o grietas transversales ancho ≤ 6 mm	0,35 a 0,40
	<10% grietas de fatiga de severidad baja y/o < 5% grietas transversales ancho < 6 mm	0,35 a 0,40
	>10% grietas de fatiga de severidad baja y/o <10% grietas de fatiga de severidad media y/o >5-10% grietas transversales ancho > 6 mm	0,20 a 0,30
	> 10% grietas de fatiga de severidad media y/o < 10% grietas de fatiga de severidad alta y/o > 10% grietas transversales ancho > 6 mm	0,14 a 0,20
	> 10% grietas de fatiga de severidad alta y/o > 10% grietas transversales ancho > 19 mm	0,08 a 0,15

Base tratada	Poco o casi nada de grietas de fatiga y/o sólo grietas transversales de ancho ≤ 6 mm	0,20 a 0,35
	<10% grietas de fatiga de severidad baja y/o < 5% grietas transversales ancho < 6 mm	0,15 a 0,25
	>10% grietas de fatiga de severidad baja y/o <10% grietas de fatiga de severidad media y/o >5-10% grietas transversales ancho > 6 mm	0,15 a 0,20
	> 10% grietas de fatiga de severidad media y/o < 10% grietas de fatiga de severidad alta y/o > 10% grietas transversales ancho > 6 mm	0,10 a 0,20
	> 10% grietas de fatiga de severidad alta y/o > 10% grietas transversales ancho > 19 mm	0,08 a 0,15
	Bases y subbases Granulares	Sin evidencias de surgencia de finos, degradación o contaminación con finos. Con alguna evidencia de surgencia de finos, degradación o contaminación con finos

D. ESPESORES DE RECARPETEO USANDO MEDIDAS DE DEFLEXIONES

La segunda mejor opción para lograr un buen diseño del recarpeteo, es medir deflexiones mediante una viga Benkelman u otro equipo similar, siempre que las mediciones se transformen a sus equivalentes de viga Benkelman.

Realizadas las mediciones se procede como sigue, de acuerdo con el procedimiento preparado por el Instituto del Asfalto, USA (The Asphalt Institute, TAI):

- normalizar las mediciones por temperatura utilizando los gráficos que entrega el propio método o medidas de corrección propias, derivadas de experiencias previas. También es necesario hacer ajustes estacionales cuando las mediciones no fueron realizadas durante el periodo más crítico del año; estos ajustes se hacen según criterios derivados de experiencias previas basadas en los resultados de programas de medición que se extienden todo el año (secciones de control).
- agrupar las deflexiones medidas según correspondan a zonas de cortes, zonas de terraplenes, tipo de drenaje, condiciones del pavimento, etc.
- la deflexión representativa de un tramo homogéneo es igual al valor promedio de la serie más dos desviaciones estándar (corresponde, aproximadamente al percentil 97,7%).
- el espesor del recarpeteo requerido se determina con la siguiente relación, que es función de la deflexión representativa y del tránsito expresado en ejes equivalentes (en millones)

$$h = \left[\left(1,216 \cdot R^2 \cdot T^{0,4876} - 1 \right) \frac{4,430}{R^{2/3}} \right]^{0,5} \quad (\text{ec. 69}_1)$$

En que:

T : Tránsito (EE millones).

R : Deflexión Representativa (mm)

h : Espesor de recarpeteo (mm)

Nota: la **ecuación 69_1** corresponde a una simplificación de los ábacos y gráficos desarrollados por el TAI; produce diferencias menores del 5% para tránsitos superiores a 3 millones de EE y deflexiones superiores a 3,0 mm. Para deflexiones menores que 3 mm las diferencias no superan el 0,2%. Debe considerarse que, en general, cuando las deflexiones superan los 2,5 mm es preferible reconstruir completamente el pavimento.

El siguiente ejemplo ilustra el procedimiento a seguir, suponiendo que se dispone de los siguientes datos básicos:

tránsito solicitante: T = 2,5 EE (millones)

- medidas de la deflexión:

Km	Deflexión (mm)	Km	Deflexión (mm)
0,00	0,75	0,40	1,08
0,10	0,92	0,60	1,15
0,15	0,80	0,70	0,95
0,20	1,20	0,80	1,20
0,30	1,10	0,90	1,12

- de los antecedentes de la Tabla precedente, se concluye lo siguiente:

deflexión promedio: D = 1,024 mm

desviación estándar: S = 0,162 mm

deflexión representativa (D + 2 S) : R = 1,347 mm

- según la **ec. 69_1** resulta h = 94 mm.

Si fuera necesario para el diseño relacionar deflexiones medidas con una viga Benkelman o deflectómetro Lacroix con las correspondientes a un deflectómetro de impacto (FWD), se sugiere utilizar la siguiente expresión:

$$D_{vb} = 1,16 D_0 \quad (\text{ec. 70}_1)$$

en que:

D_{vb} : deflexión viga Benkelman

D_0 : deflexión con deflectómetro de impacto.

3.2.3.2.2. RECAPADO CON CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE SOBRE PAVIMENTO RIGIDO (BLACK TOPPING)

El **Blacktopping** es un recubrimiento de concreto asfáltico construido sobre un pavimento rígido existente. Se diseña considerando una fuerte unión entre las dos capas, minimizando la necesidad de un espesor adicional.

A. FACTIBILIDAD TÉCNICA

El Recarpeteo con una mezcla asfáltica sobre un pavimento de hormigón es una alternativa factible, excepto cuando las condiciones del pavimento existente sean tales que obliguen a reparaciones y/o remociones de áreas muy extensas. Las principales condiciones que harían que la alternativa no fuera factible serían:

- la cantidad de losas severamente agrietadas y la cantidad de juntas deterioradas es tan alta que prácticamente se deba remover parte substancial del pavimento.
- Existe un deterioro significativo debido a problemas de durabilidad del árido (este problema es de muy rara ocurrencia en el país).
- Se presentan problemas para mantener el gálibo mínimo exigido debajo de pasos inferiores.

No se recomienda una reposición que considere una capa separadora granulada tipo base, entre el pavimento de hormigón y la nueva capa asfáltica, salvo que el espesor de la base sea mayor que unos 400 mm. En tal caso, se debe aplicar el procedimiento descrito para nuevos eventos y no considerar aporte alguno al pavimento de hormigón existente.

B. ESPESOR DE RECAPADO

El siguiente procedimiento, que transforma el pavimento de hormigón en un equivalente a capa asfáltica, sólo debe aplicarse en las condiciones que aquí se señalan y necesariamente debe incluir una capa de una mezcla asfáltica de graduación abierta para controlar la reflexión de grietas. El procedimiento se ajusta a criterios probados con éxito en el país y no necesariamente concuerda con lo señalado en el método AASHTO.

En atención a que el pavimento de hormigón existente se asimila a un pavimento asfáltico, el diseño es similar al presentado en el Numeral correspondiente al Recarpeteo de Asfalto sobre Asfalto; por lo tanto se emplea la **ecuación 68_1**.

$$NE_{rec} = NE_f - NE_{ef}$$

en que:

NE_{rec} : Número estructural del recarpeteo

NE_f : Número estructural necesario para soportar el tránsito futuro

NE_{ef} : Número estructural efectivo equivalente del pavimento de hormigón existente

Para determinar el espesor del recarpeteo se deben seguir los siguientes pasos:

C. ESTABLECER LAS SOLICITACIONES

Determinar las solicitaciones que se acumularán durante el periodo de vida útil proyectado (EE) utilizando factores de equivalencia correspondientes a hormigón.

D. CARACTERIZAR LA SUBRASANTE

De preferencia determinar el MR representativo de la subrasante mediante retroanálisis de mediciones con un deflectómetro de impacto.

Si resultara imposible hacer deflectometría, el MR se puede determinar mediante una prospección de los suelos de la subrasante.

Para diseñar se debe utilizar el promedio de la serie de valores detectados.

E. TRANSFORMAR EL PAVIMENTO DE HORMIGÓN A UN NÚMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO EQUIVALENTE.

Se debe preparar una monografía detallada de las características del deterioro que presenta el pavimento y utilizar los factores de conversión a espesor efectivo que se entregan en la **Tabla 3.2_31**. Estos factores, multiplicados por los espesores correspondientes y por 0,43, coeficiente estructural del concreto asfáltico dan el Número Estructural Efectivo Equivalente. Para aplicar esta Tabla se debe suponer que mediante trabajos previos al recarpeteo se repararon todas las áreas que presentan anomalías.

Tabla 3.2_31. FACTORES DE CONVERSION PARA TRANSFORMAR EL ESPESOR DEL PAVIMENTO EXISTENTE A ESPESOR EFECTIVO

Tipo	Descripción	Coefficiente
I	a) Subbase o Base Granulares(CBR \geq 20%)	
	Si IP \leq 6	0,3
	Si IP > 6	0,2
	b) GTC o Suelo Cemento (IP < 10) usados como bases o subbases	0,2 a 0,3
II	a) Base Granular; material granular no plástico de alta calidad.	0,4 a 0,5
	b) Mezclas Asfálticas; agrietadas, fragmentadas a lo largo de las grietas, apreciable ahuellamiento, con alguna evidencia de inestabilidad.	0,3 a 0,5
	c) Pavimento de hormigón; quebrado en trozos (máxima dimensión = 600 mm), antes de colocar una capa encima:	
	Si existe subbase	0,4 a 0,5
Si losa se apoya en subrasante	0,4 a 0,5	
	d) Bases de Suelo-Cemento; muy agrietadas, evidenciado por las reflexiones de grietas, Pumping o inestabilidad.	0,3 a 0,4
		0,3 a 0,5
III	a) Carpetas de rodadura y bases asfálticas; muy agrietadas, sin que estén fragmentadas, exhiben alguna deformación pero son esencialmente estables.	0,5 a 0,7
	b) Pavimento de hormigón; muy agrietado y escalonado, que no pueden inyectarse para estabilizarlos en forma efectiva. Con fragmentos de losa (de 1 a 4 m ²), bien asentados en la subrasante con rodillos neumáticos pesados.	0,5 a 0,7
	c) Bases de Suelo-Cemento; con pequeñas grietas evidenciadas por la reflexión, bajo Superficies estables.	0,5 a 0,7
		0,5 a 0,7

IV	a) Capa de Rodadura tipo Concreto Asfáltico; con grietas finas, deformaciones leves, pero estable. b) Mezclas asfaltos líquidos; estables, sin grietas, sin exudación, deformaciones leves. c) Bases asfálticas. d) Pavimento de hormigón; estable por inyección de algunas grietas, trozos mayores a 1 m ²	0,7 a 0,9
V	a) Concreto asfáltico; incluyendo capa intermedia, sin grietas y con deformaciones leves b) Pavimento de hormigón; estable, y no agrietado. c) Base de pavimento de hormigón; bajo superficie asfáltica estable, sin pumping, poca reflexión de grietas.	0,9 a 1,0

También el número estructural existente se podrá calcular con las siguientes expresiones:

$$D_{vb} = D_0 - 6,264/ES \quad (\text{ec. 71}_1)$$

En que:

D_{bv} : deflexión del pavimento medido con Viga Benkelman (mm)

D_0 : deflexión absoluta del pavimento o deflexión FWD

E_s : módulo del suelo de subrasante (MPa)

$NE_{ef} = 10,789 \times D_{vb} - 0,421$ (ec. 72_1)

F. DETERMINAR EL NÚMERO ESTRUCTURAL TOTAL REQUERIDO

El número estructural requerido para las solicitaciones previstas se determina como si se tratara de un pavimento nuevo, haciendo abstracción del pavimento existente. En los tres pasos previos se caracterizaron las solicitaciones y la subrasante, por lo que sólo falta definir los índices de serviciabilidad inicial y final, y el nivel de confianza, que se debe adoptar para contar con todos los antecedentes que permiten determinar el número estructural (NE_f) necesario para soportar el tránsito previsto.

El NE_f se determina tal como se señala para un pavimento nuevo.

G. NÚMERO ESTRUCTURAL DEL RECARPETEO

De acuerdo con la ec. 68_1 el número estructural del recarpeteo es: $NE_{rec} = NE_f - NE_{ef}$, es decir, la diferencia entre el valor calculado en el Párrafo 4 menos el determinado en el Párrafo 3.

En cuanto a estructuración, siempre se debe colocar directamente sobre el pavimento de hormigón, después de realizadas las reparaciones previas y colocado un riego de liga, una capa conformada por una mezcla asfáltica de graduación abierta. Para caminos en zonas suburbanas donde existe un tránsito significativo de camiones pesados, el espesor total de las capas que conforman el recarpeteo no debe ser inferior a unos 120 mm.

3.2.3.2.3. RECAPADO CON CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE SOBRE ADOQUINES

Indicados anteriormente.

3.2.3.2.4. PAVIMENTO RIGIDO SOBRE CONCRETO ASFALTICO (WHITE TOPPING)

El **Whitetopping** es un recubrimiento de hormigón de cemento portland construido sobre un pavimento asfáltico existente. Se diseña considerando una fuerte unión entre las dos capas, minimizando la necesidad de un espesor adicional.

A. FACTIBILIDAD TÉCNICA

La reposición de un pavimento asfáltico mediante un pavimento de hormigón es una alternativa adecuada tanto para mejorar su capacidad estructural como funcional. Se puede aplicar prácticamente cualesquiera sean las condiciones en que se encuentran el pavimentos asfáltico y es especialmente ventajosa cuando él se encuentra muy deteriorado.

Asimismo, si el plazo de construcción fue crítico, se pueden utilizar hormigones para entrega acelerada al tránsito. Las principales condiciones que haría que la alternativa no fuera factible serían:

- el nivel del deterioro del pavimento existente no es importante de manera que otras alternativas pudieran resultar económicamente más convenientes.
- resulta un gálibo vertical inadecuado y obliga a modificar muchas estructuras de drenaje y elementos de seguridad vial.
- el pavimento pudiera experimentar grandes deformaciones, hundimientos o asentamientos.

B. REPARACIONES PREVIAS

Las reparaciones que requiere este tipo de solución son las mínimas, debiéndose tener en consideración solamente lo siguiente:

Tipo de Falla	Reparación Necesaria
Grietas por fatigamiento	No requieren reparación, sólo se deben bachear las áreas que presenten deflexiones altas.
Grietas transversales	No requieren reparación.
Surgencia de finos y pérdida superficial de áridos	Colocar drenes de pavimento. Remover la capa que está experimentando la pérdida de áridos, siempre que sea de alta severidad
Asentamientos	Nivelar con concreto asfáltico.

La reflexión de grietas no es, en general, un problema a considerar en esta solución. Sin embargo, si el pavimento asfáltico presenta grietas transversales severas de origen térmico, es conveniente analizar la conveniencia de colocar algún elemento separador, como un geotextil, sobre la zona de la grieta.

Cuando se opte por esta alternativa de reposición se deberá preparar una monografía detallada localizando y cuantificando las áreas que requieren de trabajo previos de acuerdo con lo señalado más arriba.

C. ESPESOR DEL RECARPETEO

El espesor requerido se calcula tal como si fuera un pavimento nuevo teniendo en consideración la capacidad de soporte de la subrasante incluyendo el aporte de la capa asfáltica.

Los pasos a seguir para determinar el espesor necesario, son los que se señalan a continuación:

C.1. ESTABLECER LAS SOLICITACIONES

Determinar las solicitudes que se acumularán durante el periodo de vida útil proyectado (EE).

C.2. CARACTERIZAR LA SUBRASANTE

De preferencia determinar el k representativo de la subrasante mediante retro análisis de mediciones con un deflectómetro de impacto. Este parámetro se determina de acuerdo con los procedimientos y criterios señalados en los ensayos no destructivos.

Otro procedimiento para determinar el k es mediante ensayos con placa de carga.

Por último, si resultara imposible contar con alguno de los métodos de auscultación señalados, el k se puede determinar mediante una prospección de los suelos de la subrasante.

Para diseño se debe utilizar el promedio de la serie de valores detectados.

C.3. CALCULAR EL ESPESOR LA LOSA REQUERIDO

El espesor de losa para las solicitaciones previstas se determina como si se tratara de un pavimento nuevo; el pavimento existente sólo sirve para evaluar el coeficiente de roce en la interface asfalto – hormigón. En los pasos previos se caracterizaron las solicitaciones y la subrasante, por lo que falta por definir los demás parámetros que intervienen en los cálculos.

3.2.3.2.5. PAVIMENTO RÍGIDO SOBRE OTRO PAVIMENTO RÍGIDO (ADHERIDO Y NO ADHERIDO)

A. REPOSICIÓN DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN CON HORMIGÓN NO ADHERIDO

A.1. FACTIBILIDAD TÉCNICA

El procedimiento se refiere al diseño de un pavimento de hormigón a coloca sobre un pavimento de hormigo existente, del que aísla mediante una capa de mezcla asfáltica que impide la adherencia entre hormigón antiguo y el nuevo.

La técnica contempla conservar básicamente las losas del pavimento tal como se encuentran, sólo sometiéndolas a un mínimo de trabajos previos. Consecuentemente, no se incluye la descripción de otros procedimientos para tratar losas severamente deterioradas, tales como quebrarlas y asentarlas, quebrarlas y estabilizar los trozos o pulverización completa (rubblizing).

Por otra parte el procedimiento que se describe no es aplicable cuando se utilizan capas granulares para separar el pavimento antiguo de nuevo. En ese caso la nueva losa debe calcularse como un pavimento de hormigón nuevo apoyado sobre una base granulada y en ningún caso, como una losa no adherida al anterior pavimento.

El valor de k a utilizar en ese caso es difícil de determinar pero, dependiendo de la capacidad soporte de la subrasante, se recomiendan valores comprendidos entre 55 y 110 MPa/m. salvo situaciones especiales en climas desérticos, la solución debe complementarse con la colocación de drenes de pavimento que aseguren la evacuación rápida de las aguas que llegan a la base.

La reposición de un pavimento de hormigón (u hormigón previamente recubierto con una capa asfáltica) con losas de hormigón no adheridas, es una alternativa prácticamente para cualquier condición. Sin embargo, debido a que requiere pocas reparaciones previas, normalmente su mayor aplicación es cuando el pavimento existente se encuentra seriamente deteriorado.

Las condiciones que harían que esta solución no resultara factible son:

- la cantidad de losas que presentan grietas y juntas deterioradas y con saltaduras no es tan significativa, de manera que otras alternativas pudieran más económicas.
- El pavimento existente está expuesto a experimentar asentamientos o deformaciones significativas.
- Se presentan problemas para mantener al galibo mínimo exigido debajo de pasos inferiores.

A.2. REPARACIONES PREVIAS

Una gran ventaja de la solución de reposición mediante losas no adheridas es que los requerimientos de reparaciones previas del pavimento existente son mínimas. Sin embargo, esta solución no puede utilizarse como un “puente” para saltarse zonas localizadas con capacidad soporte reducida o no uniforme. Los deterioros que deben repararse antes de colocar las losas no adheridas, con el propósito de prevenir la reflexión de grietas, son los siguientes:

Tipo de Falla	Reparación Necesaria
Grietas que trabajan	No requieren reparación.
Juntas saltadas	No requieren reparación.
Surgencia de finos	Se deben instalar drenes de pavimento.
Losas hundidas	Nivelar con mezclas asfálticas o reconstruir la losa.
Mala transferencia de cargas en juntas y grietas.	No requieren reparación. Si existen muchas juntas o grietas en esta condición, considerar una capa asfáltica separadora de mayor espesor.

Salvo cuando existe una muy mala transferencia de cargas en las juntas y grietas, el espesor de la capa asfáltica separadora debe estar comprendido entre 25 y 50 mm, pero en todo caso debe ser algo mayor que la altura del escalonamiento de juntas que presente el pavimento a reponer. Donde la transferencia de cargas en juntas y grietas sea inadecuada, inferior al 50%, se debe colocar una capa separadora de espesor mínimo 50 mm.

Cuando se opte por esta alternativa de reposición se deberá preparar una monografía detallada localizando y cuantificando las áreas que requieren de trabajo previo de acuerdo con lo señalado más arriba.

A.3. ESPESOR DEL RECARPETEO

El espesor que requiere una losa de hormigón no adherida con el pavimento de hormigón a reponer, es función de la capacidad estructural necesaria para soportar las solicitaciones previstas y de la capacidad estructural del pavimento existente. El espesor del recarpeteo se determina con la siguiente relación:

$$D_{rep} = (Df_2 - D_{ef}^2)^{0,5} \quad \text{(ec. 73_1)}$$

En que:

- D_{rep} : Espesor de la losa de reposición
- D_f : Espesor de la losa, necesario para soportar el tránsito futuro
- D_{ef} : Espesor efectivo del pavimento de hormigón existente

A.3.1. ESTABLECER LAS SOLICITACIONES

Determinar las solicitaciones que se acumularán durante el periodo de vida útil proyectado (EE), utilizando factores de equivalencia correspondientes a hormigón.

A.3.2. CARACTERIZAR LA SUBRASANTE

De preferencia determinar el k representativo de la subrasante mediante retro análisis de mediciones con un deflectómetro de impacto. Este parámetro se determina de acuerdo con los procedimientos y criterios señalados en los ensayos no destructivos.

Otro procedimiento para determinar el k es mediante ensayos con placa de carga. El ensayo debe realizarse de preferencia retirando algunas losas para ensayar directamente sobre la base; en su defecto también pueden ensayarse a un costado del pavimento removiendo el espesor equivalente a la banquina.

Por último, si resultara imposible contar con alguno de los métodos de auscultación señalados, el k se puede determinar mediante una prospección de los suelos de la subrasante.

Para diseño se debe utilizar el promedio de la serie de valores detectados.

A.3.3. CALCULAR EL ESPESOR DEL PAVIMENTO DEL HORMIGÓN REQUERIDO PARA EL TRÁNSITO PREVISTO

El espesor de losas requerido por el nivel solicitaciones previstas se determina como si fuera un pavimento nuevo, haciendo abstracción de la existencia del pavimento antiguo, salvo por la base, que debe evaluarse en lo que respecta a su módulo elástico, coeficiente de roce y coeficiente de drenaje; su aporte se incorpora al diseño estructural. Los demás parámetros son los mismos que se utilizarían para diseñar un pavimento nuevo.

A.3.4. CALCULAR EL ESPESOR EFECTIVO DE LAS LOSAS DEL PAVIMENTO EXISTENTE (D_{EF})

Se debe preparar una monografía detallada de los siguientes deterioros que presente el pavimento:

- número de juntas de contracción deterioradas por km.
- número de grietas transversales deterioradas por km.
- número de juntas excepcionalmente anchas (más de 25 mm de ancho) por km.
- superficie por km cubierta por parches asfálticos de todo el espesor y que abarcan a lo menos una pista completa.
- evidencias de surgencia de finos y/o de agua y de escalonamiento de juntas.

El espesor efectivo (D_{ef}) del pavimento existente, de hormigón o compuesto por hormigón más un recubrimiento asfáltico, se determina con las siguientes expresiones:

$$D_{ef} = F_{jg} \cdot D \quad (\text{ec } 74_1)$$

$$F_{jg} = 1,77 \cdot 10^{-6} (JYG)^2 - 9,6 \cdot 10^{-4} (JYG) + 0,9917 \quad (\text{ec.75_1})$$

En que:

- F_{jg} : Factor de ajuste por juntas y grietas deterioradas, según **ec.75_1**
- JYG : Número de juntas y grietas transversales deterioradas y no reparadas y otras discontinuidades por km.
- D : Espesor (mm) del pavimento existente (el espesor a utilizar en la fórmula no debe ser mayor que 250 mm, aun cuando sea efectivamente mayor; el espesor de una eventual capa asfáltica, no se considera).

También el espesor efectivo puede estimarse de acuerdo con el método de la vida útil remanente; con la ecuación correspondiente; se determina VR (%) y luego D_{ef} con la siguiente ecuación:

$$D_{ef} = D \cdot (0,5 + 0,096 \cdot VR0,358) \quad (\text{ec } 76_1)$$

El procedimiento descrito conlleva una serie de imprecisiones de manera que eventualmente los resultados que se obtienen pudieran alejarse bastante de lo parece razonable; se recomienda usarlo sólo para estudios a nivel de anteproyecto o más generales.

A.3.5. DETERMINAR EL ESPESOR NECESARIO

El espesor requerido (D_{rep}) se calcula con la **ec. 77_1**.

$$D_{rep} = (D_f^2 - D_{ef}^2)^{0,5} \quad (\text{ec. } 77_1)$$

En que:

D_{rep} : Espesor de la losa de reposición

D_f : Espesor de la losa, necesario para soportar el tránsito futuro

D_{ef} : Espesor efectivo del pavimento de hormigón existente

3.2.3.2.6. REPOSICIÓN DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN CON HORMIGÓN ADHERIDO

Este procedimiento se refiere al diseño de losas de hormigón que se construyen de manera que se adhieran al pavimento de hormigón a reponer. Para lograr este objetivo se debe previamente reparar las áreas deterioradas, mejorarse el subdrenaje, si es necesario y preparar la superficie para asegurar la adherencia requerida entre el hormigón antiguo y el nuevo. El éxito de este tipo de solución depende en gran medida del grado de adherencia que se logre, de manera que deben tomarse todas las medidas para tener un alto grado de confianza que la unión se producirá efectivamente.

La superficie existente debe limpiarse y hacerse rugosa, mediante medios mecánicos que remuevan la capa más superficial, sin dañar el hormigón y deben aplicarse procedimientos como humedecer la superficie, colocar una lechada de cemento y mortero, usar productos epóxicos u otros.

La reposición con losas adherida requiere que previamente se reparen completamente: todas las grietas que están trabajando, las juntas que presentan saltaduras, cualquier parche asfáltico deteriorado y se coloquen drenes de pavimento, cuando resulten necesarios y se nivelen las losas asentadas, de manera que es una buena solución sólo cuando el pavimento no se encuentre muy deteriorado.

En consideración a que prácticamente, se carece de experiencia en el país para este tipo de solución y a que las reparaciones previas y adherencia entre hormigón antiguo y nuevo, son fundamentales para su buen desempeño, esta solución debe utilizarse únicamente con la autorización previa de la Dirección de Vialidad y el diseño respaldarse con estudios especiales que garanticen las condiciones señaladas.

3.2.3.2.7. PAVIMENTO ASFALTICO SOBRE EMPEDRADO

Como parte del mejoramiento en el nivel de servicio que brindan los pavimentos tipo empedrado, muchos tramos son posteriormente recubiertos con una carpeta asfáltica, pasando el empedrado a oficial de BASE para la misma y el terreno sobre el cual se construyó el empedrado de SUB-BASE.

Para el dimensionamiento del espesor de la Carpeta Asfáltica a implantarse sobre el empedrado, no existen métodos estudiados disponibles que nos permitan determinar y justificar los coeficientes de aporte estructural de este tipo de pavimento. Por esta razón, una práctica común entre los ingenieros consultores, consiste en asemejar la capa de empedrado a una base de suelo agregado, mediante el cual se puede asignar un coeficiente de aporte estructural al mismo, para posteriormente utilizar el método AASHTO para el cálculo del espesor de la capa asfáltica, para la vida útil pretendida en el proyecto.

El hecho de no disponer métodos estudiados en nuestro País, debería ser un aliciente para las instituciones encargadas de las Obras Publicas como ser MOPC, Gobernaciones, Municipios para que conjuntamente con las Universidades, en particular las Facultades de Ingeniería, se puedan llevar a cabo investigaciones que permitan determinar los aportes estructurales para diferentes tipos de bases y de piedras utilizadas en el País. Uno de ellos podría ser el método del "Plato de Carga".

3.2.3.2.8. OTRAS COMBINACIONES QUE PUEDEN SER UTILIZADAS PARA MEJORAMIENTO Y REHABILITACIÓN DE CALZADAS:

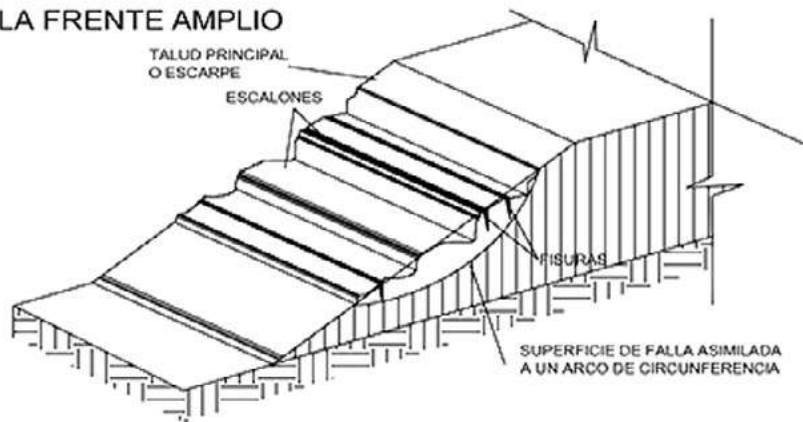
- lechadas asfálticas s/ carpeta asfáltica
- micro pavimento sobre concreto asfáltico
- concreto asfáltico sobre empedrado
- pavimento rígido sobre empedrado
- concreto asfáltico sobre calzadas estabilizadas
- pavimento rígido sobre calzadas ESTABILIZADAS

ANEXO – GRÁFICOS

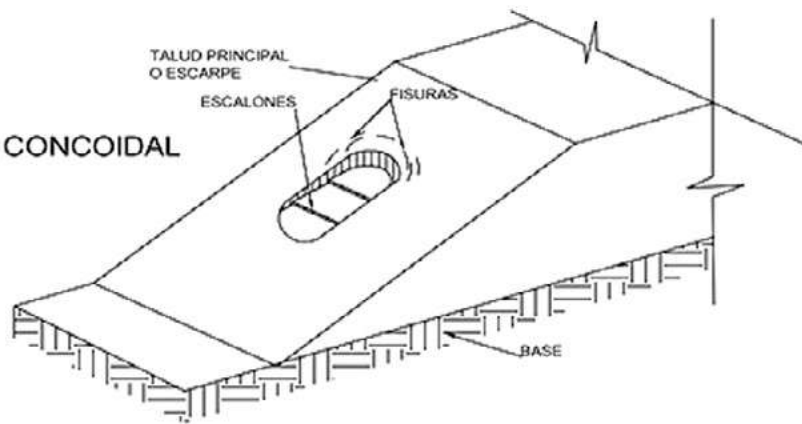
GRÁFICO 1_1

FALLAS DE TALUD DE CORTE EN SUELO

FALLA FRENTE AMPLIO



FALLA CONCOIDAL



FALLA TRASLACIONAL

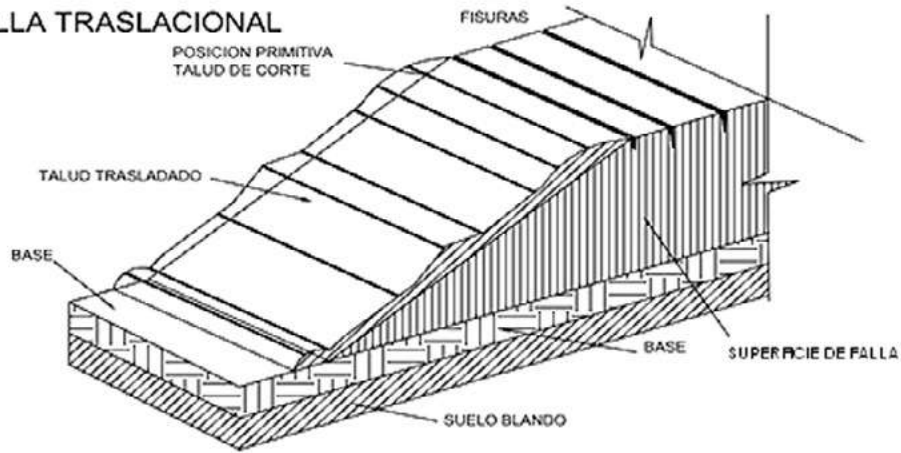


GRÁFICO 2_1

MÉTODO GRÁFICO PARA EL CÁLCULO DE FACTOR DE SEGURIDAD AL DESLIZAMIENTO

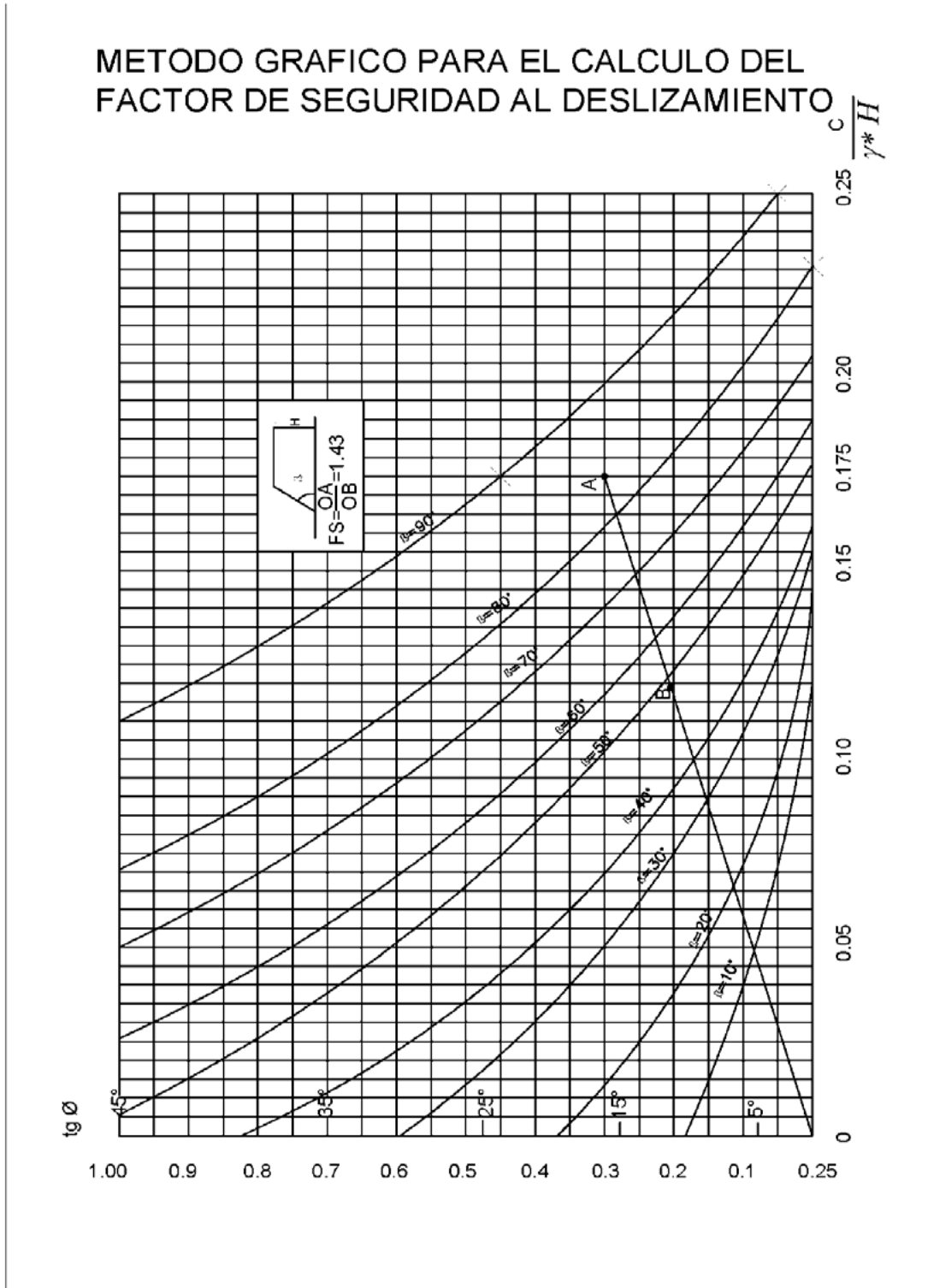


GRÁFICO 3_1

GRÁFICO PARA DETERMINAR EL ESPESOR MÍNIMO DE MATERIAL FILTRO DE PROTECTOR DE TALUD

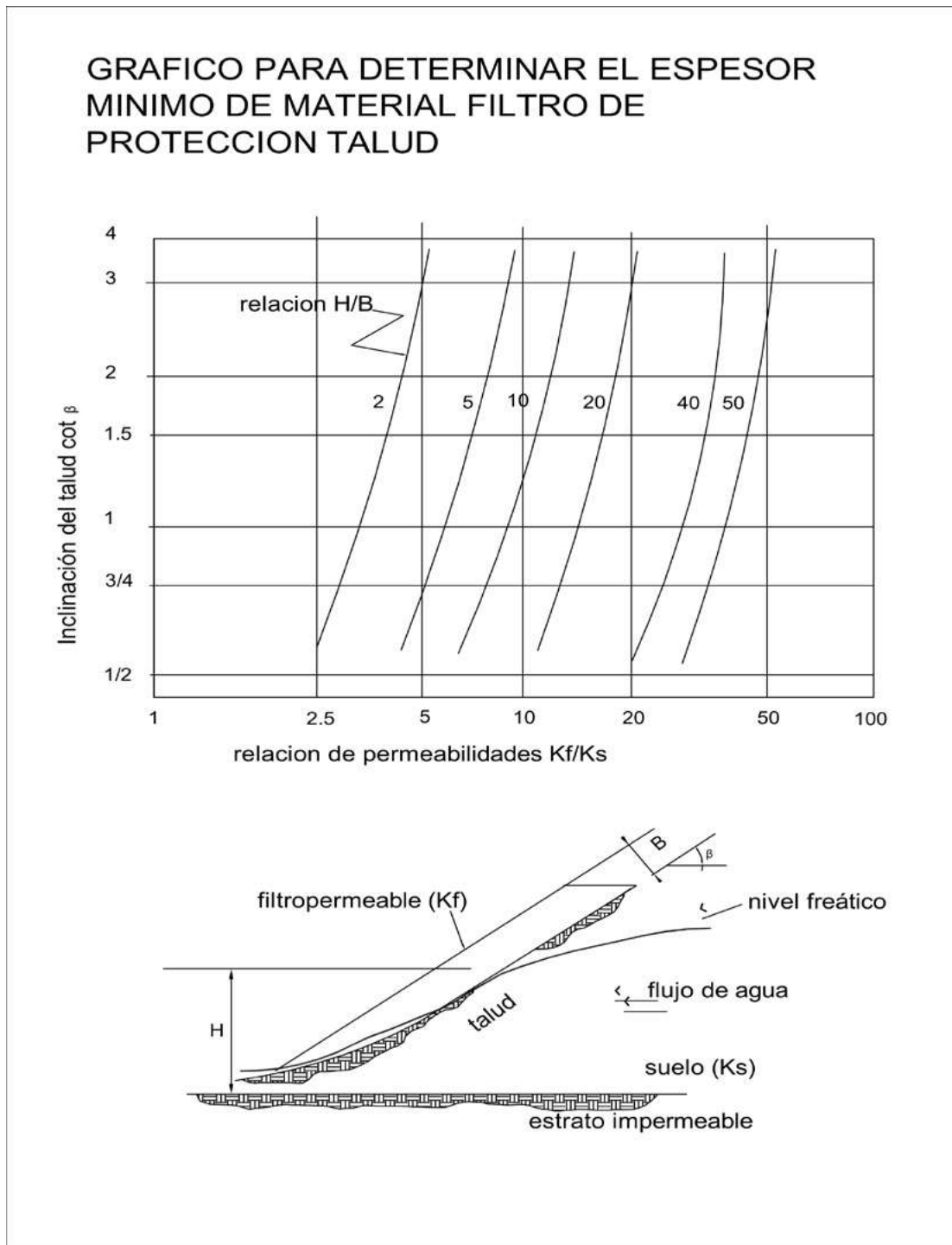
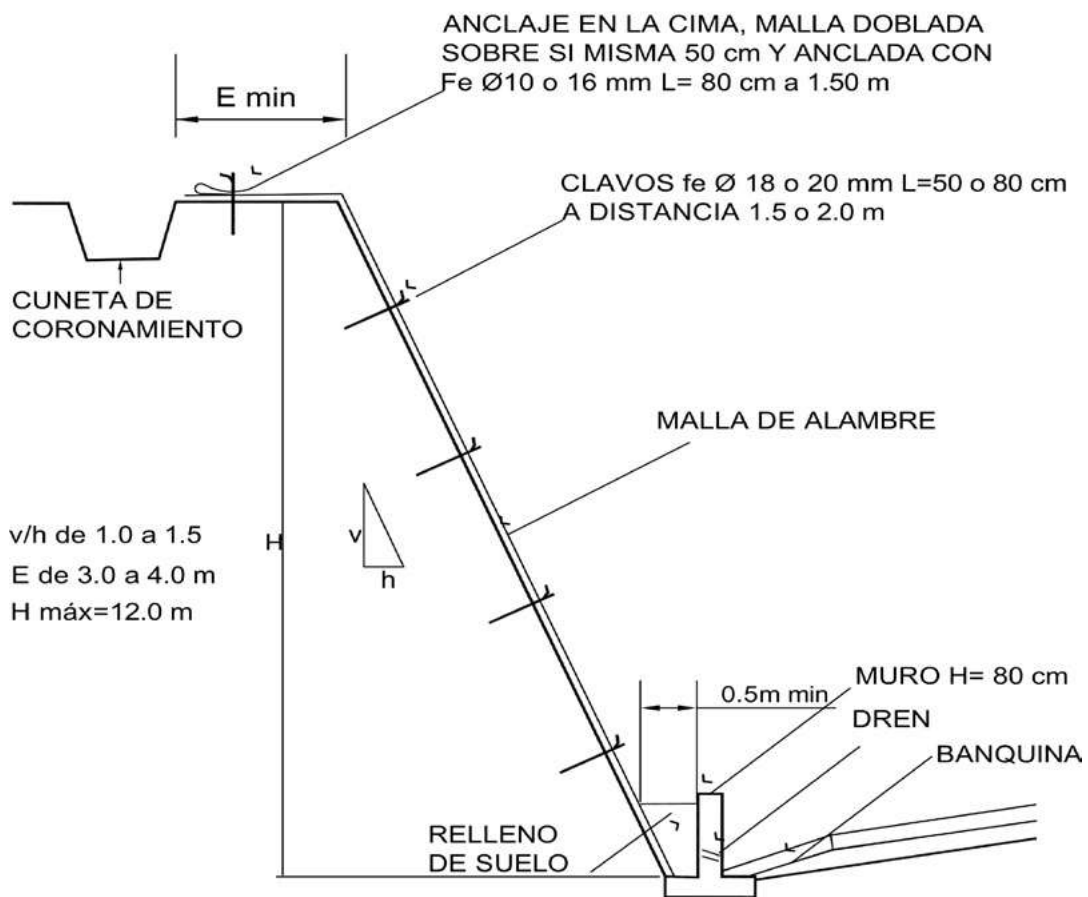


GRÁFICO 4_1

PROTECCIÓN EN SUELO COMPACTO DE CONTRATALUD CON MALLA DE ALAMBRE

PROTECCION EN SUELO COMPACTO DE CONTRATALUD CON MALLA DE ALAMBRE

CROQUIS ESQUEMATICO

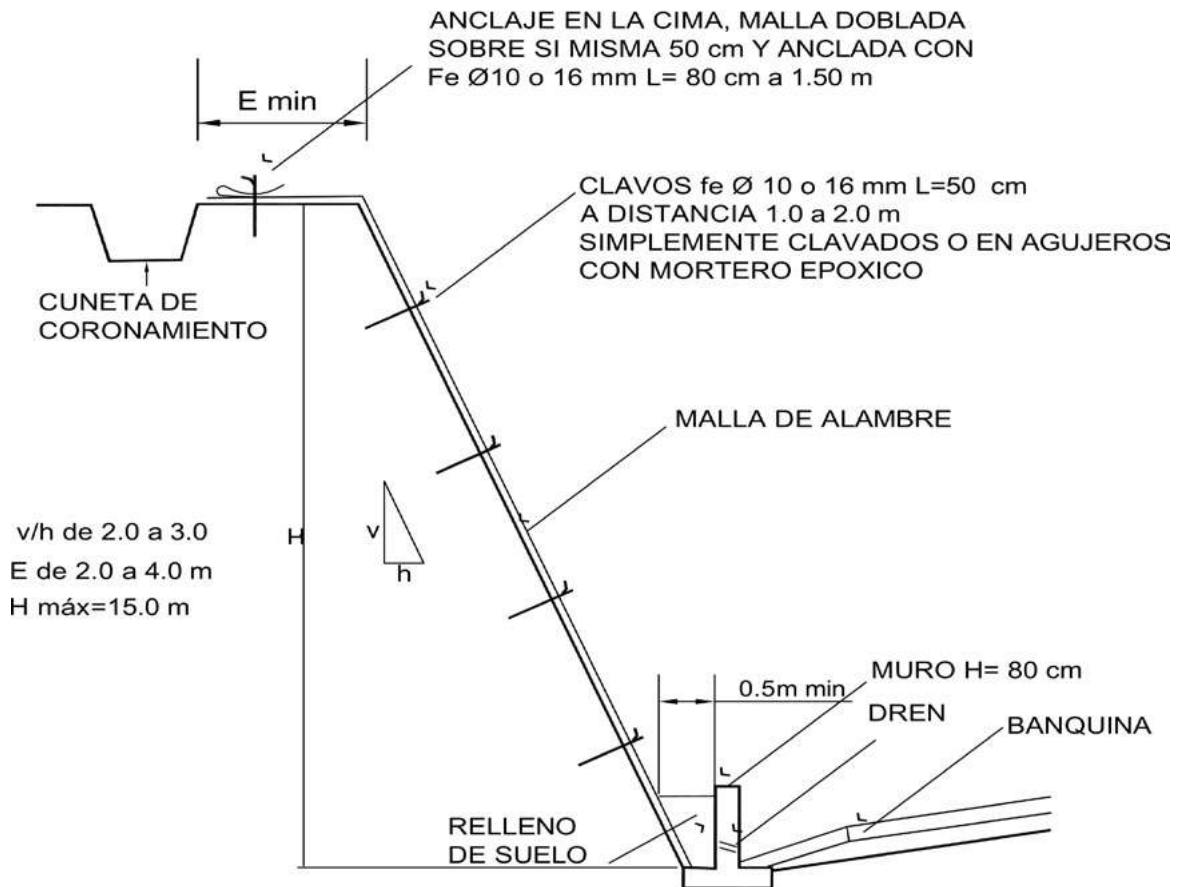


LA MALLA DE ALAMBRE CORRESPONDE A UN TEJIDO DE 8x10 cm CON ALAMBRE GALVANIZADO ESPESOR 3.0 mm Y CON UNA CARGA A LA ROTURA DE MAS DE 5700 Kg/m

GRÁFICO 5_1

REFUERZO DE CONTRATALUD CON MALLA DE ALAMBRE ROCA FRACTURADA REFUERZO DE CONTRATALUD CON MALLA DE ALAMBRE ROCA FRACTURADA

CROQUIS ESQUEMATICO



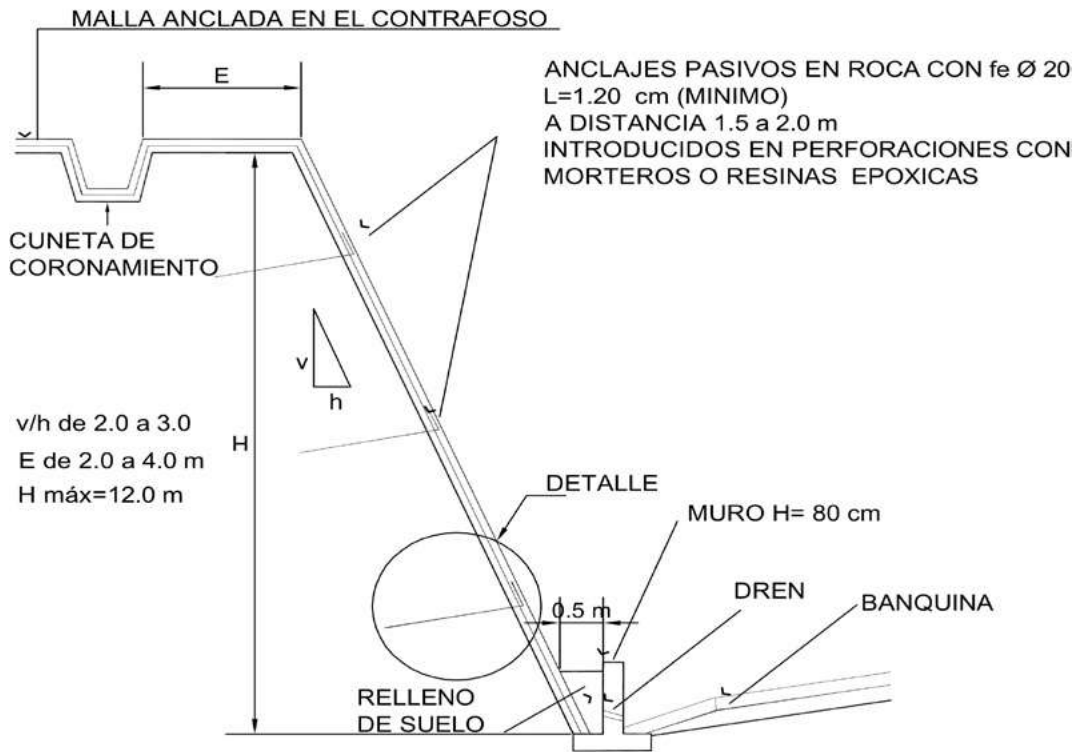
LA MALLA DE ALAMBRE CORRESPONDE A UN TEJIDO DE 8x10 cm CON ALAMBRE GALVANIZADO ESPESOR 3.0 mm Y CON UNA CARGA A LA ROTURA DE MAS DE 5700 Kg/m

GRÁFICO 6_1

PROTECCIÓN DE CONTRATALUD CON MALLA DE ALAMBRE Y HORMIGÓN PROYECTADO

PROTECCION DE CONTRATALUD CON MALLA DE ALAMBRE Y HORMIGON PROYECTADO

CROQUIS ESQUEMATICO



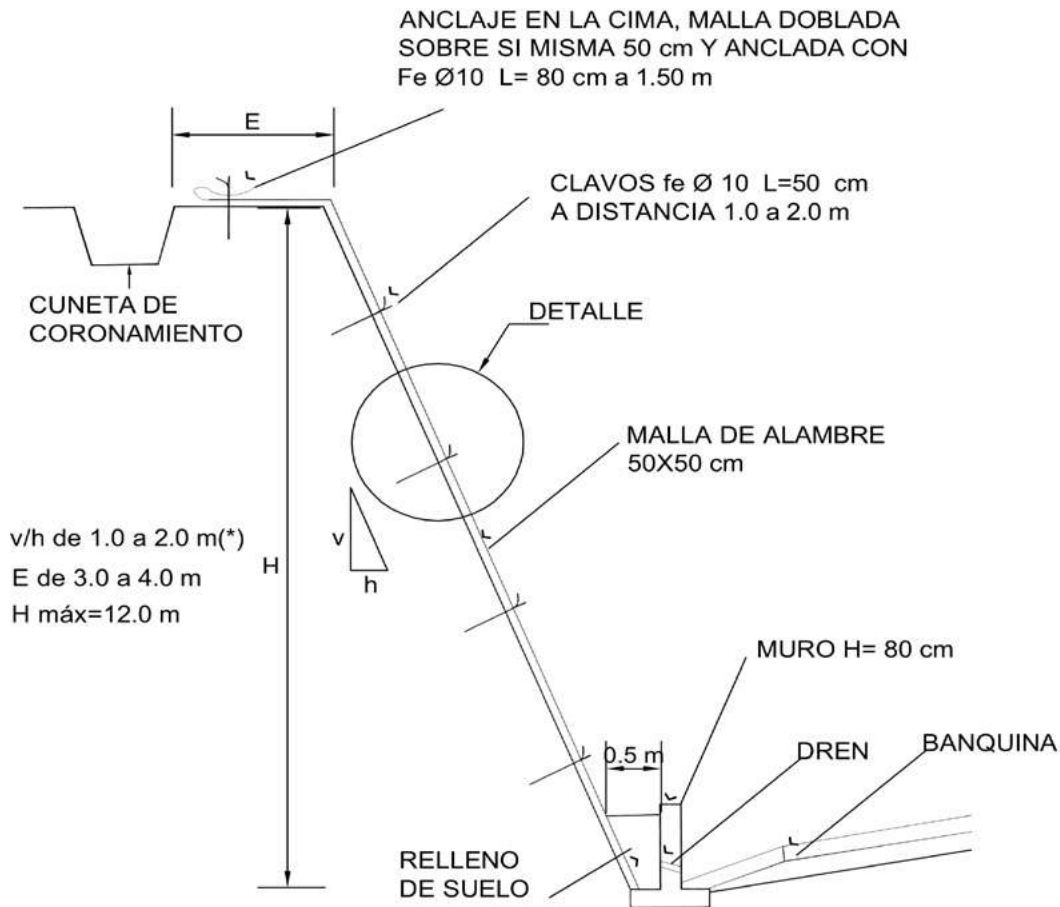
ANCLAJES PASIVOS EN ROCA CON fe Ø 20
 L=1.20 cm (MINIMO)
 A DISTANCIA 1.5 a 2.0 m
 INTRODUCIDOS EN PERFORACIONES CON
 MORTEROS O RESINAS EPOXICAS



GRÁFICO 7_1

PROTECCIÓN CONTRATALUD SEMBRADO SOSTENIDO EN BARRO VEGETAL Y MALLA

**PROTECCION CONTRATALUD SEMBRADO SOSTENIDO EN BARRO VEGETAL Y MALLA
 CROQUIS ESQUEMATICO**



(*) LA INCLINACION INDICADA ES PARA SUELOS COMPACTOS Y ROCA FRACTURADA, PARA SUELOS BLANDOS LA INCLINACION QUEDA DETERMINADA POR EL DESLIZAMIENTO

LA MALLA DE ALAMBRE CORRESPONDE A UN TEJIDO DE 8X10 cm CON ALAMBRE GALVANIZADO ESPESOR 3.0 mm Y CON UNA CARGA A LA ROTURA DE MAS DE 5700 Kg/ml

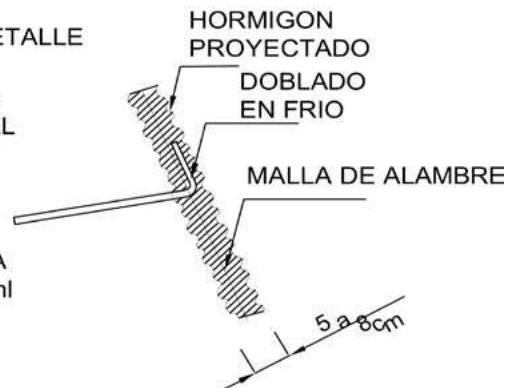


GRÁFICO 8_1

CONTRATALUDES EN CORTES ALTOS CON ESCALONAMIENTO SUELOS Y ROCAS

CONTRATALUDES EN CORTES ALTOS CON ESCALONAMIENTO SUELOS Y ROCAS

CROQUIS ESQUEMATICO

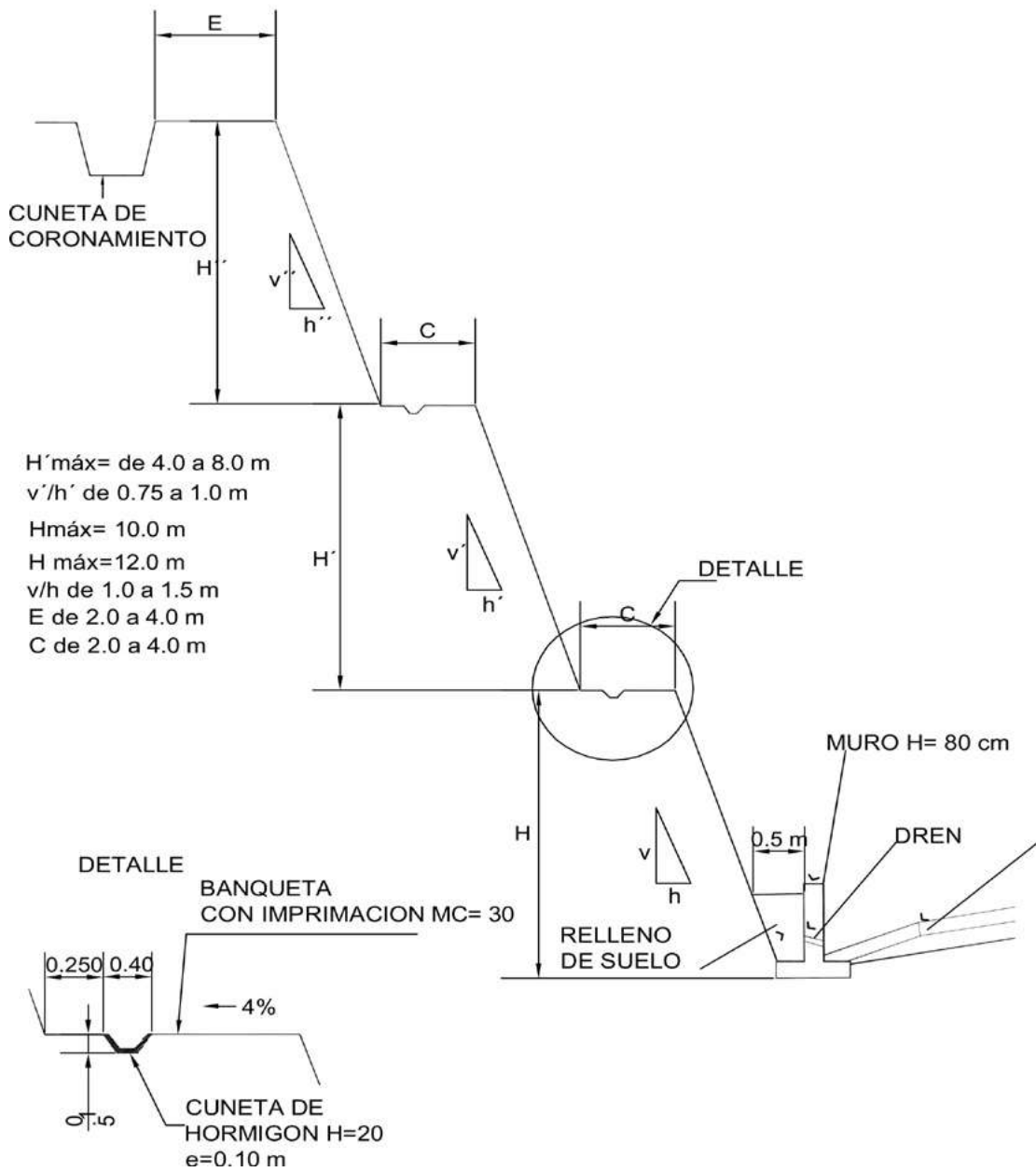


GRÁFICO 9_1

EJEMPLO DE FALLA DE TERRAPLENES EJEMPLO DE FALLA DE TERRAPLENES

Figura a) EROSION Y DESLIZAMIENTOS LOCALES

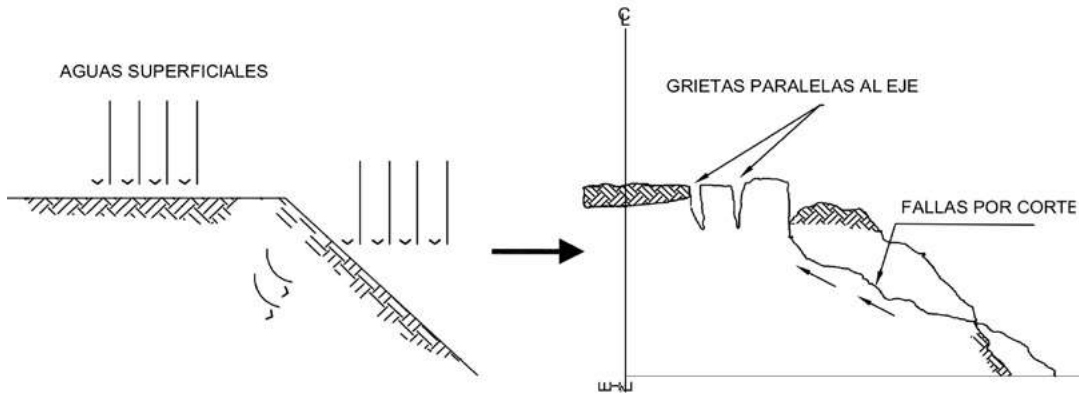


Figura b) CONSTRUCCION DE TERRAPLENES EN LADERAS

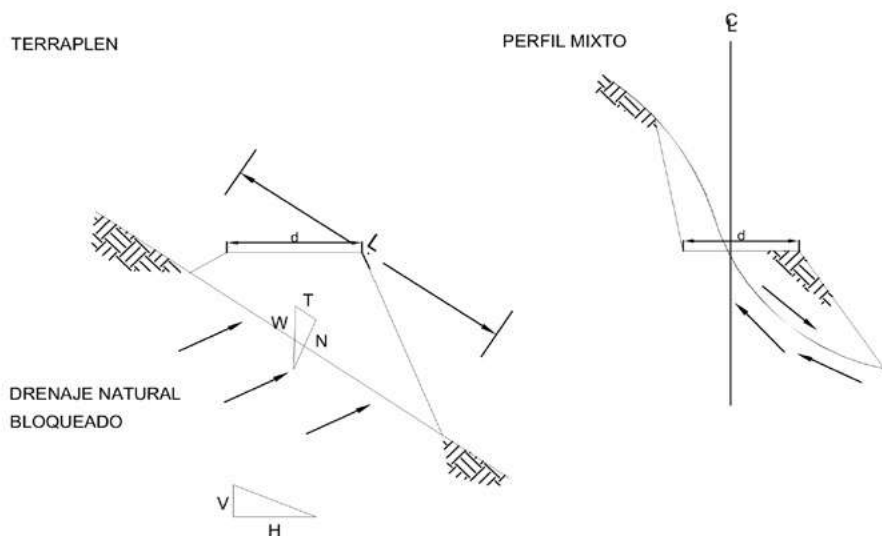


GRÁFICO 10_1 TERRAPLENES EN LADERAS

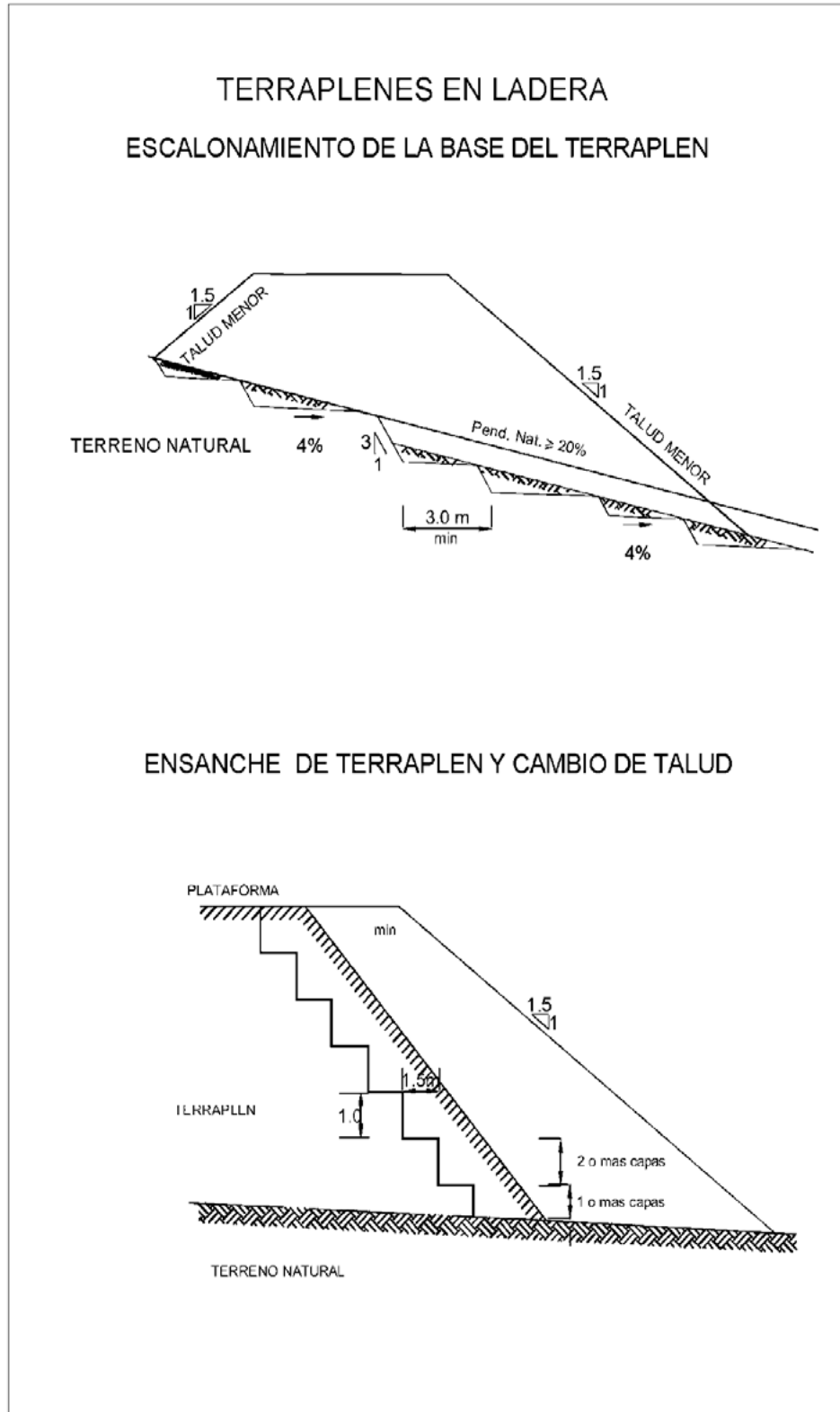


GRÁFICO 11_1

EJEMPLO MURO CON GEOTEXTIL

EJEMPLO MURO CON GEOTEXTIL

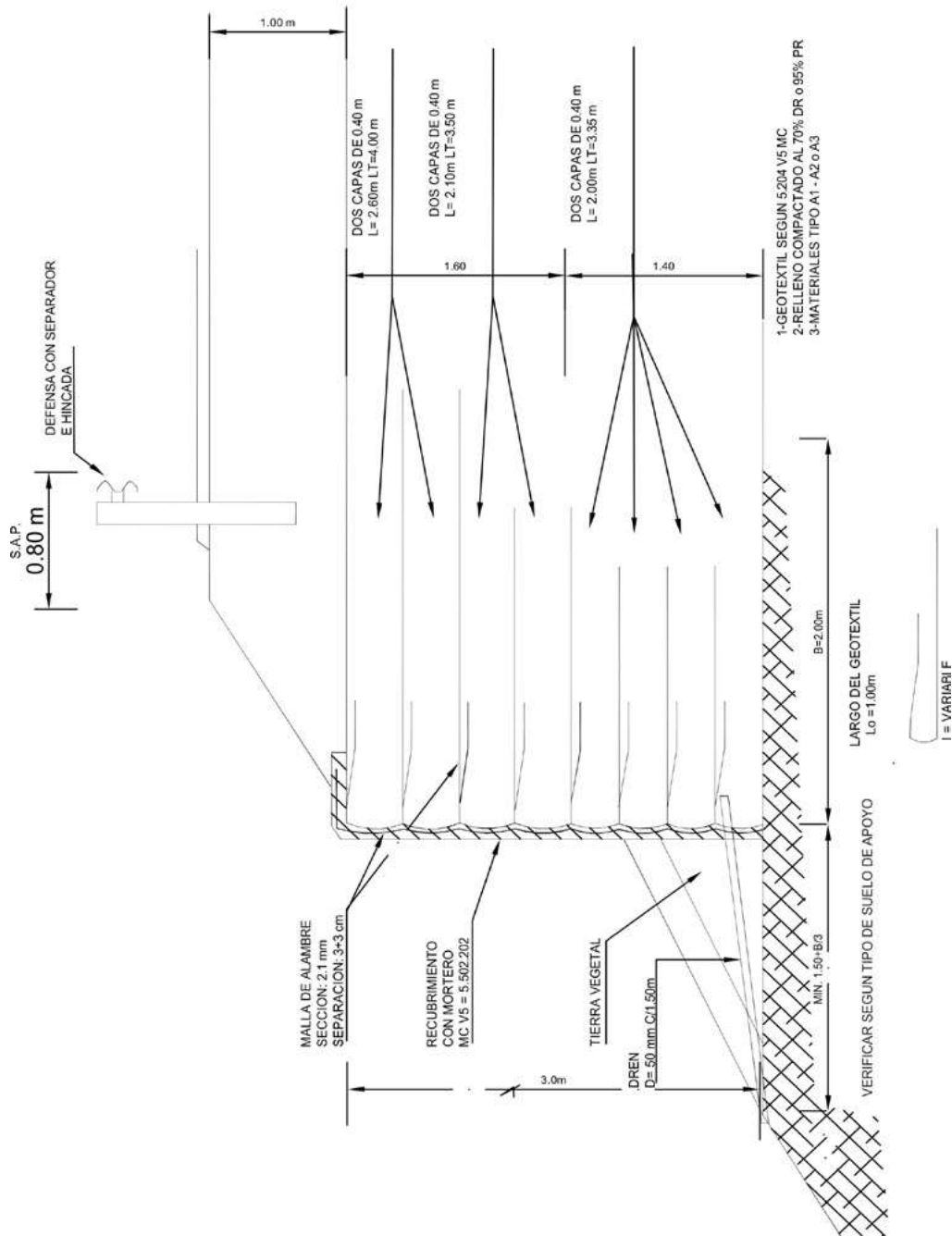


GRÁFICO 12_1 EJEMPLO DISPOSICIÓN GRAL. MURO GAVIÓN

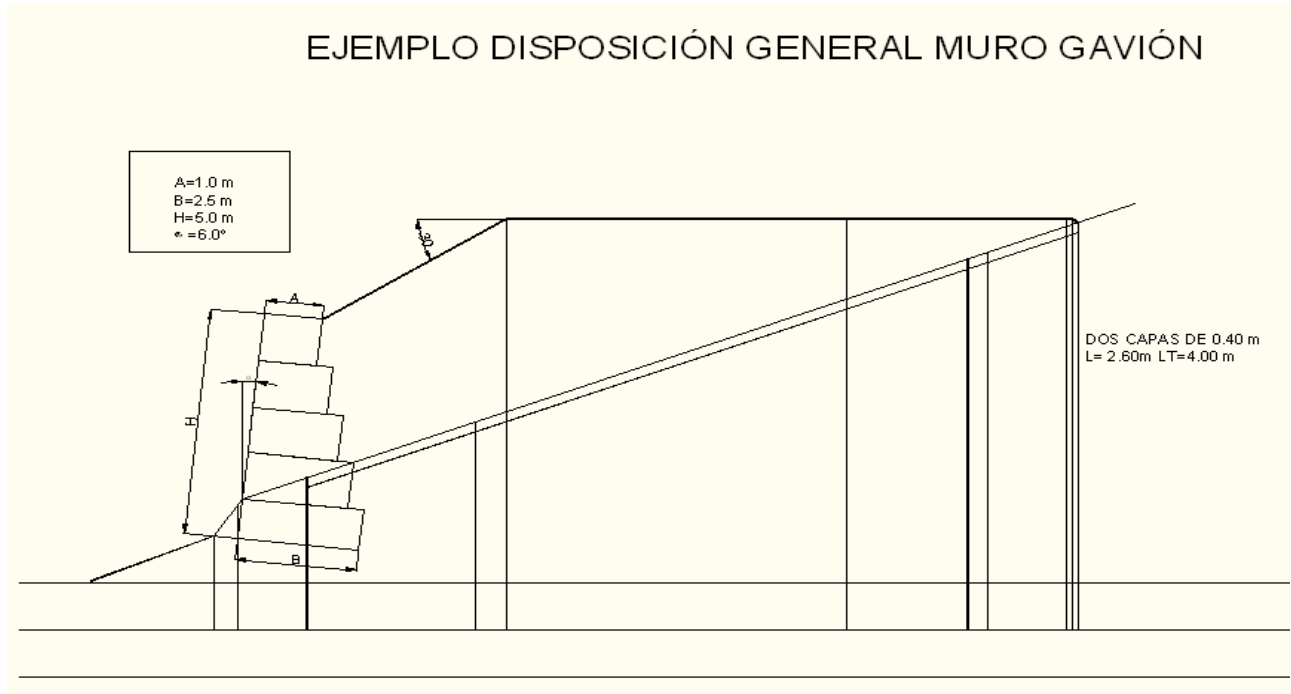


GRÁFICO 13_1 MURO GEOTEXTIL

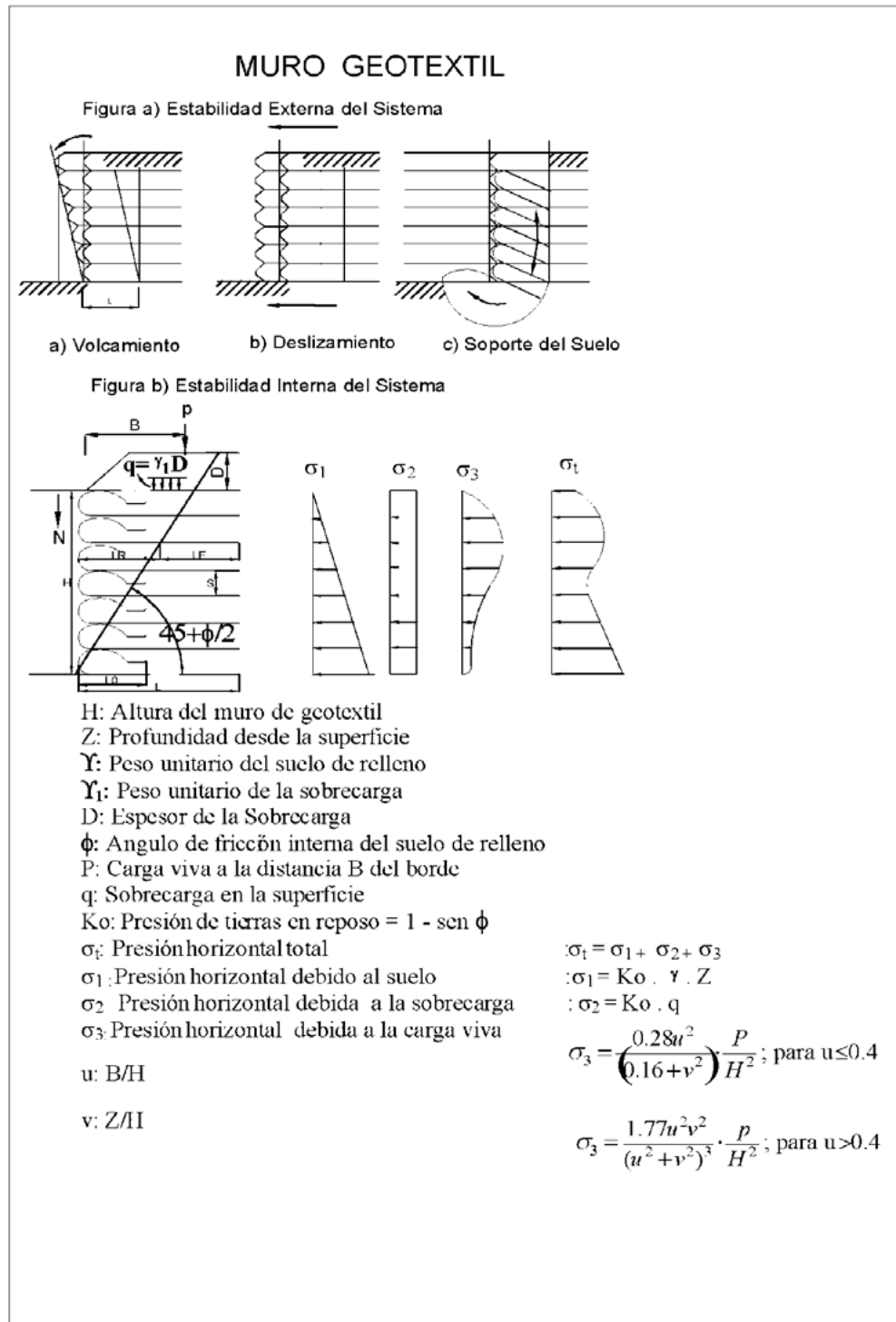


GRÁFICO 14_1 AUMENTO DE PRESIONES BAJO TERRAPLÉN

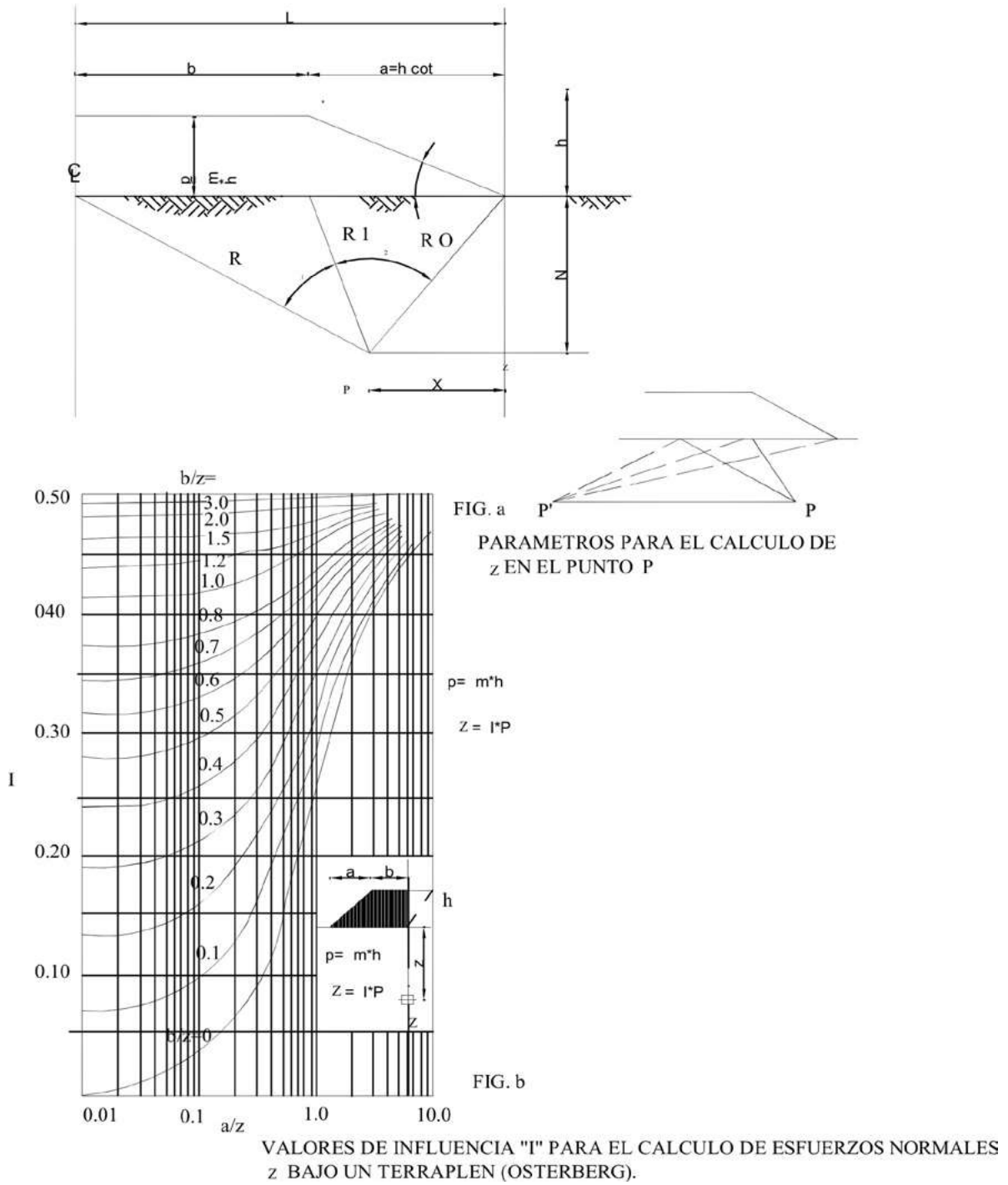


GRÁFICO 15_1

EJEMPLO CÁLCULO DE ASENTAMIENTO TERRAPLÉN

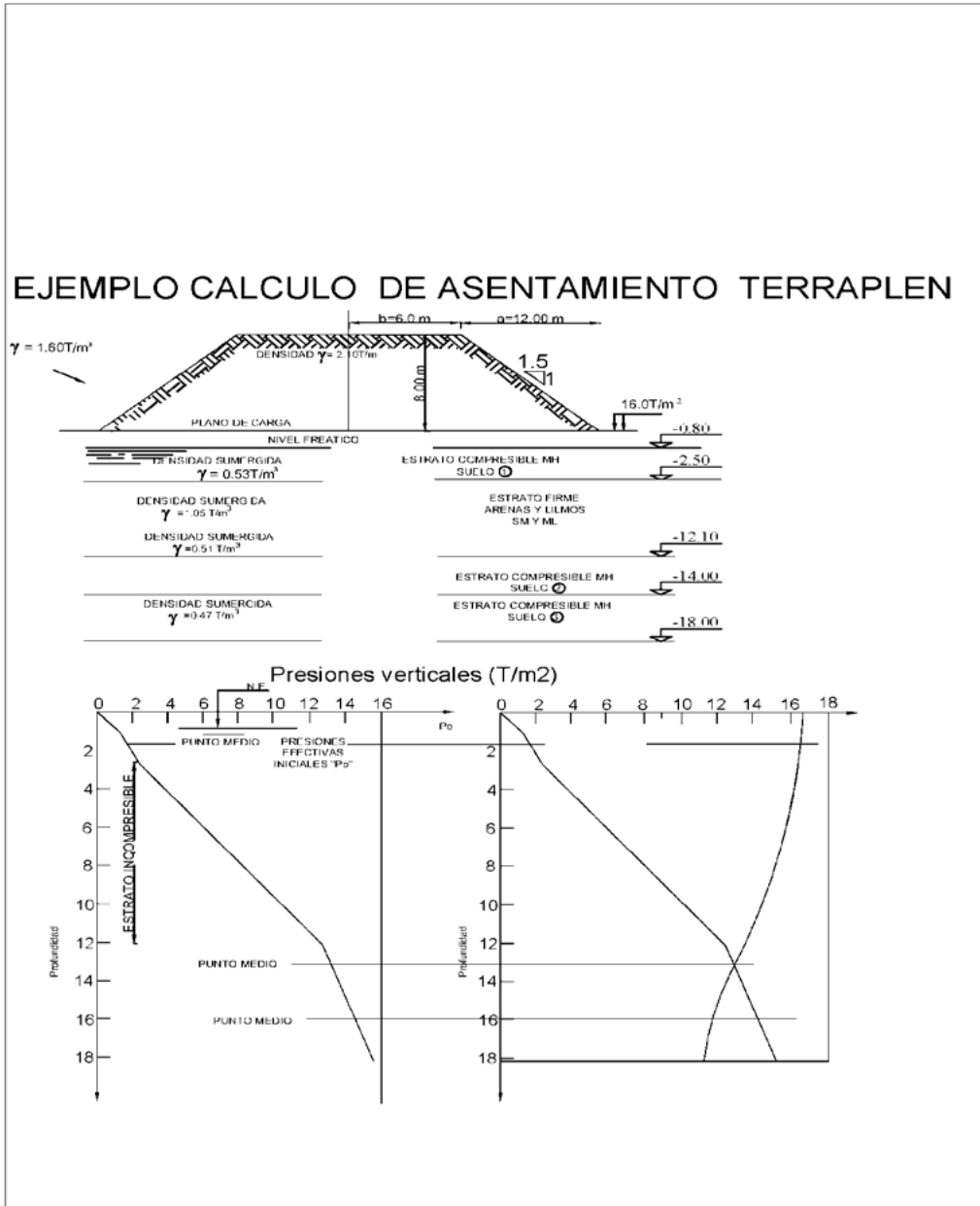


GRÁFICO 16_1

ENSAYO EDOMÉTRICO-EJEMPLO (VALDIVIA)

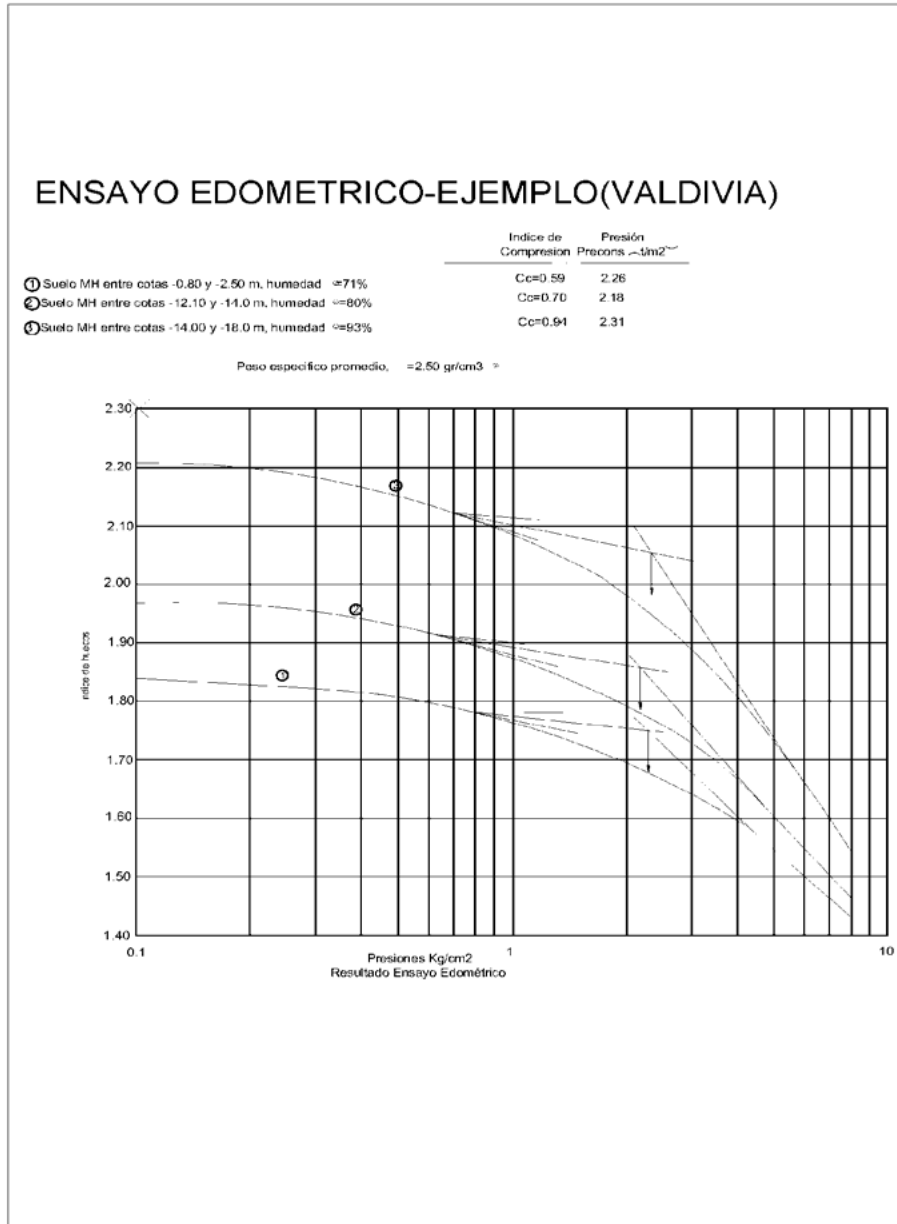


GRÁFICO 17_1

DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS CORTANTES EN UN TERRENO DE CIMENTACIÓN SEMI INFINITO

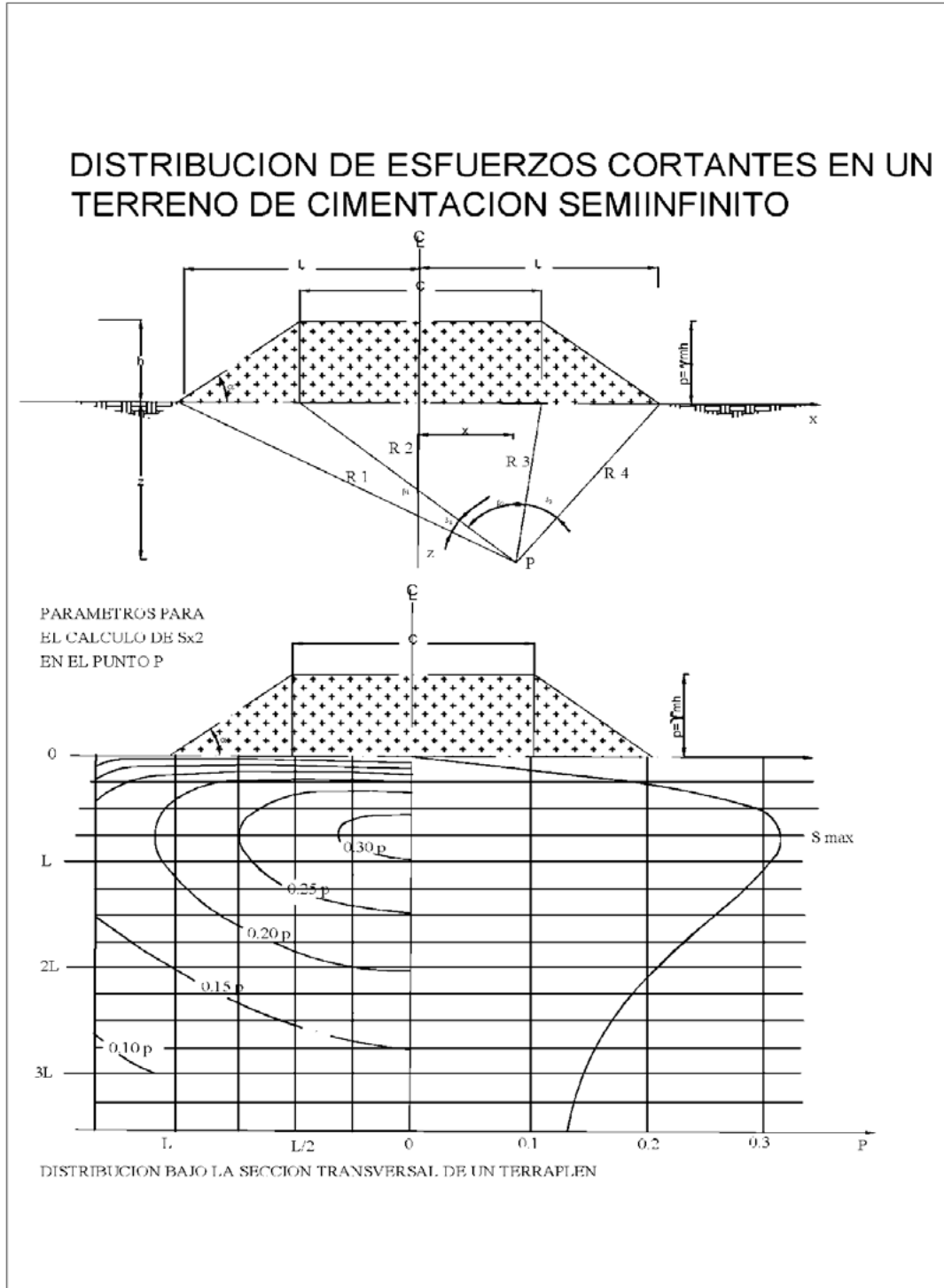


GRÁFICO 18_1

FALLAS POR APLASTAMIENTO

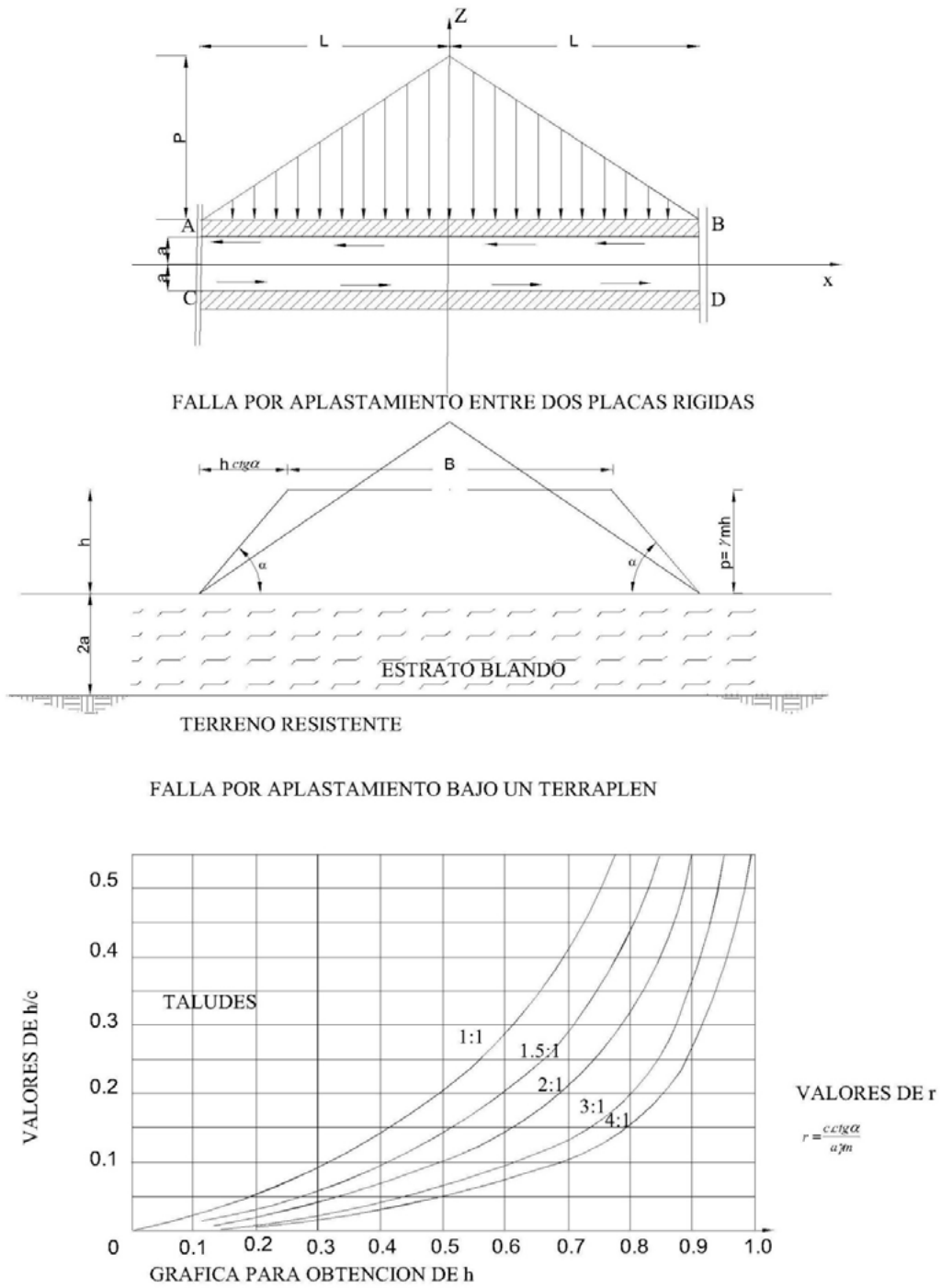


GRÁFICO 19_1 ASENTAMIENTO DINÁMICO

ASENTAMIENTO DINAMICO

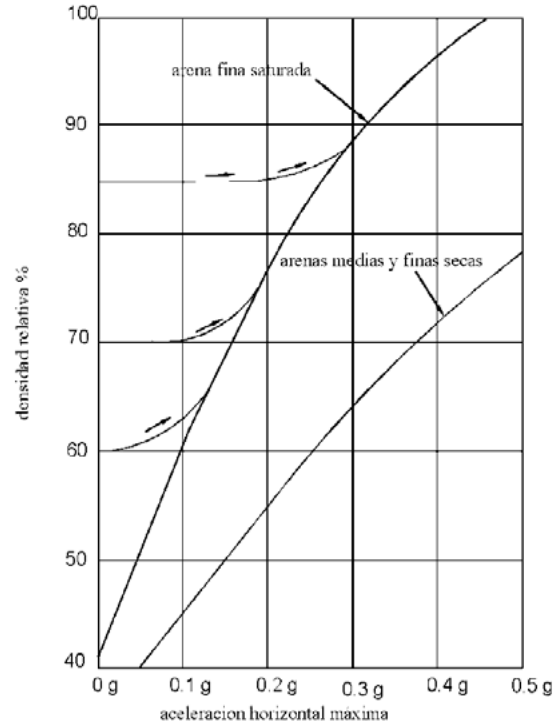


Fig. a Relación entre Densidad Relativa Final y Aceleración Horizontal

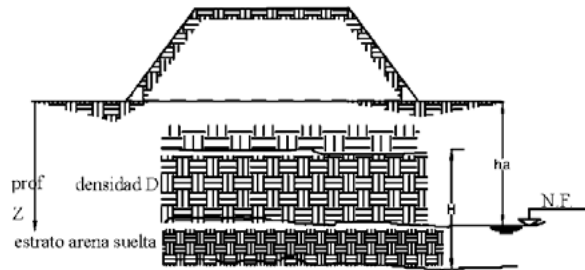
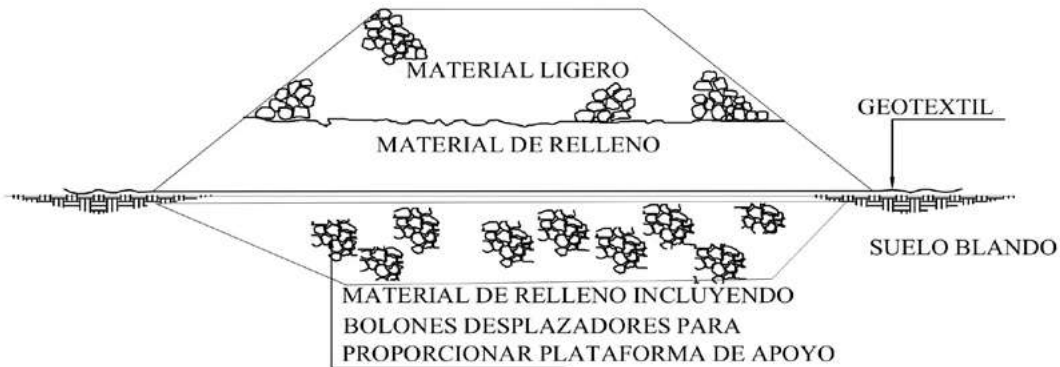


Fig. b Terraplén sobre arena suelta

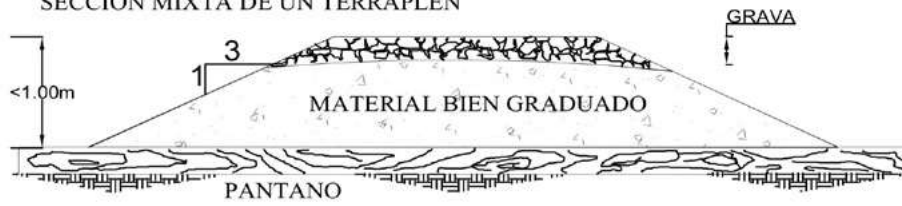
GRÁFICO 20_1

SOLUCIONES PARA MEJORAR EL COMPORTAMIENTO DE LOS TERRAPLENES



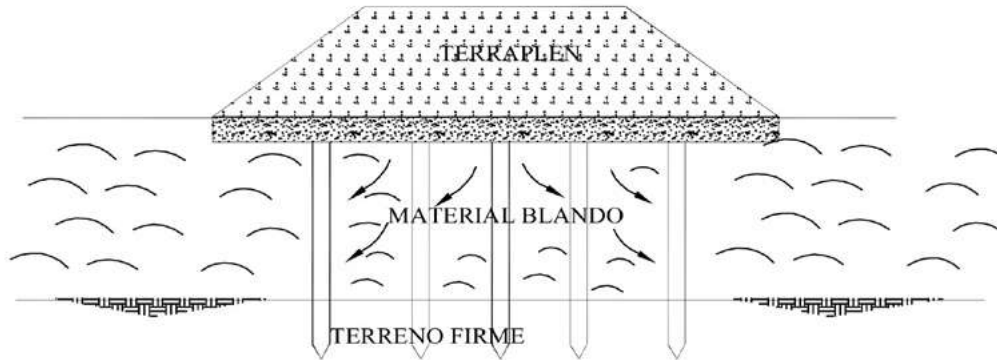
UTILIZACION DE MATERIALES LIGEROS
SECCION MIXTA DE UN TERRAPLEN

Figura a



PLATAFORMAS DE ALIVIO
LECHO DE TRONCOS

Figura b



CIMENTACION POR PILOTES CON
PLATAFORMA DE CONCRETO ARMADO

Figura c

GRÁFICO 21_1

SOLUCIONES PARA MEJORAR EL COMPORTAMIENTO DE TERRENO DE CIMEN- TACIÓN

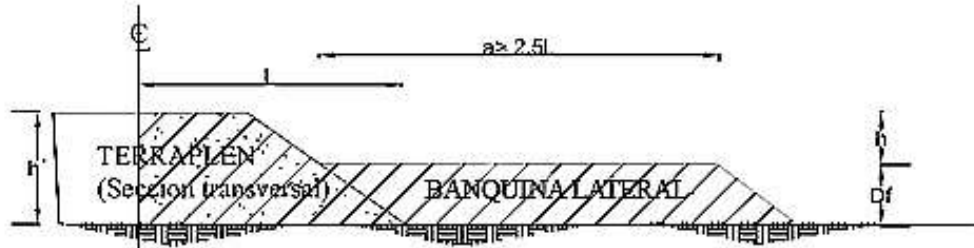


Figura a

BANQUINAS LATERALES

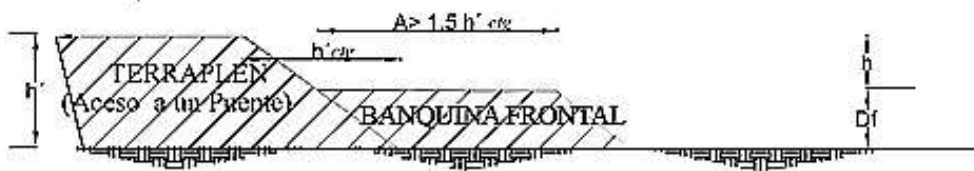


Figura b

BANQUINAS LATERALES

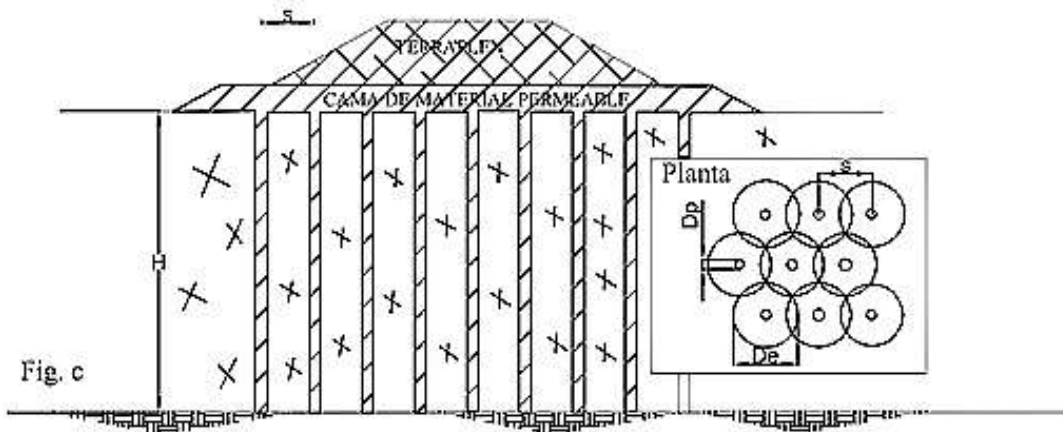
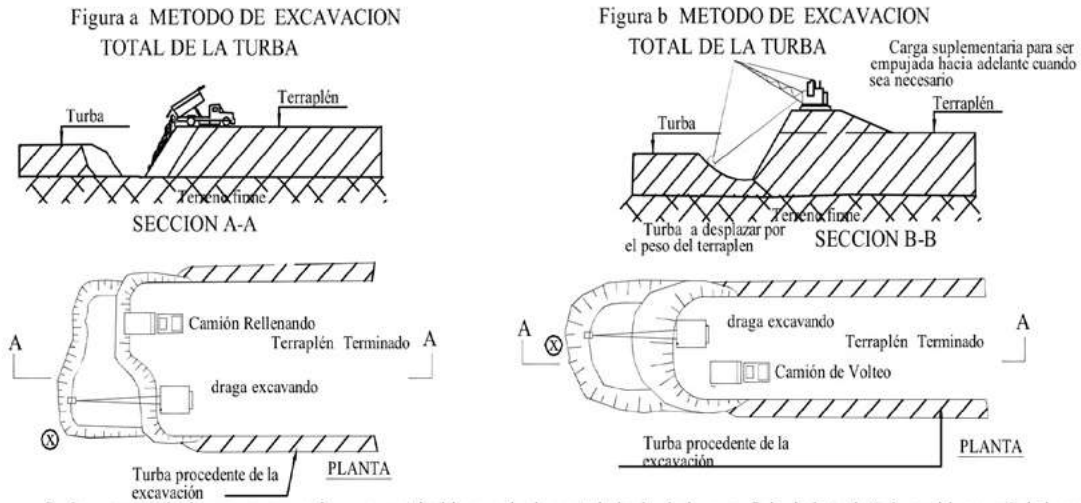


Fig. c

TERRENO IMPERMEABLE
DRENES VERTICALES DE ARENA

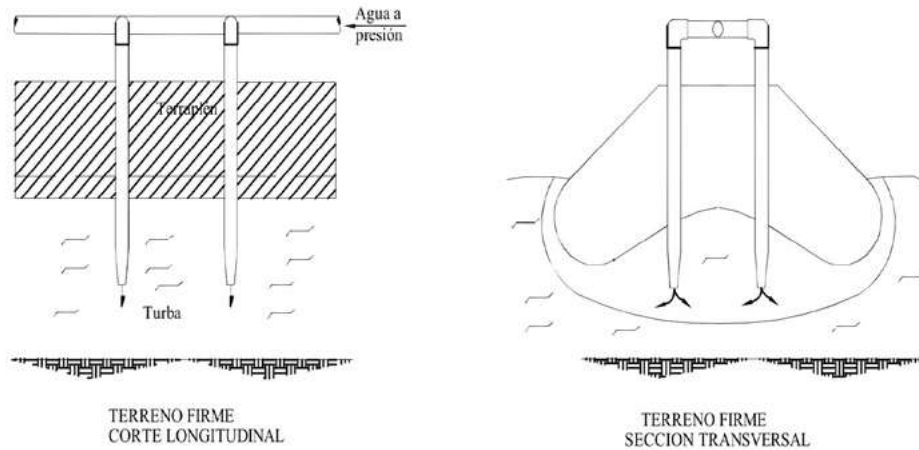
GRÁFICO 22_1

CONSTRUCCIÓN DE TERRAPLENES EN SUELOS INESTABLES.



Sería mas económico, aunque no siempre practicable, que la draga trabaje desde la superficie de la turba(ej. en el lugar señalado con la

FIG. c DESPLAZAMIENTO CON CHIFLONES



Sería mas económico, aunque no siempre practicable, que la draga trabaje desde la superficie de la turba(ej. en el lugar señalado

FIG. d METODO DE COLADURA EN TRINCHERA

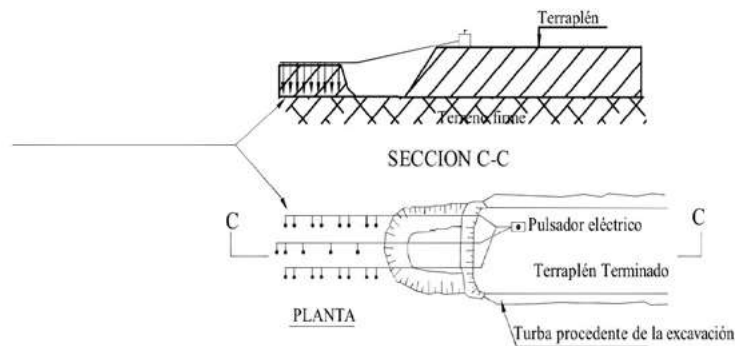


GRÁFICO 23_1

CURVA TÍPICA DENSIDAD - HUMEDAD

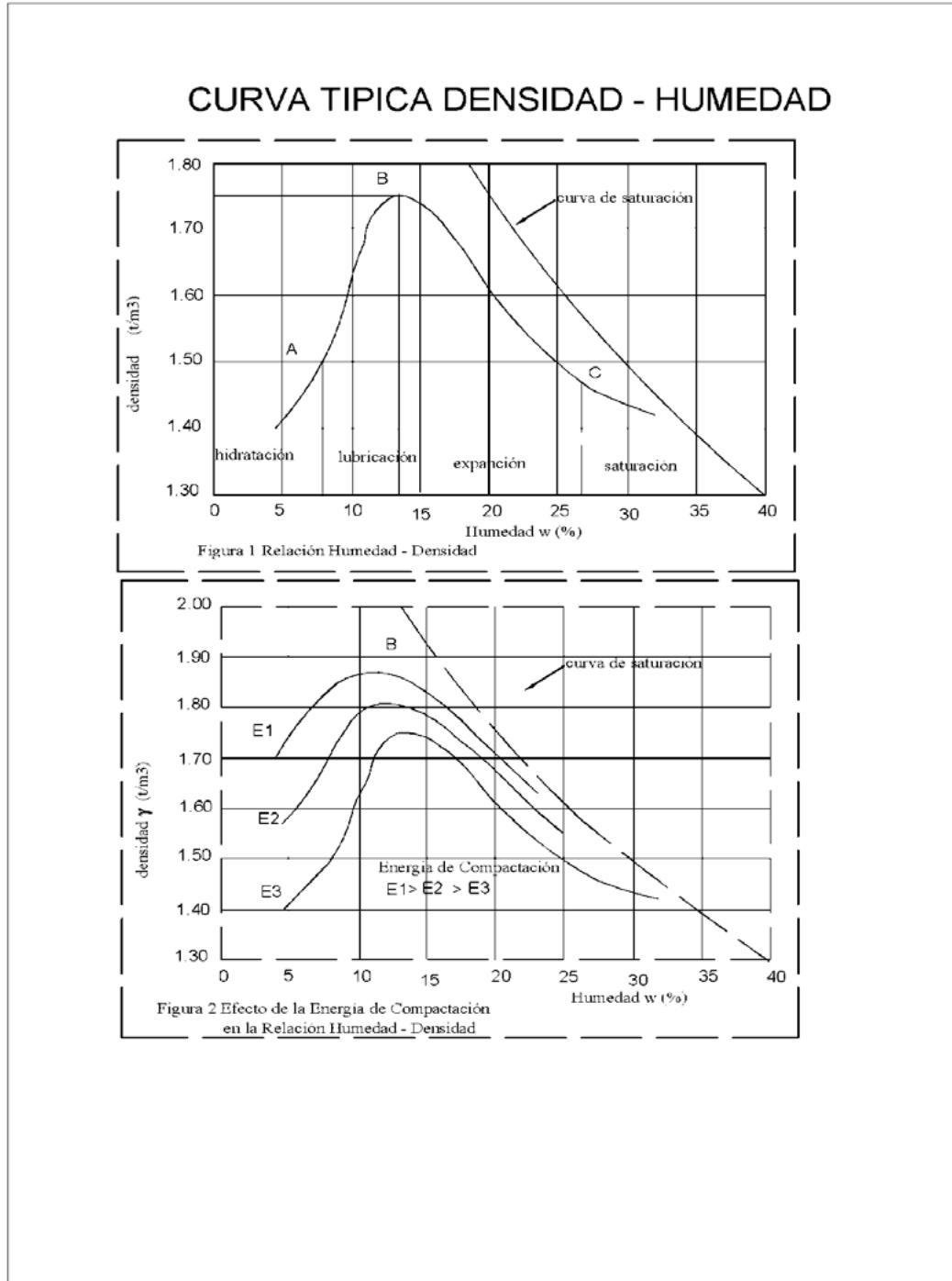


GRÁFICO 24_1

FACTORES DE EJES EQUIVALENTES EJES SIMPLES - RUEDA DOBLE

FACTORES DE EJES EQUIVALENTES EJES SIMPLES - RUEDA DOBLE				
RANGOS KN	FLEXIBLES		RIGIDOS	
	pf=2,0	pf=2,5	pf=2,0	pf=2,5
< 30	0,007	0,008	0,008	0,008
30-40	0,028	0,032	0,030	0,030
40-50	0,083	0,092	0,085	0,086
50-60	0,020	0,21	0,198	0,200
60-70	0,41	0,43	0,406	0,409
70-80	0,76	0,77	0,753	0,756
80-90	1,29	1,27	1,30	1,29
90-100	2,07	1,95	2,10	2,07
100-110	3,17	2,85	3,23	3,14
110-120	4,70	4,00	4,80	4,60
120-130	6,60	5,50	6,80	6,40
130-140	9,20	7,20	9,40	8,70
140-150	12,4	9,50	12,8	11,50
150-160	16,5	12,3	17,0	15
160-170	21,6	15,6	22,2	19,3
170-180	27,9	19,7	28,6	24,6

Los factores de pavimentos flexibles son para NE = 120 mm (5") y los rigidos para H = 230 mm(9")

GRÁFICO 25_1

FACTORES DE EJES EQUIVALENTES EJES DOBLES - RUEDA DOBLE

FACTORES DE EJES EQUIVALENTES EJES DOBLES - RUEDA DOBLE				
RANGOS KN	FLEXIBLES		RIGIDOS	
	pf=2,0	pf=2,5	pf=2,0	pf=2,5
< 50	0,004	0,01	0,008	0,008
50-60	0,014	0,016	0,029	0,029
60-70	0,03	0,03	0,06	0,06
70-80	0,05	0,06	0,10	0,10
80-90	0,09	0,10	0,17	0,17
90-100	0,14	0,16	0,27	0,27
100-110	0,22	0,24	0,41	0,41
110-120	0,33	0,36	0,60	0,61
120-130	0,47	0,50	0,86	0,86
130-140	0,66	0,69	1,20	1,19
140-150	0,89	0,92	1,63	1,61
150-160	1,20	1,21	2,16	2,13
160-170	1,60	1,50	2,80	2,70
170-180	2,00	2,00	3,60	3,50
180-190	2,60	2,40	4,60	4,40
190-200	3,20	3,00	5,70	5,40
200-210	3,90	3,60	7,10	6,60
210-220	4,80	4,30	8,60	7,90
220-230	5,80	5,10	10,60	9,50
230-240	7,00	6,00	12,60	11,3
240-250	8,40	7,00	15,00	13,30
250-260	9,90	8,10	17,80	15,60
260-270	11,7	9,30	21,00	18,2
270-280	13,60	10,70	24,60	21,10
280-290	15,90	12,30	28,70	24,50

Los factores de pavimentos flexibles son para NE = 120 mm (5") y los rigidos para H= 230 mm(9")

GRÁFICO 26_1

FACTORES DE EJES EQUIVALENTES EJES TRIPLES - RUEDA DOBLE

FACTORES DE EJES EQUIVALENTES EJES TRIPLES - RUEDA DOBLE				
RANGOS KN	FLEXIBLES		RIGIDOS	
	pf= 2,0	pf=2,5	pf=2,0	pf=2,5
< 60	0,002	0,002	0,007	0 007
60-70	0,007	0,008	0,019	0 020
70-80	0,012	0,013	0,034	0 034
80-90	0,020	0,022	0,055	0 056
90-100	0,031	0 04	0,087	0 087
100-110	0,047	0,053	0,130	0 131
110-120	0,069	0,078	0,189	0 191
120-130	0,10	0 11	0,27	0,27
130-140	0,14	0 15	0,37	0,37
140-150	0,19	0 21	0,50	0,50
150-160	0,25	0 27	0,66	0,66
160-170	0,33	0 36	0,86	0,86
170-180	0,42	0 46	1,10	1,10
180-190	0,54	0 57	1,39	1,38
190-200	0,68	0 71	1,74	1,72
200-210	0,84	0 88	2,15	2,11
210-220	1,03	1 06	2,63	2,56
220-230	1,25	1 28	3,19	3,08
230-240	1,51	1 52	3,83	3,67
240-250	1,80	1 80	4,60	4,30
250-260	2,10	2 10	5,40	5,10
260-270	2,50	2 40	6,30	5,90
270-280	3,00	2 80	7,40	6,80
280-290	3,40	3 20	8,60	7,90
290-300	4,00	3 70	9,90	9,00
300-310	4,60	4 20	11,4	10,2
310-320	5,30	4 70	13,1	11,6
320-330	6,00	5 50	14,9	13,2

Los factores de pavimentos flexibles son para NE= 120 mm (5") y los rigidos para H= 230mm (9")

GRÁFICO 27_1

FORMULARIO PARA CALCULAR EJES EQUIVALENTES EJES SIMPLES - RUEDA DOBLE

FORMULARIO PARA CALCULAR EJES EQUIVALENTES EJES SIMPLES - RUEDA DOBLE						
PROYECTO : ____		INDICE SERVICIABILIDAD FINAL (Pf): _____				
TIPO DE LUGAR DEL PESAJE: ____		FECHA: ____		SENTIDO: ____		
RANGOS KN	FACTOR EQUIV.	CAMION 2 EJES		BUS INTERURBANO		BUS URBANO
		Controlados	EE	Controlados	EE	Controlados
< 30						
30-40						
40-50						
50-60						
60-70						
70-80						
80-90						
90-100						
100-110						
110-120						
120-130						
130-140						
140-150						
150-160						
160-170						
170-180						
TOTAL A (EE SIMPLES)						

GRÁFICO 28_1

FORMULARIO PARA CALCULAR EJES EQUIVALENTES EJES DOBLES - RUEDA DOBLE

FORMULARIO PARA CALCULAR EJES EQUIVALENTES						
EJES DOBLES - RUEDA DOBLE						
PROYECTO: _____		INDICE SERVICIABILIDAD FINAL				
TIPO PAVIMENTO: _____		(Pf): _____				
LUGAR DE PESAJE: _____		FECHA: _____ SENTIDO: _____				
RANGOS	KN	FACTOR EQUIV.	CAMION 2 EJES Controlados EE	CAMION MULTIPLE Controlados EE	BUS INTERURBANO Controlado EE	BUS URBANO Controlados EE
< 50						
50-60						
60-70						
70-80						
80-90						
90-100						
100-110						
110-120						
120-130						
130-140						
140-150						
150-160						
160-170						
170-180						
180-190						
190-200						
200-210						
210-220						
220-230						
230-240						
240-250						
250-260						
260-270						
270-280						
280-290						
TOTAL B (E E DOBLES)						

GRÁFICO 29_1
FORMULARIO PARA CALCULAR EJES EQUIVALENTES
EJES TRIPLES - RUEDA DOBLE

FORMULARIO PARA CALCULAR EJES EQUIVALENTES EJES TRIPLES - RUEDA DOBLE					
RANGOS KN	FACTOR EQUIV.	CAMION 2 EJES Controlados EE	CAMION MULTIPLE Controlados EE	BUS INTERURBANO Controlados EE	BUS URBANO Controlados EE
< 60					
60-70					
70-80					
80-90					
90-100					
100-110					
110-120					
120-130					
130-140					
140-150					
150-160					
160-170					
170-180					
180-190					
190-200					
200-210					
210-220					
220-230					
230-240					
240-250					
250-260					
260-270					
270-280					
280-290					
290-300					
300-310					
310-320					
320-330					
TOTAL C (EE TRIPLES)					

CALCULO EE/VEH

TOTAL A

TOTAL B

TOTAL C

TOTAL EE

VEH. CONTROLADOS

EE/VEH

GRÁFICO 30_1

FORMULARIO DE CALCULO EJES EQUIVALENTES PARA DISEÑO

FORMULARIO PARA CALCULAR EJES EQUIVALENTES PARA DISEÑO

CAMIN

0: EJEMPLO

SECTOR EJEMPLO

AÑO PUESTA EN SERVICIO: 2000 AÑOS VIDA UTIL: 20
 FACTOR DE PISTA: 0,73

	V. LIVIANOS	C. SIMPLE	C. MULT	BUS INTER	BUS URB
TMDA/SENT EN AÑO: 1999	10.500	380	350	25	300
EE/VEH (ASF):	0	0,75	3,4	1,6	1,0
TASA CREC. (%):					
1999 2005	10,4	4,5	5,5	6,3	4,5
2006 2010	7,5	3,5	5,4	5,8	4,4
2011 2019	5,0	3,1	5,4	5,5	4,3

AÑO	TMDA POR SENTIDO EN EL AÑO						EE ASFALTO (MILES)	
	LIVIANOS	C. SIMPLE	C.MULT	BUS INTER	BUS URB	TOTAL	DEL AÑO	ACUMU L
2000	11.592	397	369	27	314	12.698	509	509
2001	12.798	415	390	28	328	13.958	535	1.044
2002	14.129	434	411	30	342	15.346	563	1.607
2003	15.598	453	434	32	358	16.874	592	2.199
2004	17.220	474	457	34	374	18.559	623	2.822
2005	19.011	495	483	36	391	20.415	656	3.478
2006	20.437	512	509	38	408	21.904	688	4.166
2007	21.970	530	536	40	426	23.502	722	4.888
2008	23.617	549	565	43	445	25.218	758	5.646
2009	25.389	568	596	45	464	27.061	796	6.442
2010	27.293	588	628	48	485	29.041	836	7.278
2011	28.657	606	662	50	505	30.481	877	8.155
2012	30.090	625	697	53	527	31.993	920	9.075
2013	31.595	644	735	56	550	33.580	965	10.040
2014	33.174	664	775	59	573	35.246	1.013	11.052
2015	34.833	685	817	62	598	36.995	1.063	12.115
2016	36.575	706	861	66	624	38.831	1.115	13.230
2017	38.404	728	907	70	651	40.759	1.170	14.400
2018	40.324	750	956	73	679	42.782	1.228	15.628
2019	42.340	774	1008	77	708	44.906	1.289	16.917

GRÁFICO 31_1

FORMULARIO DE CÁLCULO DEL MODULO RESILIENTE DE DISEÑO

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Pozo N°	Km.	N°/prof	H rasante	U.S.C.S	AASHTO	OP	LL	CBR 95	D. NAT	Dens(%)	CBR nat	Mr	Mr dis	
1	0,300	1/0,5	0,5	ML	A-4(4)	7	31	27,9	1,49	81	5,9	55	78 m	
2	0,500	4/0,5	0,7	ML-CL	A-4(1)	6	27		1,65		7,0 e	61	81 m	
3	0,750		-2,0	GC							15,0 e	98	98	
4	1,000	6/0,6	0,2	GM	A-7-6(4)	14	42		1,59		3,0 e	61	61 g	
5	1,300	7/0,6	-0,3	GC	A-2-6(0)	13	37	38,9	1,81	91,5	24,1	127	127	
6	1,500	8/0,6	-0,4	GM	A-2-4(0)	14	42		1,59		10,0 e	77	77	
7	1,760	9/0,5	-0,1	GM	A-2-6(0)	11	36				10,0 e	77	77	
8	2,000	11/0,6	0,8	GW	A-1-a(0)	4	22	102	2,12	94	92,1	266		
9	2,300	13/0,7	0,0	SC	A-6(2)	11	29	22,9	1,69	85,1	6,5	58	80 m	
10	2,500	14/0,7	0,5	CL	A-6(4)	14	34		1,79		6,0 e	55	80 m	
11	2,740	15/0,6	0,7	GP-GC	A-2-7(0)	22	45	19	1,98	95	19	112	112	
12	3,000	16/0,1	2,0	GC	A-7-6(3)	19	45		1,63		3,0 e	36	77 t	
13	3,270	18/0,6	3,0	CL	A-6(7)	15	34	20,9	1,55	83	4,3	45	77 t	
14	3,500		2,0	roca fisurada								15,0 e	98	98
15	3,750	20/0,8	-3,0	GM	A-2-4(0)	8	32	79,3	1,77	83,6	11,4	84	84	
16	4,000	21/0,6	0,0	GC	A-2-7(2)	21	41		1,77		15,0 e	98	98	
17	4,250	22/0,6	1,0	GM	A-1-a(0)	3	23	107,6	1,91	86,7	31,3	146	147	
18	4,500	23/0,6	1,3	GW-GM	A-1-a(0)	4	26				15,0 e	98	98	
19	4,820			roca								15,0 e	98	98
20	5,020	24/0,6	-5,0	CL	A-6(5)	13	32	14,1	1,61	84,9	4,4	45	72 m	
21	5,200	26/0,6	-0,3	GM	A-1-a(0)	NP	NP				15,0 e	98	98	
(e)	CBR deducido por correlación													
(m)	CBR deducido por correlación													
(t)	CBR deducido por correlación													
(g)	CBR deducido por correlación													
											Promedio	90,9		
											Desv. Standard	20,2		
											Coef. Variación	0,22		

GRÁFICO 32_1

NÚMERO ESTRUCTURAL CAPAS ASFÁLTICAS TMAPA 6°C

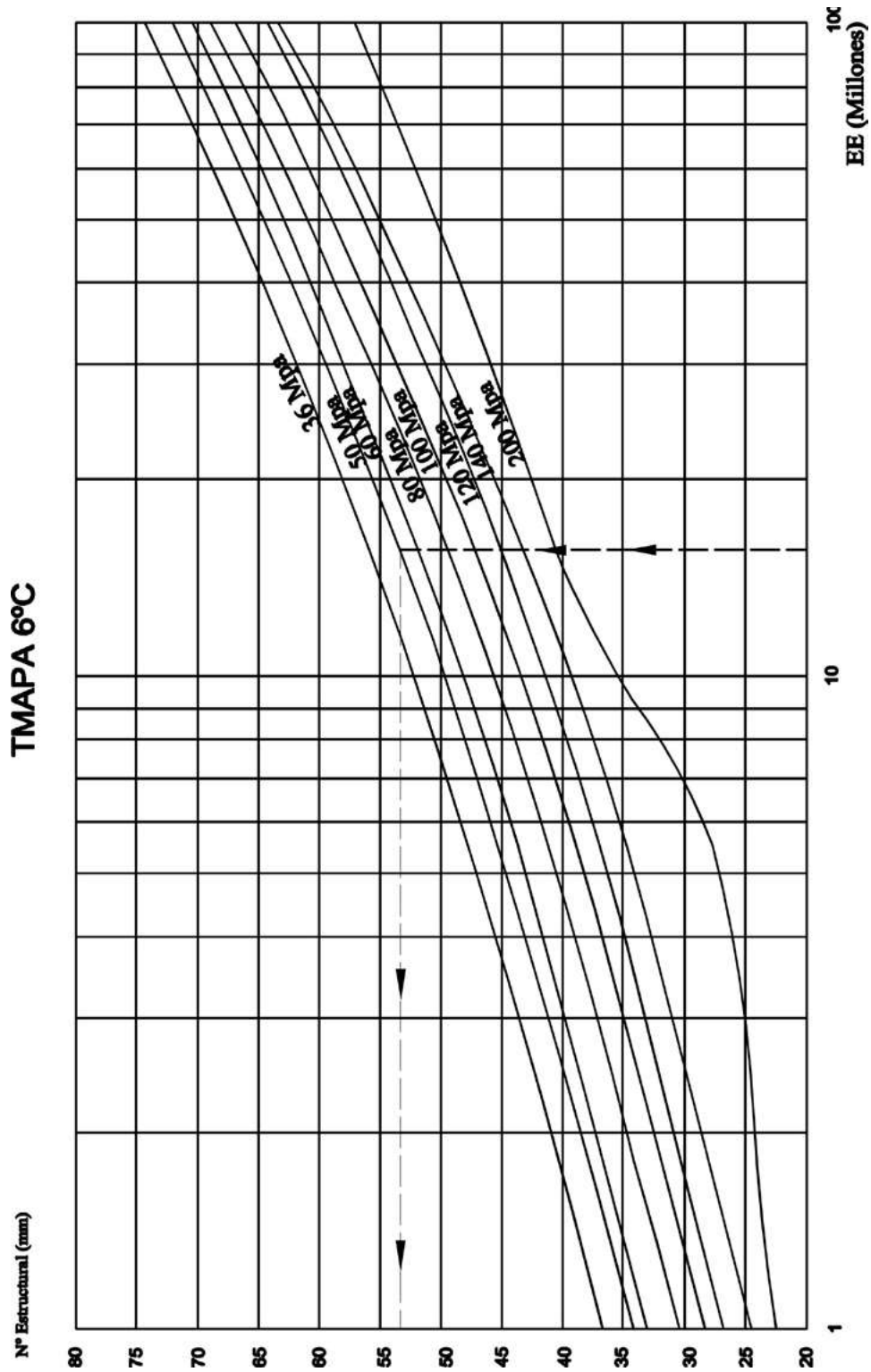


GRÁFICO 33_1

NÚMERO ESTRUCTURAL CAPAS ASFÁLTICAS TMAPA 14°C

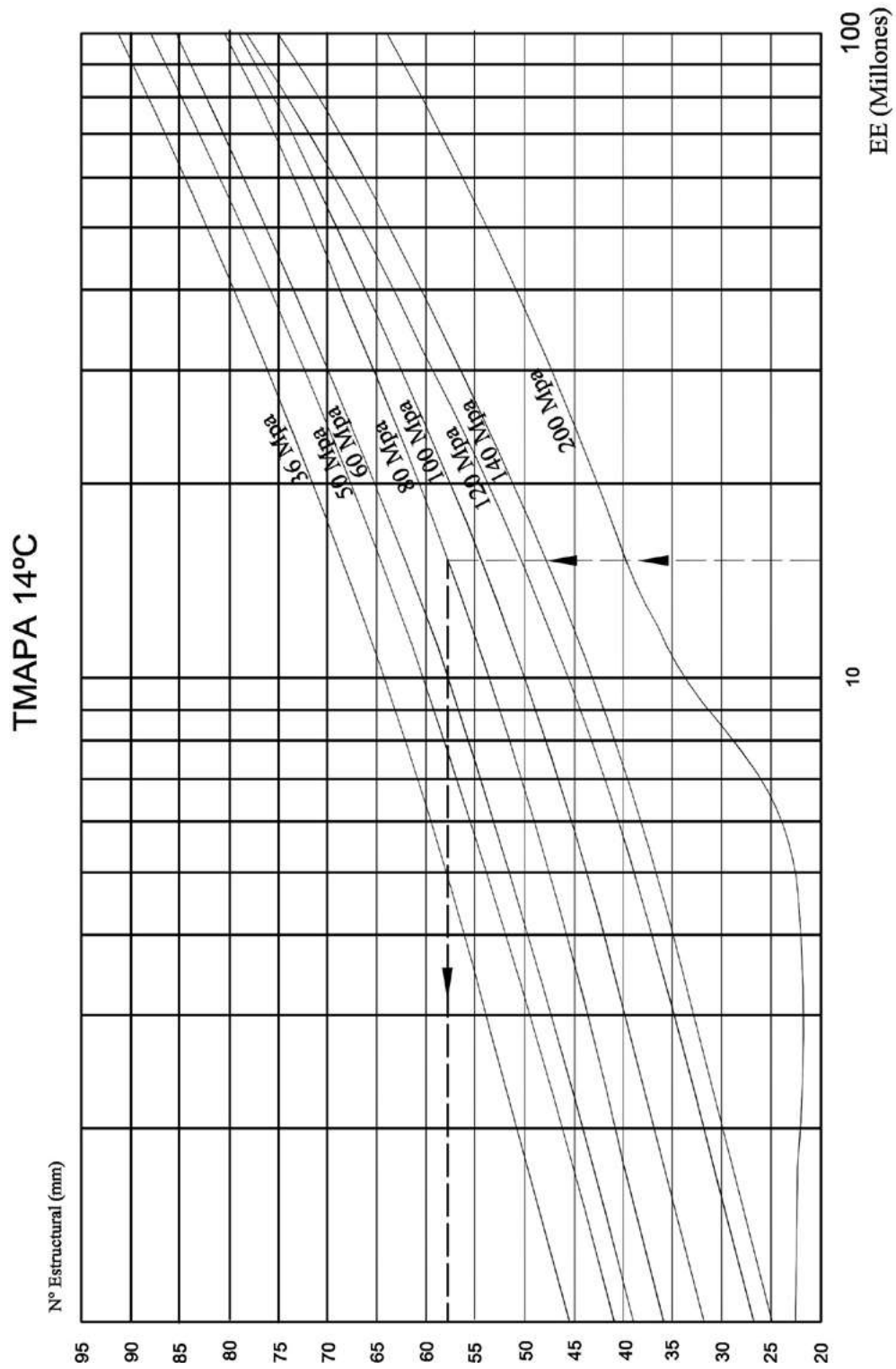


GRÁFICO 34_1

NÚMERO ESTRUCTURAL CAPAS ASFÁLTICAS TMAPA 19°C

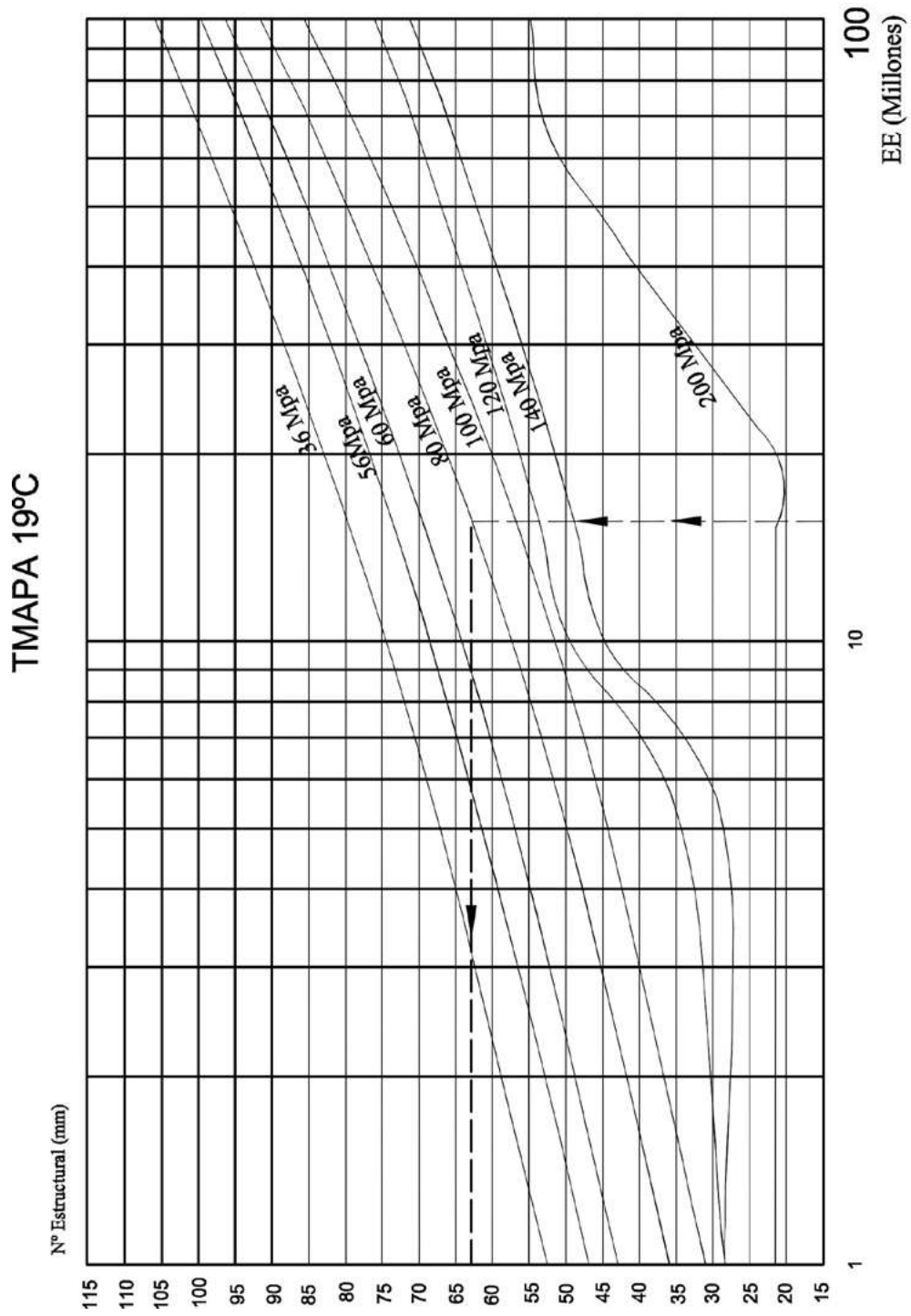


GRÁFICO 35_1

PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE ESPESOR DE LOSA

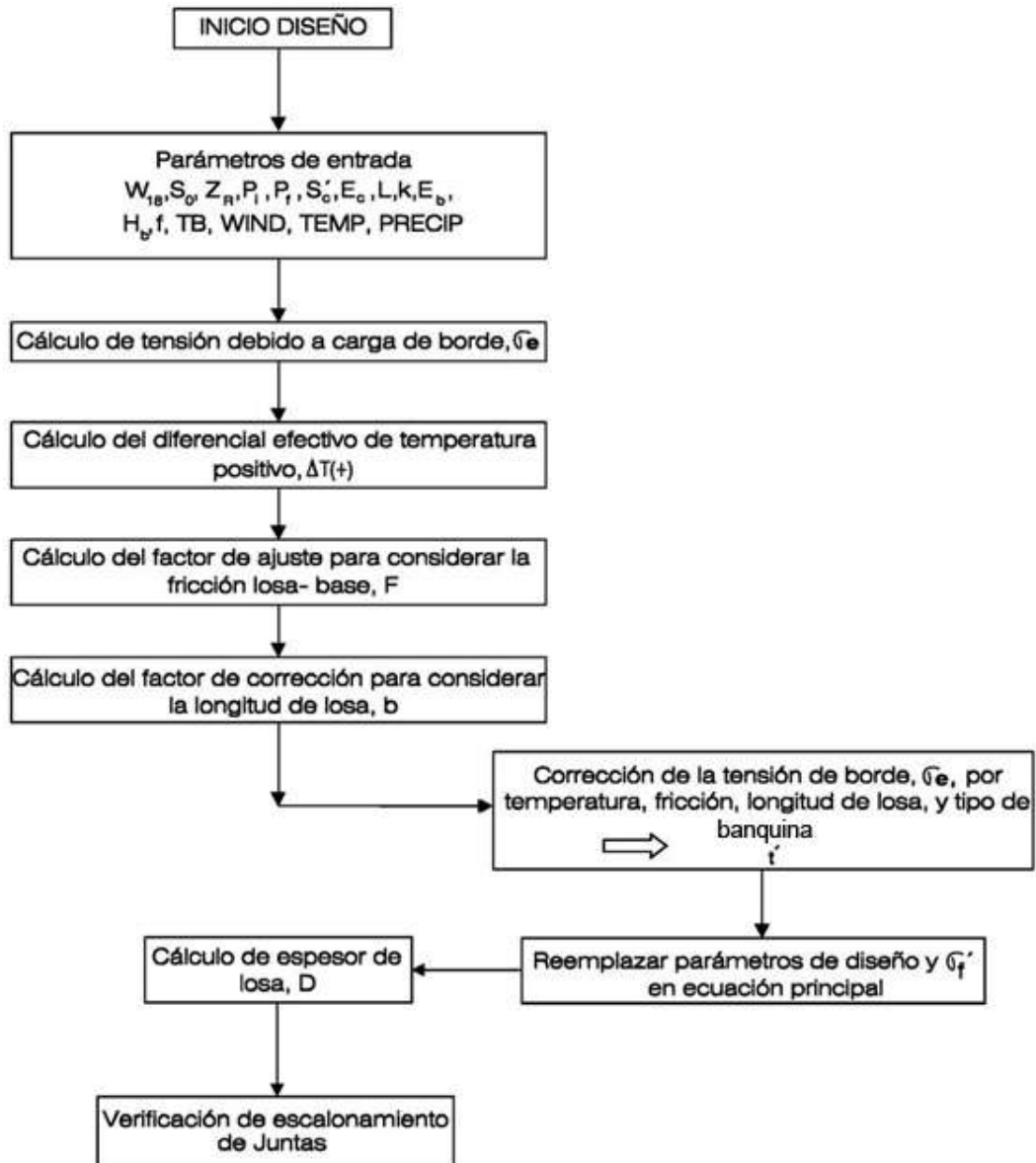
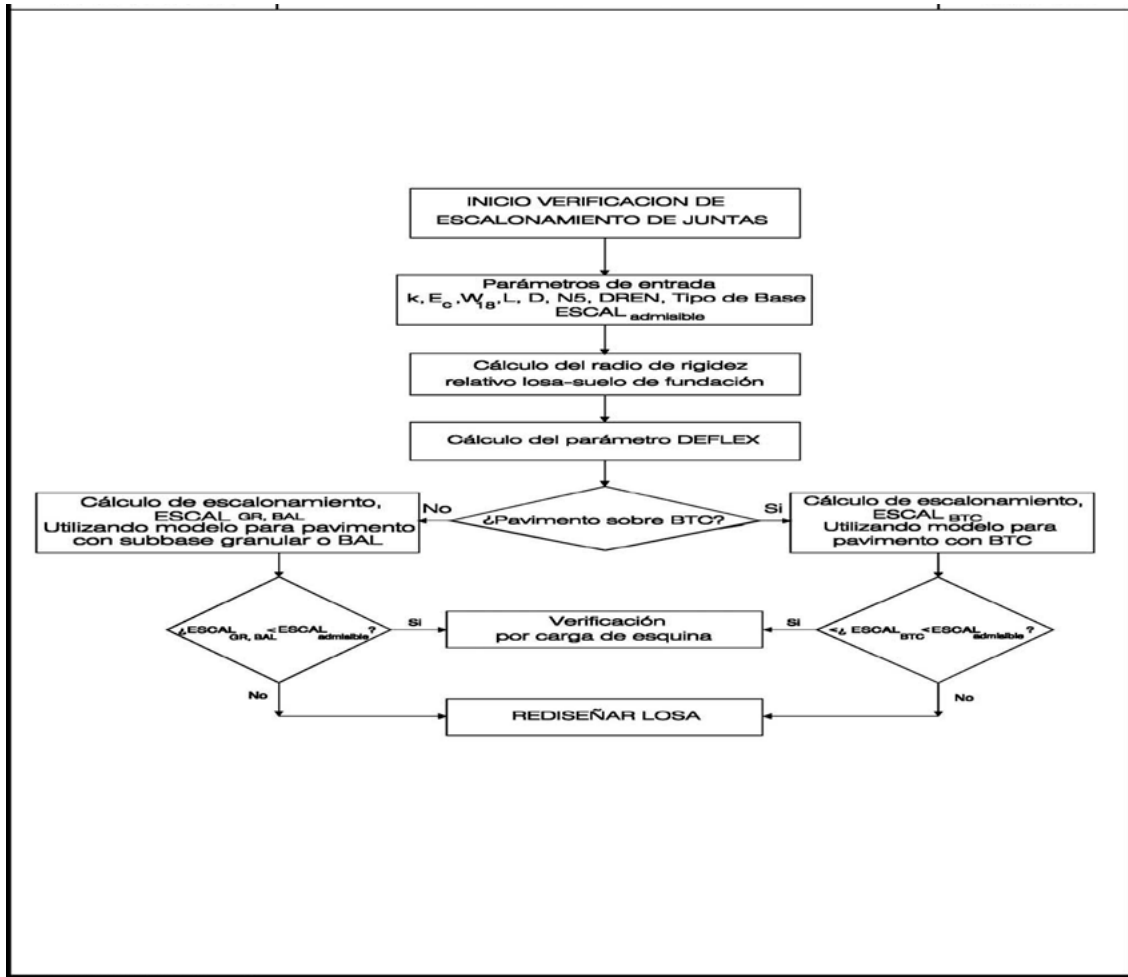


GRÁFICO 36_1

VERIFICACIÓN DE ESCALONAMIENTO EN JUNTAS TRANSVERSALES



MOP - DGGP - DIRECCIÓN DE VIALIDAD - CHILE

GRÁFICO 37_1 VERIFICACIÓN DE ESPESOR POR CARGA DE ESQUINA

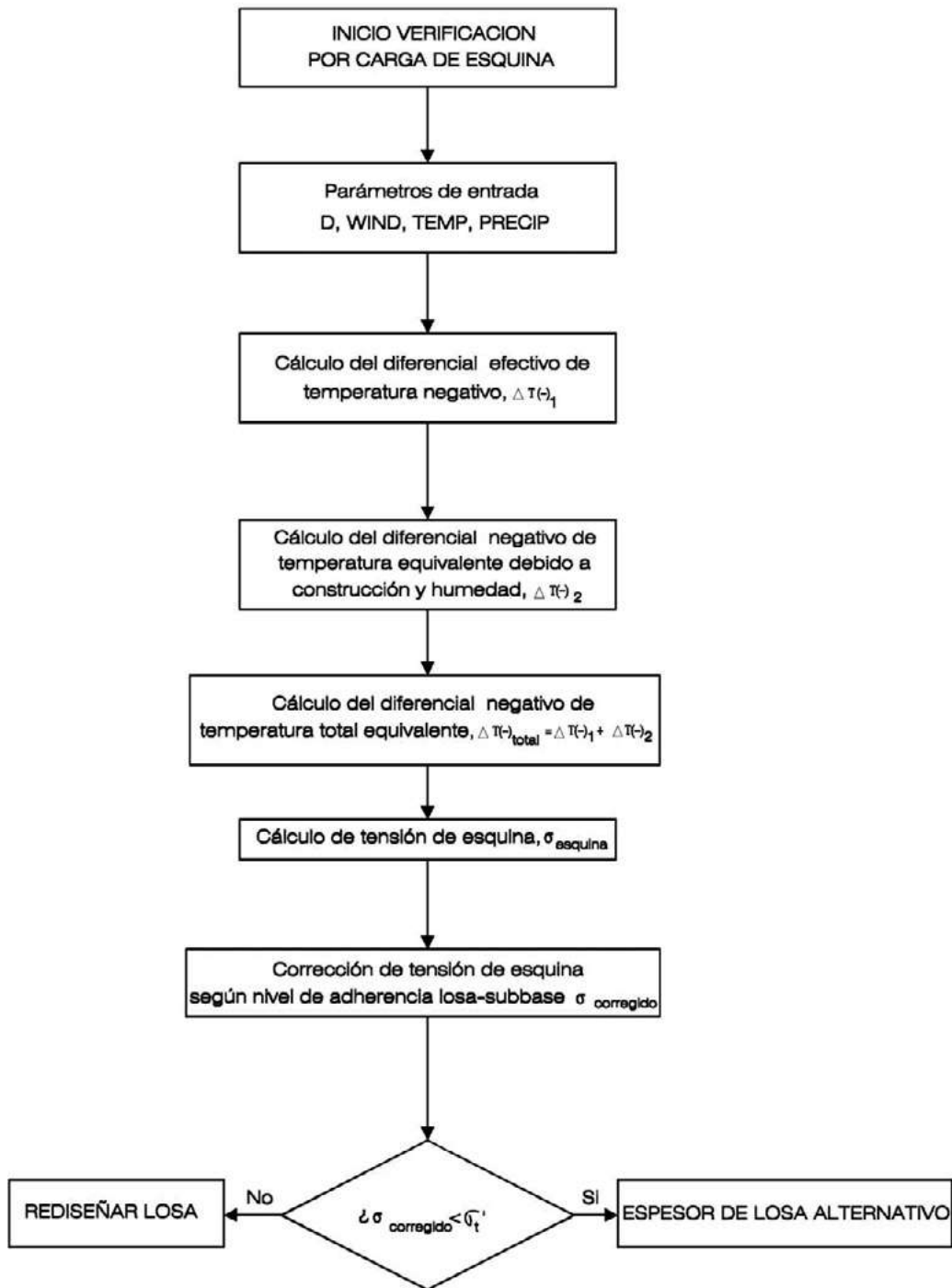
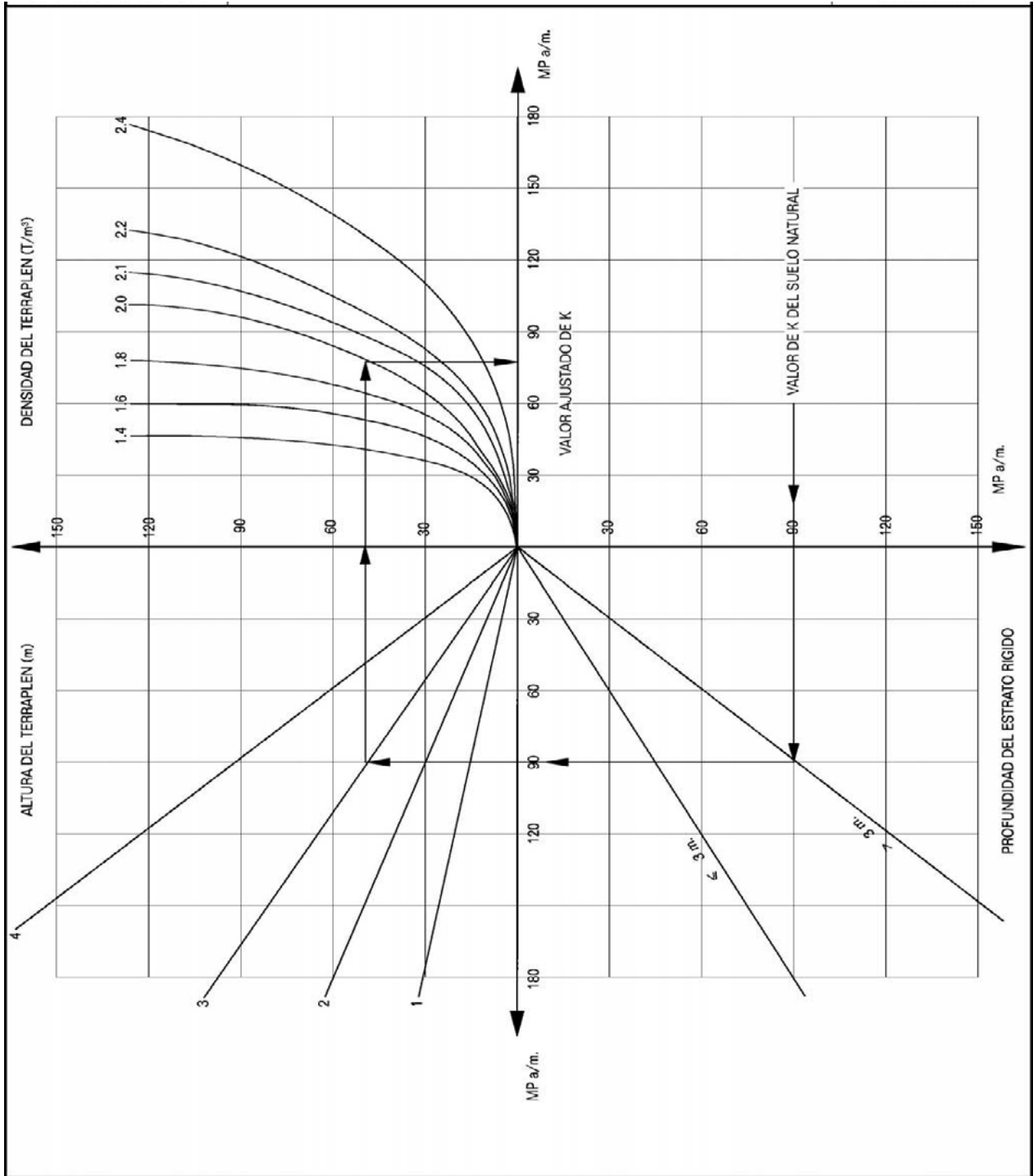


GRÁFICO 38_1

AJUSTE DE K PARA TERRAPLEN Y/O ESTRATO RÍGIDO



MOP - DGOP - DIRECCION DE VIALIDAD - CHILE

GRÁFICO 39_1

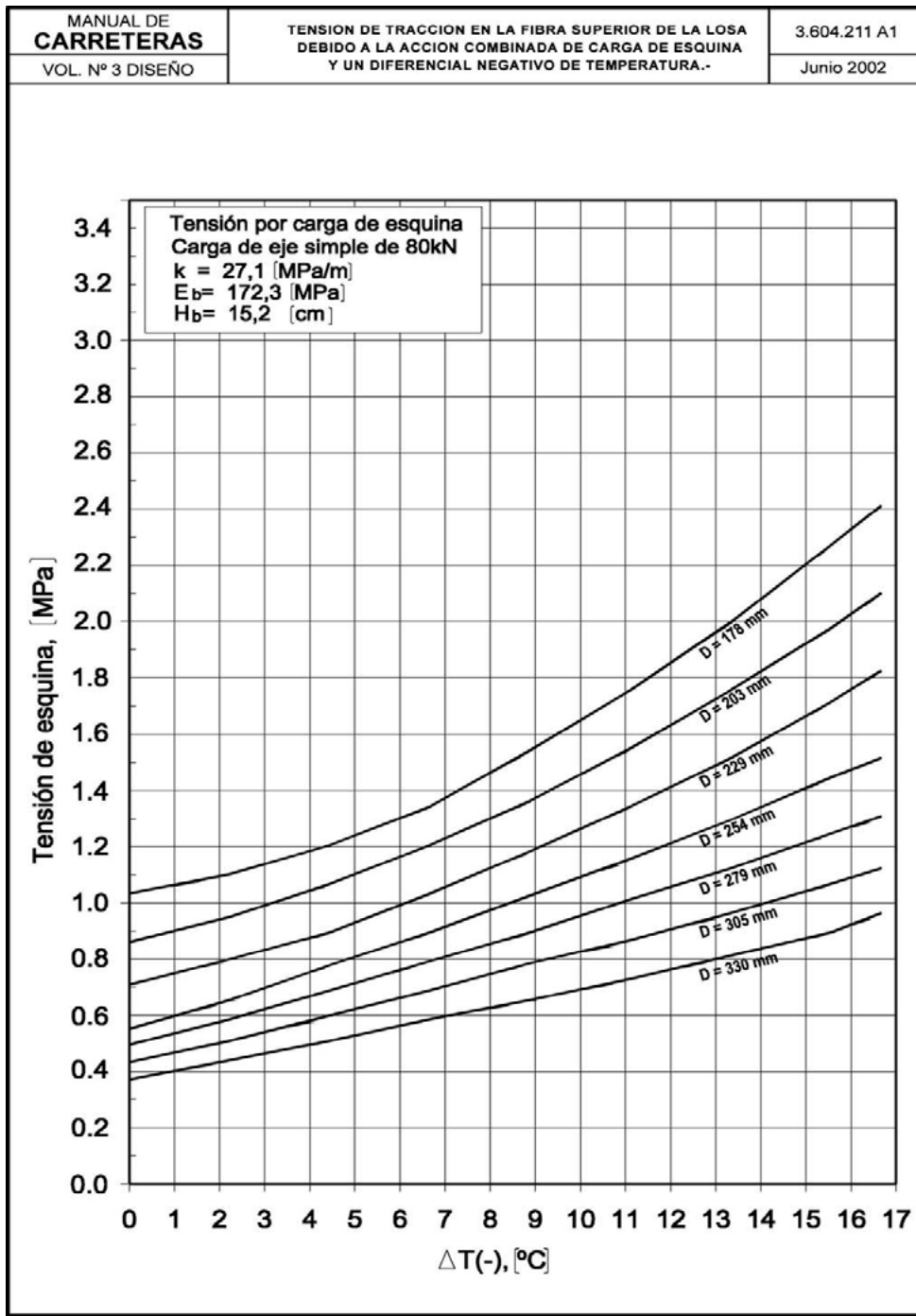
CALCULO MODULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE TRAMO: CAMINO EJEMPLO

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Pozo Nº	Km.	Nº/prof	H rasante	U.S.C.S.	AASHTO	IP	LL	P.U.S.	CBR 95	Dens(%)	CBR nat	k nat	k corr	k dis
1	0,3	1/0,5	0,5	ML	A-4(4)	7	31	1,49	27,9	81	5,9	44	44	44
2	0,5	4/0,5	0,7	ML-CL	A-4(1)	6	27	1,65			7,0 e	49	49	49
3	0,75		-2	GC							15,0 e	72	72	72
4	1	6/0,6	0,2	GM	A-7-6(4)	14	42	1,59			3,0 e	23	23	23
5	1,3	7/0,6	-0,3	GC	A-2-6(0)	13	37	1,81	38,9	91,5	24,1	86	86	86
6	1,5	8/0,6	-0,4	GM	A-2-4(0)	14	42	1,59			10,0 e	60	60	60
7	1,76	9/0,5	-1	GM	A-2-6(0)	11	36	-			10,0 e	60	60	60
8	2	11/0,6	0,8	GW	A-1-e(0)	4	22	2,12	102	94	92,1	127	127	
9	2,3	13/0,7	0	SC	A-6(2)	11	29	1,69	22,9	85,1	6,5	47	47	47
10	2,5	14/0,7	0,5	CL	A-6(4)	14	34	1,79			6,0 e	44	44	44
11	2,74	15/0,6	0,7	GP-GC	A-2-7(0)	22	45	1,98	19	95	19,0	79	79	79
12	3	16/0,1	2	GC	A-7-6(3)	19	45	1,63			3,0 e	23	33	33
13	3,27	18/0,6	3	CL	A-6(7)	15	34	1,55	20,9	83	4,3	34	65	65
14	3,5		2	roca fisurada							15,0 e	72	85	85
15	3,75	20/0,8	-3	GM	A-2-4(0)	8	32	1,77	79,3	83,6	11,4	64	64	64
16	4	21/0,6	0	GC	A-2-7(2)	21	41	1,77			15,0 e	72	72	72
17	4,25	22/0,6	1	GM	A-1-e(0)	3	23	1,91	107,6	86,7	31,3	94	94	94
18	4,5	23/0,6	1,3	GW-GM	A-1-e(0)	4	26				15,0 e	72	72	72
19	4,82			roca							15,0 e	72	72	72
20	5,02	24/0,6	-5	CL	A-6(5)	13	32	1,61	14,1	84,9	4,4	35	35	35
21	5,2	26/0,6	-0,3	GM	A-1-e(0)	NP	NP				15,0 e	72	72	72
(e)	CBR deducido por correlación													
kcorr :	k nat modificado por estrato rígido prof < 3 m y/o por terraplén según columna 4 : se ha supuesto 2.100 kg/m ³ de densidad													
											Promedio	64,5	61,4	
											Desv. Standard	23,6	19,3	
											Coef. Variación	36,3	31,4	
											Prom. + 2 D Estándar.	111,8		
											Prom. - 2 D Estándar.	17,3		

MOP - DGOP - DIRECCION DE VALIDAD - CHILE

GGRÁFICO 40_1

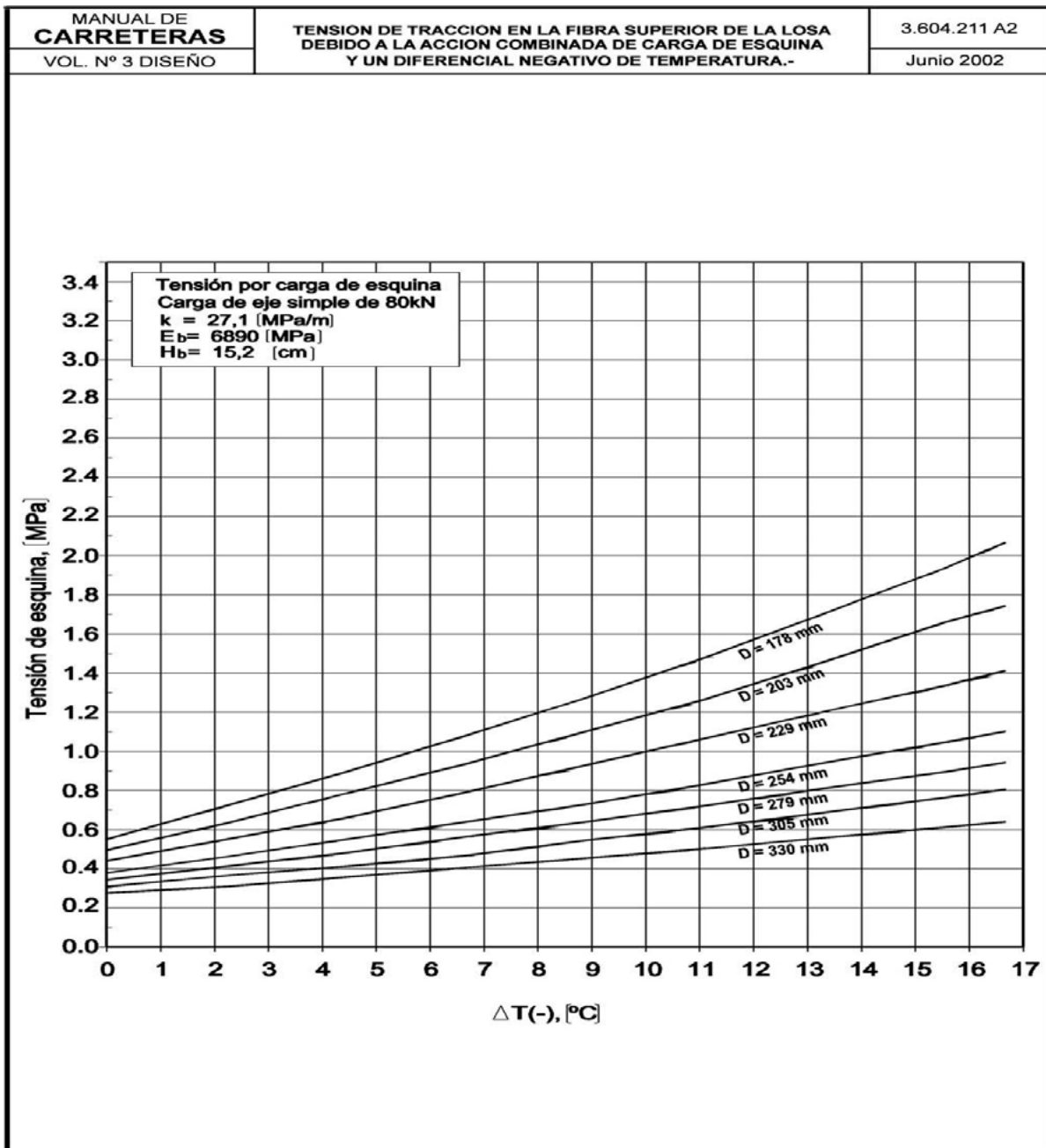
TENSIÓN DE TRACCIÓN EN LA FIBRA SUPERIOR DE LA LOSA DEBIDO A LA ACCIÓN COMBINADA DE CARGA DE ESQUINA Y UN DIFERENCIAL NEGATIVO DE TEMPERATURA 1



MOP - DGOP - DIRECCIÓN DE VIALIDAD - CHILE

GGRÁFICO 41_1

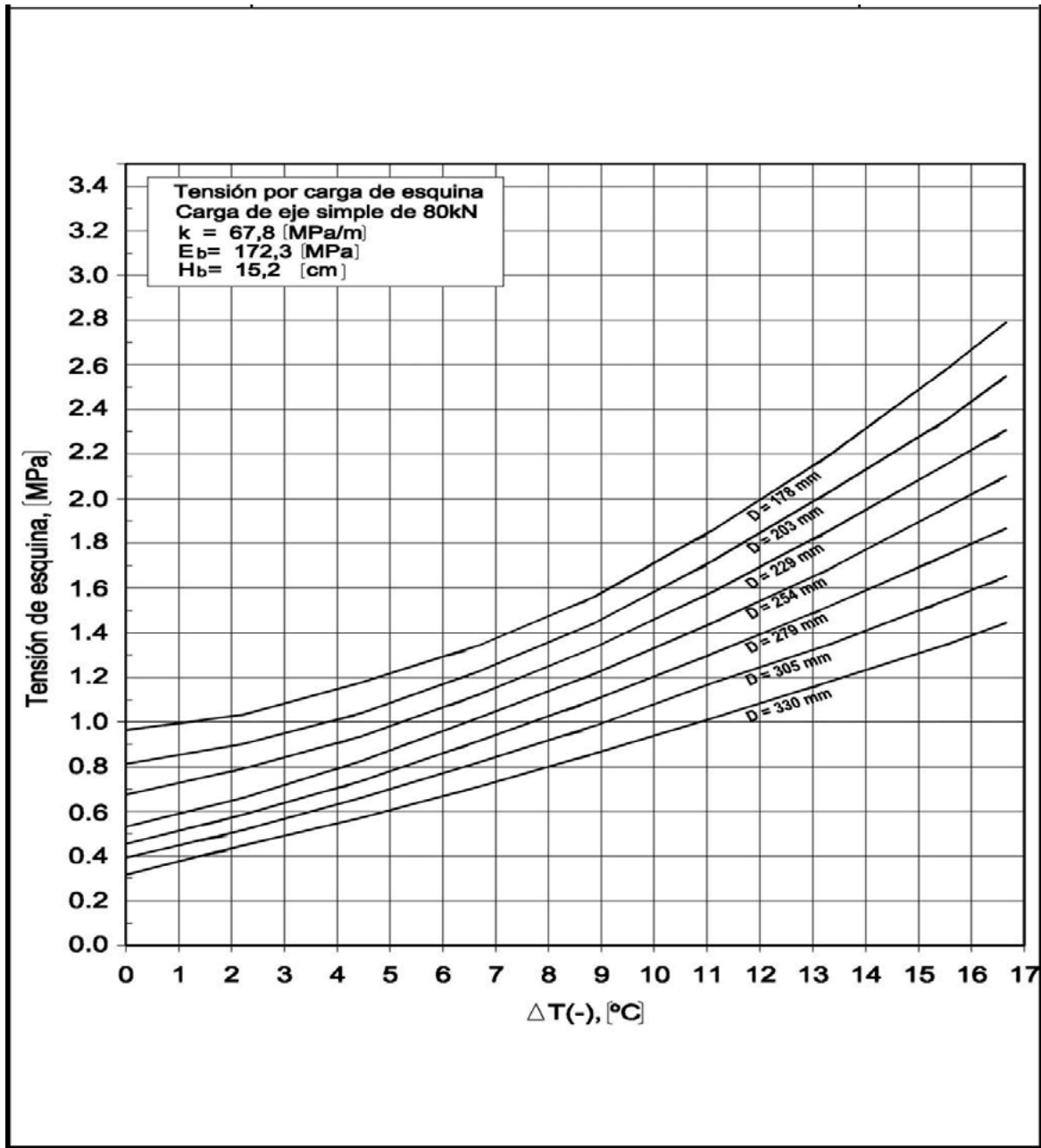
TENSIÓN DE TRACCIÓN EN LA FIBRA SUPERIOR DE LA LOSA DEBIDO A LA ACCIÓN COMBINADA DE CARGA DE ESQUINA Y UN DIFERENCIAL NEGATIVO DE TEMPERATURA 2



MOP - DGOP - DIRECCION DE VALIDAD - CHILE

GGRÁFICO 42_1

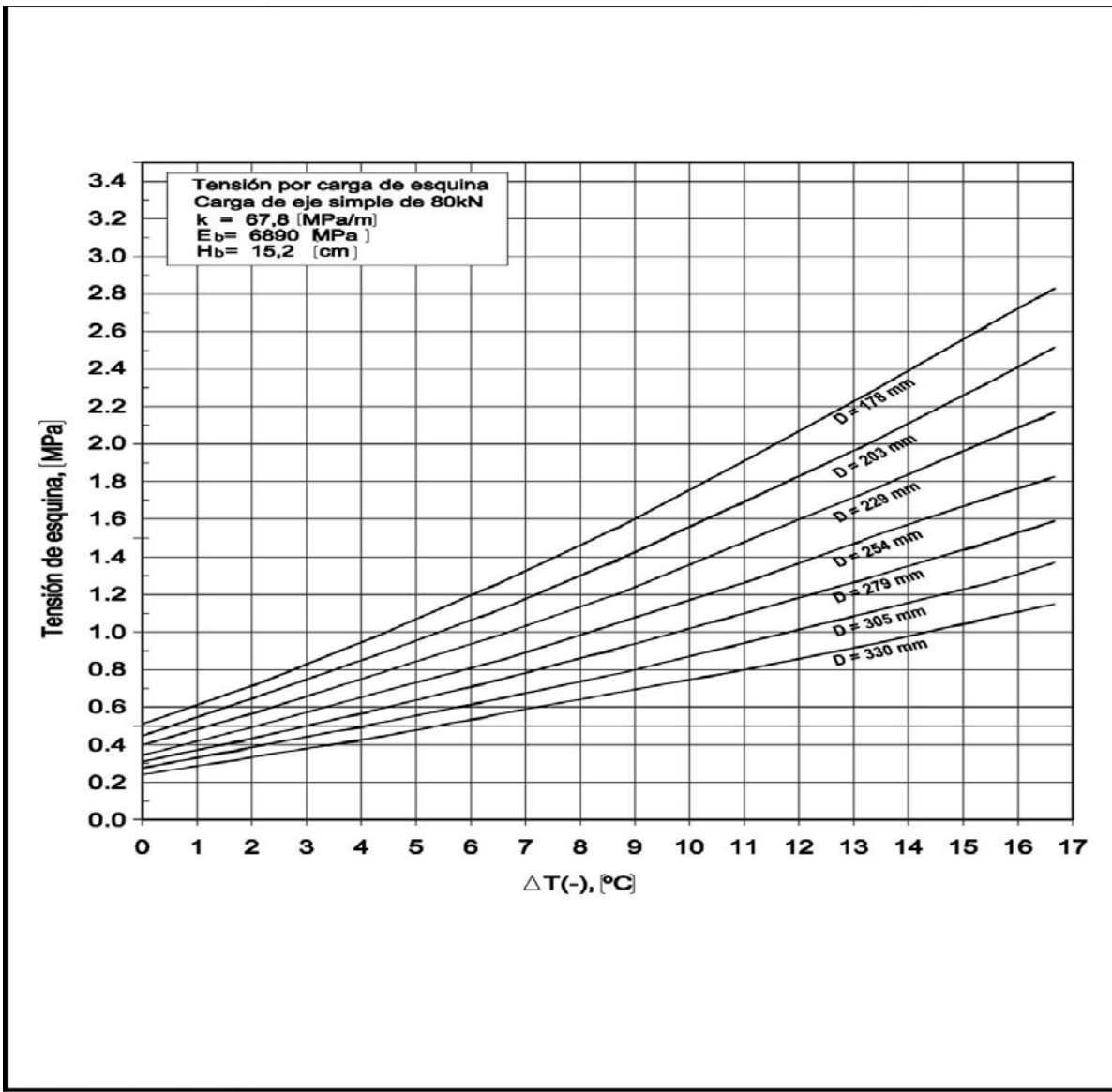
TENSIÓN DE TRACCIÓN EN LA FIBRA SUPERIOR DE LA LOSA DEBIDO A LA AC-
 CIÓN COMBINADA DE CARGA DE ESQUINA Y UN DIFERENCIAL NEGATIVO DE
 TEMPERATURA 3



MOP - DGOP - DIRECCION DE VIALIDAD - CHILE

GRÁFICO 43_1

TENSIÓN DE TRACCIÓN EN LA FIBRA SUPERIOR DE LA LOSA DEBIDO A LA ACCIÓN COMBINADA DE CARGA DE ESQUINA Y UN DIFERENCIAL NEGATIVO DE TEMPERATURA 4



MOP - DCOF - DIRECCION DE VIALIDAD - CHILE

GRÁFICO 44_1 TENSIÓN DE TRACCIÓN EN LA FIBRA SUPERIOR DE LA LOSA DEBIDO A LA AC- CIÓN COMBINADA DE CARGA DE ESQUINA Y UN DIFERENCIAL NEGATIVO DE TEMPERATURA 5

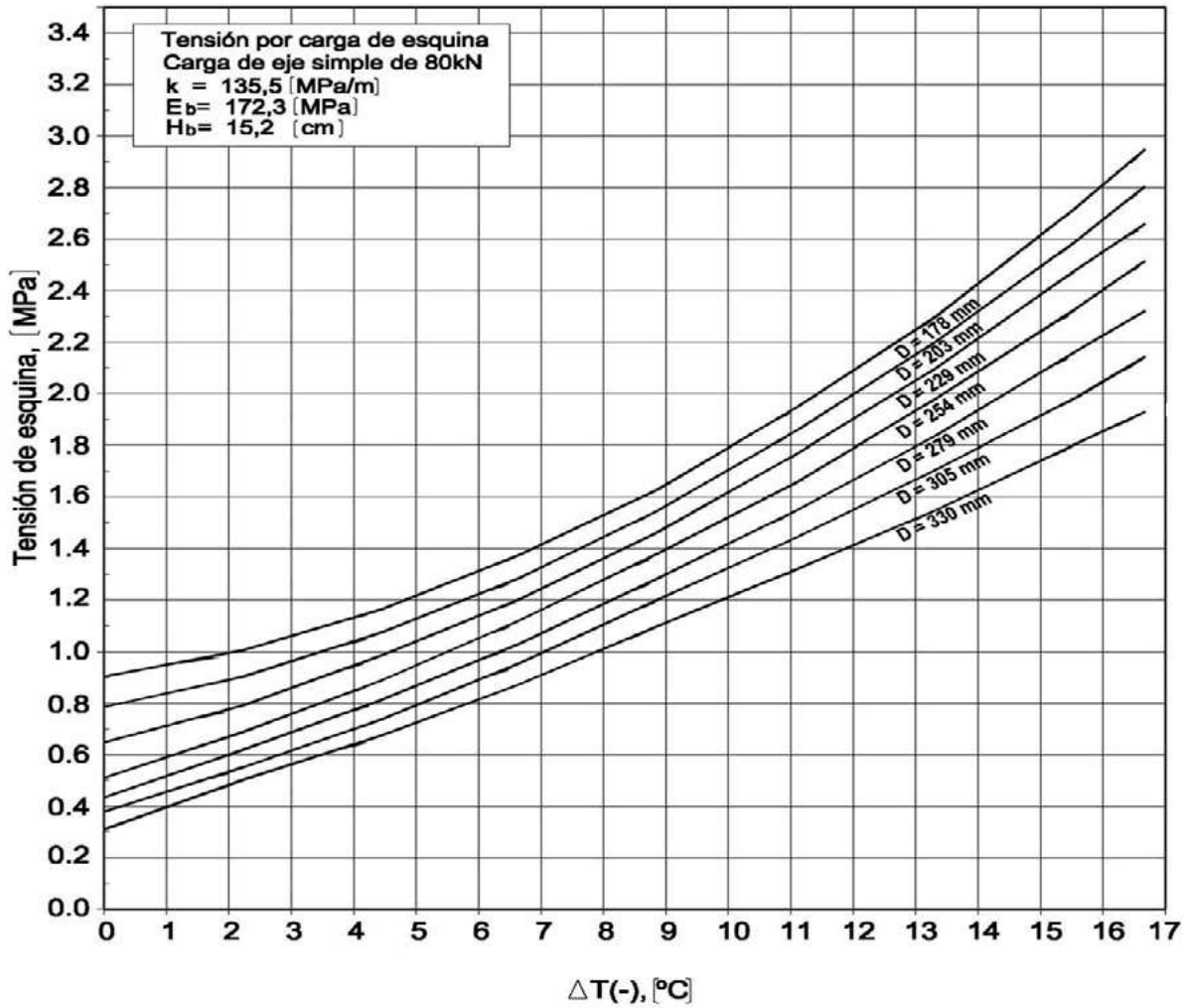
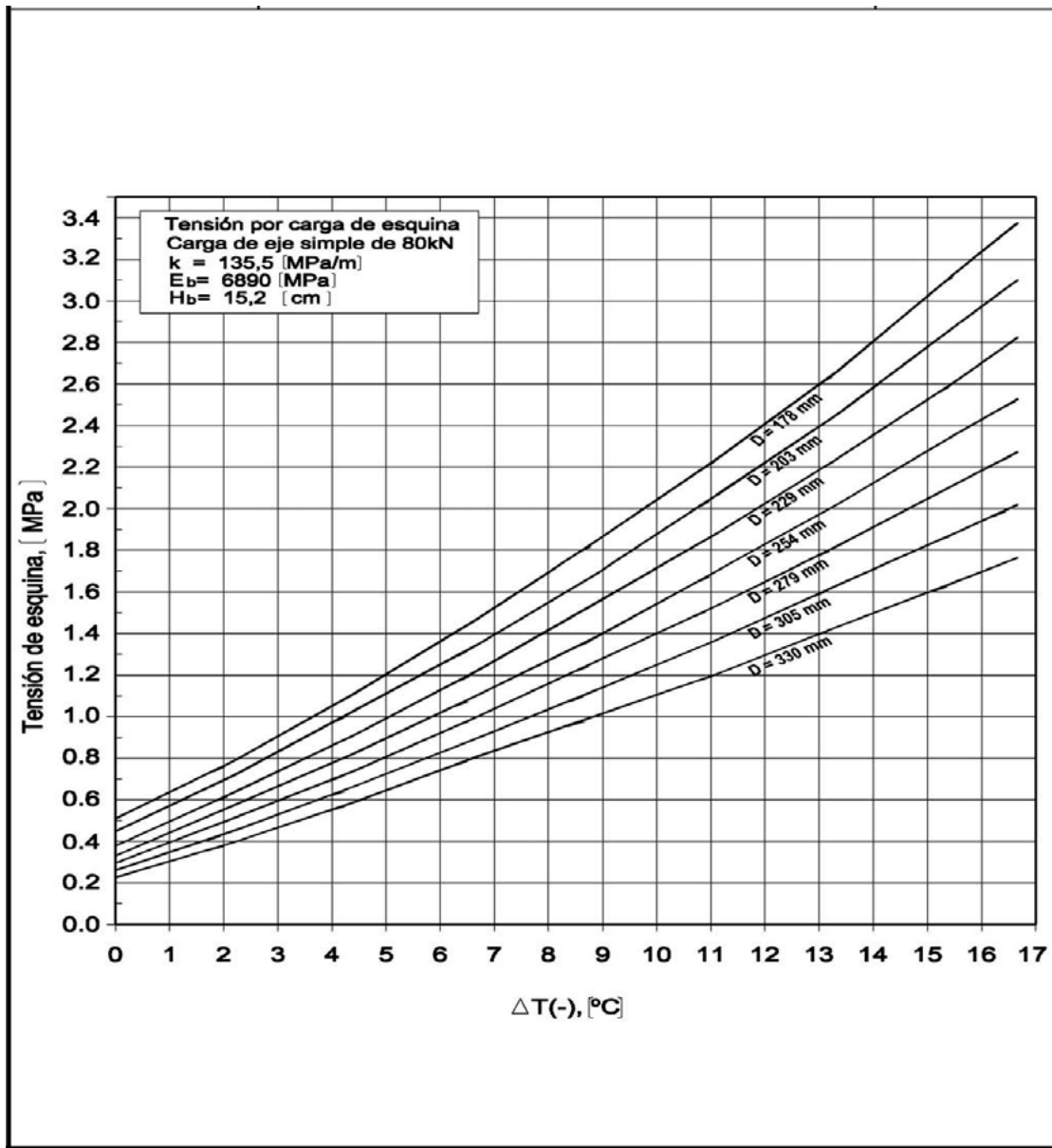


GRÁFICO 45_1 TENSIÓN

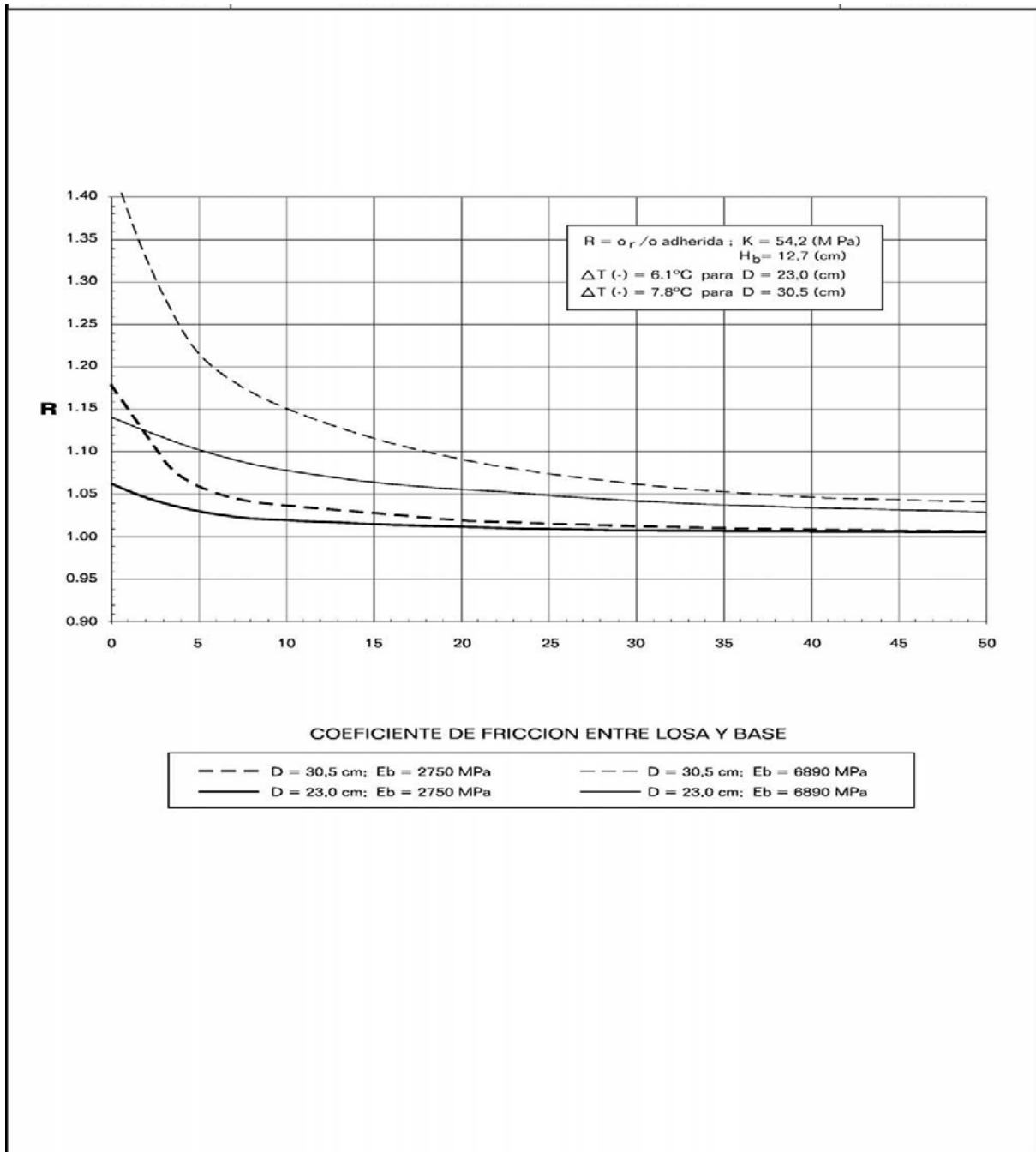
DE TRACCIÓN EN LA FIBRA SUPERIOR DE LA LOSA DEBIDO A LA ACCIÓN COMBINADA DE CARGA DE ESQUINA Y UN DIFERENCIAL NEGATIVO DE TEMPERATURA 6



MOP - DGOP - DIRECCION DE VIALIDAD - CHILE

GRÁFICO 46_1

FACTOR DE AJUSTE SEGÚN NIVEL DE ADHERENCIA, CONSIDERANDO CARGA DE ESQUINA Y UN DIFERENCIAL NEGATIVO DE TEMPERATURA



MOP - DOP - DIRECCION DE VIALIDAD - CHILE

GRÁFICO 47_1

CALCULO DEL CBR DE DISEÑO TRAMO: CAMINO EJEMPLO

MANUAL DE CARRETERAS		CALCULO DEL CBR DE DISEÑO TRAMO : CAMINO EJEMPLO										3.604.303 A	
VOL. Nº 3 DISEÑO												Junio 2002	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Pozo Nº	Km.	Nº/prof	H rasante	U.S.C.S.	AASHTO	IP	LL	P.U.S.	CBR 95	Dens(%)	CBR nat	CBR dis	
1	0,300	1/0,5	0,5	ML	A-4(4)	7	31	1,49	27,9	81	5,9	5,9	
2	0,500	4/0,5	0,7	ML-CL	A-4(1)	6	27	1,65			7,0 e	7,0	
3	0,750		-2	GC							12,0 e	12,0	
4	1,000	6/0,6	0,2	GM	A-7-6(4)	14	42	1,59			3,0 e	7,0 g	
5	1,300	7/0,6	-0,3	GM	A-2-6(0)	13	37	1,81	38,9	91,5	24,1	24,1	
6	1,500	8/0,6	-0,4	GM	A-2-4(0)	14	42	1,59			12,0 e	12,0	
7	1,760	9/0,5	-1	GM	A-2-6(0)	11	36	-			12,0 e	12,0	
8	2,000	11/0,6	0,8	GM	A-1-a(0)	4	22	2,12	102	94	92,1	r	
9	2,300	13/0,7	0	GM	A-6(2)	11	29	1,69	22,9	85,1	6,5	6,5	
10	2,500	14/0,7	0,5	GM	A-6(4)	14	34	1,79			8,0 e	8,0	
11	2,740	15/0,6	0,7	GM	A-2-7(0)	22	45	1,98	19	95	19,0	19,0	
12	3,000	16/0,1	2	GM	A-7-6(3)	19	45	1,63			3,0 e	7,0 g	
13	3,270	18/0,6	3	GM	A-6(7)	15	34	1,55	20,9	83	4,3	4,3	
14	3,500		2		roca fisurada						15,0 e	15,0	
15	3,750	20/0,8	-3	GM	A-2-4(0)	8	32	1,77	79,3	83,6	11,4	11,4	
16	4,000	21/0,6	0	GC	A-2-7(2)	21	41	1,77			15,0 e	15,0	
17	4,250	22/0,6	1	GM	A-1-a(0)	3	23	1,91	98	86,7	23,0	23,0	
18	4,500	23/0,6	1,3	GW-GM	A-1-a(0)	4	26				15,0 e	15,0	
19	4,820				roca						15,0 e	15,0	
20	5,020	24/0,6	-5	CL	A-6(5)	13	32	1,61	14,1	84,9	4,4	4,4	
21	5,200	26/0,6	-0,3	GM	A-1-a(0)	NP	NP				15,0 e	15,0	
c	valor estimado por correlación de datos básicos												
g	valor modificado por colación de un geotextil												
r	valor no considerado pues supera el promedio más 2 desviaciones estándar												
										Promedio	15,4	11,9	
										Desv. Stándard	18,6	5,8	
										Coef. Variación	1,21	0,49	
										CBR diseño (percentil 90%)	5,75	5,75	

MOP - DGOP - DIRECCION DE VIALIDAD - CHILE

BIBLIOGRAFÍA

Para el Desarrollo de las Especificaciones para el Diseño de Obras Viales, se tomó como norma base:

- **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

También se revisó las normativas e informes vigentes:

- **Guide for Design of Pavement and Structures** 1998 Supplement.

AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials.

- **ASTM –American Society for Testing and Materials.**

Manuals, Section 4

- **Asphalt Paving Manuals**

Resurfacing and Asphalt Concrete Paving
Mix Design Methods for Hot-Mix Asphalt Paving
Construction of Hot Mix Asphalt Pavements
Asphalt Institute.

- **Design and Control of Concrete Mixtures**

PCA – Portland Cement Association

- **Manual of Concrete Practice**

Design Handbook
ACI – American Cement Institute.

- **MANUAL DE DISEÑO DE CARRETERAS DE PERU – DG-2001**

República del Perú. Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción
Fecha de Edición: Marzo 2.001

- **ROADS DESIGN GUIDE LINES OF SOUTHERN AFRICA**

Southern African Development Community (SADC) - BOTSWANA
ISBN 99912-0-456-3
Edición: Julio 2.003



TETÁ REMBIAPO
HA MARANDU
Motenondeha

Ministerio
OBRAS PÚBLICAS
Y COMUNICACIONES

**GOBIERNO
NACIONAL**

*Paraguay
de la gente*

Manual de Carreteras del Paraguay



UNIDAD

3

DISEÑO DE CARRETERAS

Volumen 3.3 - Diseño de Señalización y
Obras Complementarias

APC
ASOCIACIÓN PARAGUAYA DE CARRETERAS

WORLD ROAD
ASSOCIATION
MONDIALE
DE LA ROUTE
COMITÉ
NACIONAL
PARAGUAYO

Revisión 2019

UNIDAD 3 VOLUMEN 3.3
Señalización y Obras Complementarias

INDICE

CAPITULO 3.3.1. DISEÑO DE SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL.....	620
SECCION 3.3.1.1. ASPECTOS GENERALES	621
3.3.1.1.1. DEFINICIÓN	621
3.3.1.1.2. COMPETENCIA.....	623
3.3.1.1.3. USO	623
3.3.1.1.4. VISIBILIDAD	624
3.3.1.1.5. RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO	627
SECCION 3.3.1.2. CLASIFICACIÓN DE SEÑALES HORIZONTALES	628
3.3.1.2.1. MARCAS LONGITUDINALES	628
3.3.1.2.2. MARCAS TRANSVERSALES.....	631
3.3.1.2.3. MARCAS ESPECIALES	632
SECCION 3.3.1.3. DISEÑO DE LA SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL	633
3.3.1.3.1. MARCAS LONGITUDINALES	633
3.3.1.3.2. MARCAS TRANSVERSALES.....	662
3.3.1.3.3. MARCAS DE CORDONES Y MURETES.....	666
3.3.1.3.4. MARCAS DE OBJETOS	667
3.3.1.3.5. SÍMBOLOS Y LETREROS EN EL PAVIMENTO	668
3.3.1.3.6. PROYECTOS DE SEÑALIZACION HORIZONTAL.....	671
3.3.1.3.7. OTRAS DEMARCACIONES HORIZONTALES.....	671
3.3.1.3.8. DELINEADORES DE PISO.....	692
3.3.1.3.9. ALFABETOS PARA SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL.....	699
CAPITULO 3.3.2. DISEÑO DE SEÑALIZACIÓN VERTICAL	704
SECCION 3.3.2.1. ASPECTOS GENERALES	705
3.3.2.1.1. CONCEPTO.....	705
3.3.2.1.2. COMPETENCIA	705
3.3.2.1.3. OBLIGATORIEDAD.....	706
3.3.2.1.4. FUNCIÓN	706
3.3.2.1.5. VISIBILIDAD	706
3.3.2.1.6. USO	706
3.3.2.1.7. CONSERVACIÓN.....	707
3.3.2.1.8. CONSTRUCCIÓN	707
3.3.2.1.9. DELETABILIDAD	707
SECCION 3.3.2.2. SEÑALIZACIÓN VERTICAL	708
3.3.2.2.1. CONFORMACIÓN FÍSICA.....	708
3.3.2.2.2. SIGNIFICADO	713
3.3.2.2.3. UBICACIÓN	713
3.3.2.2.4. LEYENDAS ACLARATORIAS.....	713
3.3.2.2.5. USO DE LAS SEÑALES	714
3.3.2.2.6. REQUISITOS QUE DEBEN CUMPLIR LAS SEÑALES.....	714
3.3.2.2.7. ESTADO Y CONSERVACIÓN	714
3.3.2.2.8. VISIBILIDAD	714
SECCION 3.3.2.3. UBICACIÓN Y REQUERIMIENTOS.....	715
3.3.2.3.1. UBICACIÓN LATERAL	715

3.3.2.3.2. UBICACIÓN LONGITUDINAL	716
3.3.2.3.3. ALTURA.....	718
3.3.2.3.4. ORIENTACIÓN	718
3.3.2.3.5. COLOR Y RETRORREFLECTANCIA	720
SECCION 3.3.2.4. CLASIFICACIÓN DE SEÑALES VERTICALES.....	725
3.3.2.4.1. SEÑALES PREVENTIVAS	725
3.3.2.4.2. SEÑALES REGLAMENTARIAS.....	776
3.3.2.4.3. SEÑALES INFORMATIVAS.....	811
3.3.2.4.4. DISPOSITIVOS VERTICALES DE CANALIZACIÓN.....	868
3.3.2.4.5. BARRERAS PARA TRÁFICO	882
3.3.2.4.6. AMORTIGUADORES DE IMPACTO.....	939
3.3.2.4.7. PISTAS DE EMERGENCIA.....	949
SECCION 3.3.2.5. DISEÑO DE LAS SEÑALES VERTICALES	959
3.3.2.5.1. SEÑALES PREVENTIVAS	959
3.3.2.5.2. SEÑALES REGLAMENTARIAS.....	1032
3.3.2.5.3. SEÑALES INFORMATIVAS.....	1072
3.3.2.5.4. SEÑALES VERTICALES DE CANALIZACIÓN	1121
SECCION 3.3.2.6. ALFABETOS PARA SEÑALIZACIÓN VERTICAL.....	1129
3.3.2.6.1. USO DE LOS ALFABETOS TIPO DE LETRAS MAYÚSCULAS.....	1129
3.3.2.6.2. USO DE LOS ALFABETOS TIPO DE LETRAS MINÚSCULAS	1136
3.3.2.6.3. SERIE "A"	1142
3.3.2.6.4. SERIE "B"	1145
3.3.2.6.5. SERIE "C"	1148
3.3.2.6.6. SERIE "D"	1153
3.3.2.6.7. SERIE "E"	1156
SECCION 3.3.2.7. SEMÁFOROS.....	1158
3.3.2.7.1. CLASIFICACIÓN	1158
3.3.2.7.2. ELEMENTOS QUE COMPONEN EL SEMÁFORO	1158
3.3.2.7.3. EQUIPO DE CONTROL.....	1159
3.3.2.7.4. DETECTORES.....	1159
3.3.2.7.5. MANTENIMIENTO	1159
3.3.2.7.6. PREVISIÓN DE INSTALACIONES.....	1160
3.3.2.7.7. SEMÁFOROS PARA EL CONTROL DEL TRÁNSITO DE VEHÍCULOS	1160
3.3.2.7.8. SIGNIFICADO DE LAS INDICACIONES.....	1161
3.3.2.7.9. SECUENCIAS DE ENCENDIDO Y APAGADO DE LAS LUCES.....	1164
3.3.2.7.10. CARAS.....	1164
3.3.2.7.11. LENTES	1175
3.3.2.7.12. VISIBILIDAD E ILUMINACIÓN DE LAS LENTES	1176
3.3.2.7.13. LÍMITE DE ÁREA CONTROLADA POR UN SEMÁFORO	1178
3.3.2.7.14. SEMÁFOROS DE TIEMPOS FIJOS O PREDETERMINADOS.....	1178
3.3.2.7.15. SEMÁFOROS ACCIONADOS POR EL TRÁNSITO	1189
3.3.2.7.16. SEMÁFOROS PARA PASOS PEATONALES.....	1191
3.3.2.7.17. SEMÁFOROS ESPECIALES.....	1197
3.3.2.7.18. EQUIPO DE CONTROL.....	1207
3.3.2.7.19. DETECTORES.....	1217
ANEXO.....	1221

CAPITULO 3.3.3. DISEÑO DE SEÑALIZACION TRANSITORIA DE OBRAS Y OBRAS COMPLEMENTARIAS..... 1229

SECCION 3.3.3.1. SEÑALIZACIÓN TRANSITORIA EN ZONAS DE TRABAJO.....	1230
3.3.3.1.1. SEÑALIZACIÓN DE CALLES Y CARRETERAS AFECTADAS POR OBRAS	1230
3.3.3.1.2. SEÑALES VERTICALES TRANSITORIAS	1231
3.3.3.1.3. DISPOSITIVOS LUMINOSOS	1247
3.3.3.1.4. DISPOSITIVOS MANUALES.....	1250

3.3.3.1.5. ELEMENTOS PARA AUMENTAR LA VISIBILIDAD DE TRABAJADORES Y VEHÍCULOS QUE REALIZAN OBRAS EN LA VÍA.....	1254
3.3.3.1.6. REGULACIÓN DEL TRÁNSITO EN VÍAS MULTICARRIL.....	1262
3.3.3.1.7. PLANES DE MANEJO DE TRÁNSITO	1263
SECCION 3.3.3.2. DISEÑO DE LA SEÑALIZACIÓN TRANSITORIA.....	1271
3.3.3.2.1. DISEÑO DE SEÑALES VERTICALES TRANSITORIAS PREVENTIVAS.....	1271
3.3.3.2.2. DISEÑO DE SEÑALES VERTICALES TRANSITORIAS REGLAMENTARIAS.....	1274
3.3.3.2.3. DISEÑO DE SEÑALES VERTICALES TRANSITORIAS INFORMATIVAS	1277
SECCION 3.3.3.3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES	1311
3.3.3.3.1. GENERALIDADES	1311
3.3.3.3.2. SEÑALES VERTICALES	1312
3.3.3.3.3. SEÑALES HORIZONTALES.....	1353
3.3.3.3.4. BARRERAS PARA TRÁFICO	1372

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.3.1_1. Retrorreflectancia inicial a 30 días (mcd/lux/m ²) para nuevas marcaciones de pista (norma europea en 1436).....	625
Tabla 3.3.1_2. Retrorreflectancia inicial a 30 días (mcd/lux/m ²) para nuevas marcaciones de pista (norma brasilera abnt nbr 14723).....	625
Tabla 3.3.1_3. Coeficiente de intensidad luminosa retrorreflejada.....	626
Tabla 3.3.1_4. Coordenadas cromáticas para demarcaciones planas	627
Tabla 3.3.1_5. Dimensiones distancias mínimas de visibilidad para demarcación de zonas de adelantamiento prohibido.....	635
Tabla 3.3.1_6. Distancia mínima de adelantamiento	638
Tabla 3.3.1_7. Relación demarcación / espacio sin pintar en línea blanca segmentada	640
Tabla 3.3.1_8. Longitud mínima de la zona de transición	648
Tabla 3.3.1_9. Ancho de la senda peatonal.....	664
Tabla 3.3.1_10. Separación entre distanciadores.....	682
Tabla 3.3.1_11. Separación entre líneas reductoras de velocidad	684
Tabla 3.3.1_12. Ubicación de tachas reflectivas en marcas longitudinales	695
Tabla 3.3.2_1. Dimensiones de los tableros de las señales verticales (dimensiones en cm)..	709
Tabla 3.3.2_2. Dimensiones de los elementos que conforman el poste de soporte de los tableros de las señales verticales (m).....	710
Tabla 3.3.2_3. Ubicación lateral de señales verticales (distancia y altura).....	716
Tabla 3.3.2_4. Distancia mínima entre señales verticales	717
Tabla 3.3.2_5. Distancia mínima para la colocación de señales dobles, con base en la velocidad de operación de la vía	717
Tabla 3.3.2_6. Coordenadas cromáticas para colores en señales verticales	721
Tabla 3.3.2_7. Niveles mínimos de retrorreflexión para señales verticales nuevas tipo xi (*) [cd*(lx)-1*m-2].....	723
Tabla 3.3.2_8. Niveles mínimos de retrorreflexión para señales verticales nuevas tipo iv (*) [cd*(lx)-1*m-2]	724
Tabla 3.3.2_9. Factor de luminancia (%)	724
Tabla 3.3.2_10. Distancias para la ubicación de las señales preventivas en vías rurales o en vías urbanas de jerarquía superior a las arterias urbanas.....	726
Tabla 3.3.2_11. Señalización de pendientes fuertes	762
Tabla 3.3.2_12. Distancia de visibilidad en intersección regulada por señal de prioridad	781
Tabla 3.3.2_13. Ancho de orla para señales informativas	817
Tabla 3.3.2_14. Altura mínima de letras para distintas velocidades máximas	830
Tabla 3.3.2_15. Distancias en metros de las señales de avisos previos (preseñalización).....	833
Tabla 3.3.2_16. Criterios de instalación direccionales simples.....	871
Tabla 3.3.2_17. Ancho de la zona despejada (m)	893
Tabla 3.3.2_18. Factor por efecto de radio de curvatura y velocidad de proyecto.....	894
Tabla 3.3.2_19. Ancho mínimo en mediana para no requerir barreras.....	898
Tabla 3.3.2_20. Valores máximos de camiones de más de 2 ejes requeridos para aumentar el nivel de contención	904
Tabla 3.3.2_21. Valores máximos de camiones de 2 y más ejes requeridos para aumentar el nivel de contención	904
Tabla 3.3.2_22. Valores máximos de buses y camiones de 2 y más ejes requeridos para aumentar el nivel de contención	905
Tabla 3.3.2_23. Nivel de contención en función del tránsito en zonas de riesgo normal	905
Tabla 3.3.2_24. Clasificación de barreras de contención no certificadas	906
Tabla 3.3.2_25. Clasificación de barreras de contención certificadas	907
Tabla 3.3.2_26. Longitud mínima de una barrera metálica de contención no certificada	909
Tabla 3.3.2_27.	910
Tabla 3.3.2_28. Distancia máxima para conexión de sistemas de contención (m).....	912
Tabla 3.3.2_29. Distancias mínimas para el emplazamiento lateral de barreras.....	913

Tabla 3.3.2_30. Esviaje de terminales de barreras	929
Tabla 3.3.2_31. Emplazamiento de amortiguadores con capacidad de redireccionamiento	948
Tabla 3.3.2_32. Resistencia a la rodadura	955
Tabla 3.3.2_33. Ejemplo de largos típicos de pistas de emergencia para grava y arena (pendiente 8%)	955
Tabla 3.3.2_34. Relación aproximada de velocidades, distancia y altura de letras para cada serie de alfabetos (condiciones diurnas)	1130
Tabla 3.3.2_35. Anchos de letras y números de la serie "a"	1131
Tabla 3.3.2_36. Ancho de letras y números de la serie "b"	1132
Tabla 3.3.2_37. Ancho de letras y números de la serie "c"	1133
Tabla 3.3.2_38. Ancho de letras y números de la serie "d"	1133
Tabla 3.3.2_39. Ancho de letras y números de la serie "e"	1135
Tabla 3.3.2_40. Espaciamiento. Dimensiones entre letra y letra.....	1135
Tabla 3.3.2_41. Espaciamiento entre mayúscula inicial y minúsculas, así como entre minúsculas. Altura de mayúsculas: 5 cm	1137
Tabla 3.3.2_42. Espaciamiento entre mayúscula inicial y minúsculas, así como entre minúsculas. Altura de mayúsculas: 7,5 cm	1137
Tabla 3.3.2_43. Espaciamiento entre mayúscula inicial y minúsculas, así como entre minúsculas. Altura de mayúsculas: 10 cm	1138
Tabla 3.3.2_44. Espaciamiento entre mayúscula inicial y minúsculas, así como entre minúsculas. Altura de mayúsculas: 12,5 cm	1138
Tabla 3.3.2_45. Espaciamiento entre mayúscula inicial y minúsculas, así como entre minúsculas. Altura de mayúsculas: 15 cm	1139
Tabla 3.3.2_46. Espaciamiento entre mayúscula inicial y minúsculas, así como entre minúsculas. Altura de mayúsculas: 17,5 cm	1139
Tabla 3.3.2_47. Espaciamiento entre mayúscula inicial y minúsculas, así como entre minúsculas. Altura de mayúsculas: 20 cm.....	1140
Tabla 3.3.2_48. Espaciamiento entre mayúscula inicial y minúsculas, así como entre minúsculas. Altura de mayúsculas: 30 cm	1140
Tabla 3.3.2_49. Espaciamiento entre mayúscula inicial y minúsculas, así como entre minúsculas. Altura de mayúsculas: 45 cm	1140
Tabla 3.3.2_50. Altura libre de la cara del semáforo	1166
Tabla 3.3.2_51. Condición a: volumen mínimo de vehículos	1179
Tabla 3.3.2_52. Condición b: interrupción del tránsito continuo	1179
Tabla 3.3.2_53. Ubicación de detectores para equipo de control parcial y totalmente accionado por el tránsito.....	1218
Tabla 3.3.2_54. Ubicación de detectores para controles de densidad de tránsito.....	1220
Tabla 3.3.3_1. Longitud mínima de transición para el cierre de carriles de circulación	1238
Tabla 3.3.3_2. Longitud tipos de luces de advertencia en barricadas	1248
Tabla 3.3.3_3. Superficies mínimas de cada material visible (en m ²)	1256
Tabla 3.3.3_4. Valores mínimos del coeficiente de retroreflexión (cd/lux) para nivel 1	1256
Tabla 3.3.3_5. Valores mínimos del coeficiente de retroreflexión (cd/lux) para nivel 2	1256
Tabla 3.3.3_6. Dimensiones de cintas reflectivas en los vehículos.....	1259
Tabla 3.3.3_7. Niveles mínimos de retroreflexión.....	1260
Tabla 3.3.3_8. Valores mínimos del coeficiente de retroreflexión (ra) de lámina reflectiva (cd/lx-m ²)	1320
Tabla 3.3.3_9. Coordenadas de colores diurnos para láminas reflectivas y retroreflectivas.....	1324
Tabla 3.3.3_10. Límite de reflectancia y%	1324
Tabla 3.3.3_11. Factor máximo de radiación espectral	1325
Tabla 3.3.3_12. Láminas tipo a. Coeficiente mínimo de retroreflexión (ra)(cd/lx-m ²) (orientación de 0° y 90°).....	1325
Tabla 3.3.3_13. Láminas tipo b. Coeficiente mínimo de retroreflexión (ra)(cd/lx-m ²)	1326
Tabla 3.3.3_14. Láminas tipo b. Coeficiente mínimo de retroreflexión (ra)(cd/lx-m ²)	1326
Tabla 3.3.3_15. Láminas tipo a. Coeficiente mínimo de retroreflexión (ra)	1328

Tabla 3.3.3_16. Láminas tipo b. Coeficiente mínimo de retrorreflexión (ra)	1328
Tabla 3.3.3_17. Coordenadas cromáticas para resina termoplástica	1356
Tabla 3.3.3_18. Composición de resinas termoplásticas blanca y amarilla	1357
Tabla 3.3.3_19. Límites de granulometría de esferas de premezclado o tipo premix, para resina termoplástica	1359
Tabla 3.3.3_20. Características del material de los postes de los hitos de arista (delineadores de corona)	1361
Tabla 3.3.3_21. Coordenadas cromáticas para tachas.....	1363
Tabla 3.3.3_22. Retrorreflectancia	1363
Tabla 3.3.3_23. Sustancias perjudiciales	1380
Tabla 3.3.3_24. Requerimientos de durabilidad para agregados gruesos	1380
Tabla 3.3.3_25. Separación de agregados gruesos en dos tamaños	1381
Tabla 3.3.3_26. Granulometría de agregados gruesos separados para concreto preesforzado.....	1381
Tabla 3.3.3_27. Granulometría de agregados gruesos separados para concreto estructural	1382
Tabla 3.3.3_28. Granulometría de agregados gruesos separados para concreto estructural	1382
Tabla 3.3.3_29. Sustancias perjudiciales en agregados finos	1383
Tabla 3.3.3_30. Granulometría de agregados finos(1)	1383
Tabla 3.3.3_31. Composición de estabilizadores.....	1385
Tabla 3.3.3_32. Límites para el agua para mezclas.....	1387
Tabla 3.3.3_33. Trabajos que pueden ser ejecutados con concreto comercial de grado específico mezclado en la obra.....	1388
Tabla 3.3.3_34. Uso de compuestos de curado	1390

INDICE DE FIGURAS

Figura 3.3.1_1. Ángulo de en ángulo de entrada y de observación	626
Son franjas de un ancho de 0,3 m a 0,6 m que atraviesan la calzada.....	631
Figura 3.3.1_2. Detalle de espesores y distancias	634
Figura 3.3.1_3. Disposición general.....	634
Figura 3.3.1_4. Demarcación de zonas de adelantamiento prohibido	636
Figura 3.3.1_5. Ejemplo de líneas continuas paralelas.....	637
Figura 3.3.1_6. Líneas de borde en el pavimento.....	639
Figura 3.3.1_7. Ejemplo de líneas blancas segmentadas	641
Figura 3.3.1_8. Relaciones de demarcación en rampas de entrada o de salida	641
Figura 3.3.1_9. Líneas de separación de rampas de entrada o de salida (vista general).....	642
Figura 3.3.1_10. Líneas de separación de rampas de entrada o de salida (detalles)	643
Figura 3.3.1_11. Demarcación de banquetas pavimentadas.....	646
Figura 3.3.1_12. Demarcación de canalización	647
Figura 3.3.1_13. Demarcación de transición en el ancho del pavimento (disposición general)	649
Figura 3.3.1_14. Flechas de terminación de carril.....	650
Figura 3.3.1_15. Demarcación de aproximación a obstrucciones	652
Figura 3.3.1_16. Demarcación de aproximación a pasos a nivel.....	654
Figura 3.3.1_17. Demarcación de líneas de estacionamiento (paralelas a la calzada)	655
Figura 3.3.1_18. Demarcación de líneas de estacionamiento (oblicuas a la calzada)	656
Figura 3.3.1_19. Demarcación de líneas paradas de ómnibus (disposición general)	658
Figura 3.3.1_20. Demarcación de carriles de contraflujo (detalle).....	659
Figura 3.3.1_21. Demarcación de carriles de contraflujo.....	660
Figura 3.3.1_22. Diagramación de flechas en el pavimento.....	661
Figura 3.3.1_23. Señalización horizontal en un cruce regulado por la señal “pare”	662
Figura 3.3.1_24. Paso peatonal “cebreado” (diagramación general)	663
Figura 3.3.1_25. Señalización horizontal en cruce peatonal tipo paso de cebra.....	664
Figura 3.3.1_26. Señalización horizontal en cruce peatonal regulado por semáforo.....	665
Figura 3.3.1_27. Línea de detención ceda el paso.....	666
Figura 3.3.1_28. Demarcación en cruce regulado por señal “ceda el paso”	666
Figura 3.3.1_29. Demarcaciones de aproximación a obstrucciones.....	668
Figura 3.3.1_30. Símbolos en el pavimento	669
Figura 3.3.1_31. Demarcación de zona escolar	670
Figura 3.3.1_32. Demarcación tipo achurado para bifurcación convergente y divergente	673
Figura 3.3.1_33. Demarcación tipo bloqueo de cruces	674
Figura 3.3.1_34. Disposición típica de una lomada (resalto).....	676
Figura 3.3.1_35. Características generales de una lomada (resalto) o “rompe muelles”	677
Figura 3.3.1_36. Características, esquema de funcionamiento de las lomadas (resaltos) tipo cojín	678
Figura 3.3.1_37. Diseño de lomada (resalto) tipo cojín.....	679
Figura 3.3.1_38. Demarcación de lomadas (resaltos) tipo cojín.....	680
Figura 3.3.1_39. Señalización de distintas configuraciones.....	680
Figura 3.3.1_40. Lomada (resalto) virtual.....	681
Figura 3.3.1_41. Lomada (resalto) portátil	682
Figura 3.3.1_42. Distanciadores	683
Figura 3.3.1_43. Ejemplo de líneas reductoras de velocidad para una velocidad de entrada de 50 km/h y velocidad de salida de 30 km/h.....	686
Figura 3.3.1_44. Uso combinado de reductores de velocidad	687
Figura 3.3.1_45. Sonorizador prefabricado	688
Figura 3.3.1_46. Sonorizador fabricado en sitio	689
Figura 3.3.1_47. Disposición de bandas alertadoras construidas con estoperoles	690
Figura 3.3.1_48. Diseño de una banda alertadora construida con estoperoles cerámicos	690
Figura 3.3.1_49. Borde alertador	691
Figura 3.3.1_50. Franjas sonoras.....	692

Figura 3.3.1_51. Delineadores de piso	695
Figura 3.3.1_52. Tachones	698
Figura 3.3.2_1. Dimensiones internas de postes y tableros, de acuerdo con la tabla	
3.3.2_2.....	712
Figura 3.3.2_2. Ubicación lateral de las señales verticales.....	715
Figura 3.3.2_3. Ubicación de las señales elevadas	716
Figura 3.3.2_4. Orientación de las señales (vista en planta)	718
Figura 3.3.2_5. Orientación de las señales (perfil longitudinal)	719
Figura 3.3.2_6. Diagrama cromático cie 1931 para señales verticales	720
Figura 3.3.2_7. Ángulo de entrada y observación	722
Figura 3.3.2_8. Ubicación de señales preventivas de restricción	727
Figura 3.3.2_9. Diagrama de ubicación de la señal p -64	728
Figura 3.3.2_10. Esquema para instalación de señal de prioridad	781
Figura 3.3.2_11. Ejemplos de señales informativas (geográficas e instrucciones)	816
Figura 3.3.2_12. Ejemplos de señales informativas (servicios, institucional y turismo).....	816
Figura 3.3.2_13. Ancho de orla en señales informativas.....	817
Figura 3.3.2_14. Señalización informativa en autopistas y autovías	819
Figura 3.3.2_15. Flechas aéreas	820
Figura 3.3.2_16. Flechas en señales informativas laterales.....	820
Figura 3.3.2_17. Disposición de flechas en señales informativas laterales	821
Figura 3.3.2_18. Composición de una señal informativa tipo mapa	822
Figura 3.3.2_19. Diagramación de flechas para señales tipo mapa.....	822
Figura 3.3.2_20. Diagramación de flechas para señales tipo mapa (continuación)	823
Figura 3.3.2_21. Diagramación de flechas para señales tipo mapa (continuación)	823
Figura 3.3.2_22. Diagramación de flechas para señales tipo mapa (continuación)	824
Figura 3.3.2_23. Diagramación de flechas para señales tipo mapa (continuación)	825
Figura 3.3.2_24. Diagramación de flechas para señales tipo mapa (continuación)	826
Figura 3.3.2_25. Diagramación de flechas para señales tipo mapa (continuación)	827
Figura 3.3.2_26. Diagramación de flechas para señales tipo mapa (continuación)	828
Figura 3.3.2_27. Diagramación de flechas para señales tipo mapa (continuación)	829
Figura 3.3.2_28. Ejemplo de señal tipo mapa	830
Figura 3.3.2_29. Proceso para definición de señalización informativa.....	831
Figura 3.3.2_30. Ejemplos de señales de avisos previos tipo mapa y aérea	833
Figura 3.3.2_31. Ejemplos de señales de dirección.....	834
Figura 3.3.2_32. Señales de salida inmediata.....	835
Figura 3.3.2_33. Balizas de acercamiento	836
Figura 3.3.2_34. Ejemplos de señales de confirmación.....	837
Figura 3.3.2_35. Señal de la red primaria.....	837
Figura 3.3.2_36. Señal de la red secundaria.....	837
Figura 3.3.2_37. Señal de la red terciaria	838
Figura 3.3.2_38. Señal de nombre y numeración de calle.....	838
Figura 3.3.2_39. Ejemplos de señales de localización	838
Figura 3.3.2_40. Ejemplos de dispositivos verticales de canalización	869
Figura 3.3.2_41. Ubicación de los hitos de arista (medidas en cm)	870
Figura 3.3.2_42. Ubicación de los direccionales.....	873
Figura 3.3.2_43. Uso de los delineadores de obstáculos.....	874
Figura 3.3.2_44. Captafaros. Vistas y montaje	875
Figura 3.3.2_45. Captafaros. Desarrollo	875
Figura 3.3.2_46. Señal portátil "pare"	876
Figura 3.3.2_47. Diagrama teorico de impacto	884
Figura 3.3.2_48. Ejemplo de ancho de trabajo.....	885
Figura 3.3.2_49. Zona despejada en terraplen.....	892
Figura 3.3.2_50. Zona despejada en corte	892
Figura 3.3.2_51. Función del tránsito y de la altura de terraplen.....	895
Figura 3.3.2_52. Perfiles de seguridad para barreras de hormigón para medianas.	900

Figura 3.3.2_53. Proceso de selección de barreras de contención	903
Figura 3.3.2_54. Disposición de barreras metálicas en obstáculos laterales	910
(Calzada bidireccional)	910
Figura 3.3.2_55. Disposición de barreras metálicas en obstáculos laterales (calzada unidireccional).....	911
Figura 3.3.2_56. Disposición de barreras de hormigón en obstáculos laterales (calzada bidireccional).....	911
Figura 3.3.2_57. Disposición de barreras de hormigón en obstáculos laterales (calzada unidireccional).....	912
Figura 3.3.2_58. Emplazamiento lateral de barreras de contención en terraplenes.....	913
Figura 3.3.2_59. Emplazamiento lateral de barreras de contención en obstáculos	914
Figura 3.3.2_60. Disposición barrera en presencia de solera tipo a.....	915
Figura 3.3.2_61. Barrera en mediana con pendiente menor a 10%.....	915
Figura 3.3.2_62. Barrera en mediana con pendiente mayor a 10% y menor a 30%.....	916
Figura 3.3.2_63. Barrera en mediana con pendiente mayor a 30%	916
Figura 3.3.2_64. Barrera en mediana con pendiente menor a 10% y cuneta central no traspasable.....	916
Figura 3.3.2_65. Interrupción de barreras en la mediana ($v < 90$ km/h) (planta)	917
Figura 3.3.2_66. Definición de altura de barreras	918
Figura 3.3.2_67. Barrera de hormigón tipo f	921
Figura 3.3.2_68. Ejemplo de barreras mixtas	924
Figura 3.3.2_69. Barrera de triple cable de acero	926
Figura 3.3.2_70. Barrera de cuadruple cable de acero.....	927
Figura 3.3.2_71. Terminal atenuador del tipo extrusor.....	931
Figura 3.3.2_72. Terminal atenuador del tipo europeo.....	932
Figura 3.3.2_73. Prueba de capacidad del suelo in situ	938
Figura 3.3.2_74. Secuencia constructiva de fundación para terrenos de baja resistencia	939
Figura 3.3.2_75. Tambores de plástico con arena	941
Figura 3.3.2_76. Amortiguadores de impacto con capacidad de redireccionamiento	942
Figura 3.3.2_77. Amortiguador de impacto móvil montado sobre camión.....	943
Figura 3.3.2_78. Ubicación de amortiguadores con capacidad de redireccionamiento (planta)	949
Figura 3.3.2_79. Factores que actúan sobre un vehículo en pendiente	950
Figura 3.3.2_80. Barreras tipo f en bordes de pistas de emergencia	954
Figura 3.3.2_81. Placa complementaria a la señal i-04, para no videntes.....	1077
Figura 3.3.2_82. Dimensiones y formas para flechas en semáforos.....	1163
Figura 3.3.2_83. Ubicación y número recomendable de caras en intersecciones de calles de un solo sentido	1166
Figura 3.3.2_84. Ubicación y número recomendable de caras en intersecciones de calles de doble sentido.....	1167
Figura 3.3.2_85. Ubicación y número recomendable de caras en intersecciones de una calle de doble sentido con separador central y calles de un solo sentido.....	1168
Figura 3.3.2_86. Ubicación y número recomendable de caras en intersecciones de calles de doble sentido, una con separador central.....	1169
Figura 3.3.2_87. Ubicación y número recomendable de caras en intersecciones de calles de doble sentido con separador central.....	1170
Figura 3.3.2_88. Ubicación y número recomendable de caras en intersecciones de una vía rápida con calle de un solo sentido	1171
Figura 3.3.2_89. Ubicación y número recomendable de caras en intersecciones de una vía rápida urbana con carril de contraflujo, con calles de doble sentido	1172
Figura 3.3.2_90. Ubicación y número recomendable de caras en intersecciones de vías rápidas urbanas con carril en contraflujo.....	1173
Figura 3.3.2_91. Localización de las caras del semáforo en el lado más cercano del acceso de la intersección	1173
Figura 3.3.2_92. Semáforos montados en poste o en ménsula corta	1174
Figura 3.3.2_93. Semáforos montados en ménsula larga sujeta a poste lateral	1174

Figura 3.3.2_94. Semáforo montado suspendido por cable.....	1175
Figura 3.3.2_95. Posición de las lentes en un semáforo de tres luces.....	1177
Figura 3.3.2_96. Semáforos para peatones.....	1193
Figura 3.3.2_97. Inscripciones en las lentes de semáforos para peatones.....	1195
Figura 3.3.2_98. Semáforos para zonas escolares.....	1197
Figura 3.3.2_99. Semáforo para regular el uso de carriles.....	1203
Figura 3.3.2_100. Soportes para el montaje de semáforos de aproximación de trenes.....	1206
Figura 3.3.2_101. Ubicación longitudinal de los semáforos y barreras.....	1206
Figura 3.3.2_102. Disposición de las barreras para indicar la aproximación de trenes.....	1208
Figura 3.3.3_1. Barricadas.....	1239
Figura 3.3.3_2. Conos.....	1241
Figura 3.3.3_3. Delineadores tubulares.....	1243
Figura 3.3.3_4. Cilindros plásticos.....	1244
Figura 3.3.3_5. Barreras plásticas flexibles.....	1244
Figura 3.3.3_6. Tabiques, cintas plásticas y mallas.....	1245
Figura 3.3.3_7. Reja portátil peatonal.....	1246
Figura 3.3.3_8. Flechas direccionales luminosas.....	1249
Figura 3.3.3_9. Señales de mensaje luminoso.....	1250
Figura 3.3.3_10. Uso de banderas y paletas.....	1253
Figura 3.3.3_11. Linternas.....	1254
Figura 3.3.3_12. Definición básica de los componentes de la vestimenta de trabajo.....	1255
Figura 3.3.3_13. Ejemplos de vestimentas.....	1260
Figura 3.3.3_14. Ejemplos de vestimentas.....	1261
Figura 3.3.3_15. Ubicación de cintas retrorreflectantes.....	1262
Figura 3.3.3_16. Etapas para el desarrollo del plan de manejo del tránsito.....	1265
Figura 3.3.3_17. Construcción de señales verticales.....	1313
Figura 3.3.3_18. Fundación de señales verticales.....	1314
Figura 3.3.3_19. Estructura tipo marco porta señales.....	1315
Figura 3.3.3_20. Estructura tipo marco porta señales (continuación).....	1316
Figura 3.3.3_21. Estructura tipo marco porta señales (continuación).....	1317
Figura 3.3.3_22. Estructura tipo bandera o ménsula.....	1318
Figura 3.3.3_23. Estructura tipo bandera o ménsula (continuación).....	1319

INTRODUCCION

GUÍA PARA EL PROYECTO Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA OBRAS DE SEÑALIZACIÓN DE CARRETERAS DE LA RED PRIMARIA, SECUNDARIA, TERCARIA Y VECINAL

El Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) del Paraguay tiene la satisfacción de publicar esta guía de señalización vial, que pretende ser un documento que ofrece las herramientas necesarias a las autoridades y a los profesionales de la ingeniería vial, para el uso correcto de los diferentes dispositivos para la regulación del tránsito en los diseños y la ejecución de los proyectos de señalización. Puede utilizarse como material de consulta para los usuarios de las calles y carreteras del país, para las entidades responsables de la infraestructura vial y las autoridades de tránsito nacionales, departamentales, distritales y municipales, para profesionales de la ingeniería vial, constructores, consultores y proveedores de materiales de señalización.

En esta Guía se establecen las especificaciones para el diseño, ubicación y aplicación de los dispositivos para la regulación del tránsito en calles y rutas; la decisión de utilizar un dispositivo en particular, en una localización determinada, debe basarse en un estudio de ingeniería identificado como proyecto de señalización o de semaforización, según sea el caso, donde tiene relevante importancia el juicio del ingeniero que lo elabora. Este documento busca proporcionar a las autoridades responsables de la señalización vial, la forma correcta de utilizar los diferentes dispositivos para la regulación del tránsito, con el fin de prevenir accidentes y mejorar la movilidad por las vías públicas. Las recomendaciones que brinda esta guía no deben influir sobre el juicio profesional, sino que deben usarse como información adicional que sirva de base parcial a ese juicio, justificando convenientemente las modificaciones que se introduzcan.

Sus aplicaciones consisten esencialmente en conocer el uso, clasificación, funcionalidad, color, tamaño, materiales, mantenimiento, etc., de los dispositivos utilizados en el ámbito nacional para la regulación del tránsito en calles y rutas. El proyecto de señalización debe guardar armonía, estética y comodidad con el diseño geométrico de las vías para ofrecer un recorrido fácil, agradable y libre de sorpresas.

El presente documento “GUÍA PARA EL PROYECTO Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA OBRAS DE SEÑALIZACIÓN DE CARRETERAS DE LA RED PRIMARIA, SECUNDARIA, TERCARIA Y VECINAL”, se ha subdividido en catorce (14) capítulos, que han sido estructurados de manera tal que el usuario proyectista, encuentre conceptos que orienten su criterio de diseño.

Los aspectos que son tratados y reglamentados en el presente documento son: Aspectos Generales, Señalización Vertical, Señalización Horizontal, Señalización Transitoria, Semáforos y Especificaciones Técnicas.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

A

ACCESIBILIDAD: Característica que permite en cualquier espacio o ambiente exterior o interior, el fácil desplazamiento de la población en general y el uso en forma confiable y segura de los servicios instalados en esos ambientes; incluye la eliminación de barreras físicas, actitudinales y de comunicación.

ACERA O ANDÉN: Parte de la vía dedicada al tránsito de peatones.

ACCESO CONTROLADO: Características de ciertas autopistas o caminos de tipo especial, que permiten la salida o el acceso a la misma solo en puntos específicos. Por lo general, las propiedades colindantes a lo largo del derecho de vía no tienen acceso directo a la arteria principal.

ADELANTAMIENTO: Maniobra mediante la cual un vehículo sobrepasa a otro, que lo precedía en el mismo carril de una calzada.

ALTURA LIBRE: Distancia vertical entre la calzada y un obstáculo superior.

AUTOPISTA O AUTOVÍA: Vía especialmente diseñada para altas velocidades de operación con los sentidos de flujos aislados por medio de separadores, sin intersecciones a nivel y con control total de accesos.

B

BAHÍA: Zona de transición entre la calzada y andén, destinada al estacionamiento provisional de vehículos.

BANDERERO: Persona que se ubica temporalmente al lado de la vía para dar paso en ambos sentidos, cuando se ejecutan obras viales.

BANQUINA (SIGNIFICADO ALTERNO): Escalón intermedio de un talud de corte o terraplén, de ancho variable, que es parte del perfil general de corte o terraplén y cumple las siguientes funciones principales: asegurar la estabilidad del corte o terraplén, permitir instalar obras de drenaje longitudinal para evitar daños por escurrimiento de aguas pluviales, evitar la caída directa de escombros de derrumbes sobre la plataforma vial (para taludes de corte).

BANQUINA: Parte exterior de la vía destinada al soporte lateral de la calzada y destinada ocasionalmente para el estacionamiento de vehículos en caso de emergencia.

BIFURCACIÓN: División de una vía en ramales, uno de los cuales, cuando menos, se aparta de la dirección original.

BORDILLO O SARDINEL: Elemento de concreto, asfalto u otros materiales ubicado a un nivel superior con relación a la calzada y que sirve para delimitarla.

C

CALLE: Vía urbana de tránsito público, que incluye toda la zona comprendida entre los linderos frontales de las propiedades.

CALZADA: Zona de la vía destinada a la circulación de los vehículos.

CARRETERA: Vía diseñada para el tránsito de vehículos terrestres automotores.

CARRIL: Parte de la calzada que puede acomodar una sola fila de vehículos de cuatro o más ruedas.

CEBRA: Demarcación de franja peatonal en forma de una sucesión de líneas sobre la calzada paralelas a los carriles de tránsito vehicular, sirve para indicar la trayectoria que debe seguir el peatón al atravesar la vía.

CICLO DE SEMÁFORO: Tiempo total que requiere una sucesión completa de los intervalos de un semáforo.

CICLOVÍA: Vía o sección de la calzada destinada ocasionalmente para el tránsito de bicicletas, triciclos y peatones.

CONO DE TRÁNSITO: Dispositivo en forma de cono truncado que se usa en serie para desviar o encauzar el tránsito. Suele ser de material flexible y resistente a golpes, con el fin de que no se deteriore fácilmente ni cause daño a los vehículos.

CORONA: Parte de un corredor vial conformado por los carriles de circulación, separadores, banquetas y cunetas.

CRUCE O INTERSECCIÓN DE VÍAS: Área de uso público formada por la intersección de dos (2) o más vías.

CURVA HORIZONTAL: Alineación de proyección curva sobre el plano horizontal.

CURVA VERTICAL: Alineación de la rasante que tiene proyección curvilínea sobre un plano vertical.

D

DELINEADOR: Dispositivo que demarca los límites de una determinada zona de vía.

DEMARCACIÓN: Elemento que sirve para diferenciar un área de otra, bien sea mediante color, textura o cambio de material.

DEMARCACIÓN DE PASO PEATONAL A NIVEL: Señalización aplicada a la calzada para indicar la trayectoria que deben seguir los peatones al travesar la misma (incluye la cebra).

DERECHO DE VÍA: Faja de terreno cuyo ancho es determinado por la autoridad que es necesario para la construcción, conservación, reconstrucción, ampliación, protección y en general, para el uso adecuado de una vía.

DETENERSE: Interrupción momentánea de la marcha de un vehículo con el motor andando y el conductor en su sitio.

DETECTOR: Dispositivo que se coloca en una vía para registrar automáticamente el paso o presencia de vehículos.

DISPOSITIVOS PARA LA REGULACIÓN DEL TRÁNSITO: Son los mecanismos físicos o marcas especiales, que indican la forma correcta cómo deben circular los usuarios de las calles y carreteras. Los mensajes de los dispositivos para la regulación del tránsito se dan por medio de símbolos, elementos y leyendas de fácil y rápida interpretación.

E

EMPALME: Conexión de una vía con otras, acondicionada para el tránsito vehicular. Conexión con traslape de los perfiles de una barrera metálica.

ESTACIONARSE: Acto mediante el cual un conductor deja su vehículo parado en cierto lugar y se aleja de él.

ESTACIONAMIENTO DE UN VEHÍCULO: Parada de un vehículo en la parte lateral de la vía o de un sitio destinado para tal fin, que implique apagar el motor.

ESTOPEROL: Dispositivo que se ubica sobre el pavimento en forma horizontal o perpendicular al sentido del flujo vehicular para encauzar el tránsito o como reductor de velocidad.

F

FASE DE SEMÁFORO: Parte del ciclo del semáforo que consta de: a) un intervalo durante el cual recibe siempre el derecho de paso un movimiento o combinación de movimientos vehiculares o peatonales, y b) uno o más intervalos de transición como el amarillo o amarillo más todo rojo.

G

GÁLIBO: Altura libre que permite un puente, la parte superior de un túnel, o una estructura cualquiera que cruza encima de la plataforma vial, para el paso del tránsito.

GLORIETA: Intersección en donde no hay cruces a nivel directos, sino maniobras dentro de cruces y movimientos alrededor de una isleta o plazoleta central.

I

INGENIERO: Fiscal. Profesional o compañía de ingeniería que contrata el Propietario de un proyecto para que lo represente ante el Contratista, para realizar la administración del contrato de obra y realice el control de calidad, interpretación de las Especificaciones Técnicas, elaboración de especificaciones especiales, planos de ejecución de obra, y todas las actividades necesarias para garantizar la adecuada ejecución de los trabajos de construcción y el cumplimiento del contrato de obra y de las especificaciones vigentes.

INTERSECCIÓN: Área general donde dos o más vías se unen o cruzan, ya sea a nivel o desnivel o que comprende toda la superficie necesaria para facilitar todos los movimientos de los vehículos que se cruzan por ellos.

ISLA (isleta de tránsito): Área restringida, ubicada entre carriles de tránsito, destinada a encauzar el movimiento de vehículos o también como refugio de peatones.

L

LEYENDA: Texto contenido en una señal de tránsito.

LINEA DE BORDE: Demarcación sobre la calzada que indica el borde exterior del pavimento.

LÍNEA DE PARE (LÍNEA DE DETENCIÓN): Marca de tránsito sobre la calzada ante la cual deben detenerse los vehículos.

M

MARCAS VIALES: Elemento señalizador colocado o pintado sobre el pavimento o en elementos adyacentes al mismo, consistentes en líneas, dibujos, colores, palabras o símbolos; para indicar, advertir o guiar el tránsito.

P

PASO A NIVEL: Intersección a un mismo nivel de una vía con una vía férrea o con otra carretera.

PASO PEATONAL A NIVEL: Zona de la calzada delimitada por dispositivos y áreas especiales con destino al cruce de peatones.

PARQUEADERO: Lugar público o privado destinado al estacionamiento de vehículos.

PEATÓN: Persona que transita a pie por una vía.

PEDESTAL: Un zócalo, una base que soporta un poste.

PETO: Prenda suelta o parte de una prenda de vestir que cubre el pecho. Prenda de vestir con peto, especialmente el pantalón.

PICTOGRAMA: Escritura ideográfica en la que se dibujan en forma simple los objetos.

POSTE: Soporte vertical que tiene como finalidad ubicar a una determinada altura el tablero de una señal de tránsito.

PRELACIÓN: Prioridad o preferencia que tiene una vía o vehículo con relación a otras vías o vehículos.

O

ORLA: Línea delgada que separa el borde del tablero con el fondo de la señal. Sirve para establecer un contraste que permite distinguir mejor la señal.

R

RAMPA: Ramal de intercambio con pendiente, destinado a empalmar una vía con otra a niveles diferentes.

RASANTE: Línea longitudinal de una calzada que representa los niveles del centro de la superficie de rodadura a lo largo de la calzada.

RETROREFLEXIÓN: Propiedad física en el cual un rayo de luz que incide sobre una superficie retrorreflectiva, es devuelto en la misma dirección al rayo de luz incidente.

RURAL, zona: Zona donde las edificaciones son muy escasas y el terreno está en su estado natural o dedicado a cultivos.

S

SEMÁFORO: Son dispositivos que proporcionan indicaciones visuales para el control del tránsito de vehículos y peatones en intersecciones. Las indicaciones se hacen a través de luces con lentes de diferentes colores. El color verde corresponde a la indicación de “siga” y el color rojo a “pare”, el color amarillo normalmente sirve de transición entre las fases de “siga” y “pare”. Los lentes con luces de colores diferentes se ordenan verticalmente en una secuencia convencional y preestablecida de la siguiente manera: rojo, amarillo y verde.

SEÑAL DE TRÁNSITO: Dispositivo físico o marca vial que indica la forma correcta como deben transitar los usuarios de las vías y se instala a nivel de la vía para transmitir órdenes o instrucciones mediante palabras o símbolos.

SEÑAL ELEVADA, SEÑAL AÉREA: Señal informativa ubicada sobre estructuras especiales que le permiten una visibilidad a mayores distancias, por contener mensajes de mayor tamaño y estar a una altura superior a las demás señales de tránsito.

SEÑAL SONORA: Aquella que esta diseñada para ser percibida mediante el sentido del oído.

SEÑAL VISUAL: Aquella que está diseñada para ser percibida mediante el sentido de la vista.

SEPARADOR: Espacio o dispositivo estrecho y ligeramente saliente, distinto de una franja o línea pintada, situado longitudinalmente entre dos calzadas, para separar el tránsito de la misma o distinta dirección, dispuesto de tal forma que intimide o impida el paso de vehículos.

SÍMBOLO: Figura con que se representa un concepto.

SUBURBANA, zona: Zona de transición entre la urbana y la rural.

SUPERVISOR: Profesional, en general un ingeniero civil, que representa al Propietario de un proyecto ante el Fiscal (Ingeniero), y que toma decisiones de orden superior referidas al Contrato de Obra (aprobación de certificaciones, de documentos modificatorios, de cambios en los diseños, presupuestos de ejecución y otras actividades definidas por el Contratante), e informa al Contratante acerca de la correcta administración del Contrato de Obra, del estado de avance de los trabajos de construcción y de la administración y cumplimiento del Contrato de Servicios de Fiscalización.

T

TACHA DE DEMARCACIÓN (clavo, botón): Dispositivos pegados sobre el pavimento o marcadores que pueden ser usados como elementos de guía, como complemento a la demarcación y en algunos casos como sustitución, con el fin de mejorar las condiciones de visibilidad de la señalización horizontal.

TACHÓN: Dispositivo que se coloca sobre el pavimento para encauzar el tránsito.

TERMOPLÁSTICO: Material plástico que se aplica en caliente, para formar una película de espesor variable generalmente usado en sustitución de la pintura.

TEXTURA: Característica de la superficie de un material con relación al tacto.

TRÁNSITO: Acción de desplazamiento de personas, vehículos y animales por las vías.

TRANSPORTE: Es el acarreo de personas, animales o cosas de un punto a otro a través de un medio físico.

U

URBANA, zona: Zona en la que gran parte del terreno está ocupado por edificaciones.

V

VEHÍCULO: Artefacto montado sobre ruedas que sirve para transportar personas, animales o cosas.

VÍA: Zona de uso público o privado abierta al público destinada al tránsito de público, personas y/o animales.

VÍA FÉRREA: Vía diseñada para el tránsito de vehículos sobre rieles, con prelación sobre todas las demás vías del sistema vial.

VELOCIDAD DE DISEÑO: Velocidad seleccionada para proyectar y relacionar entre sí las características físicas de una vía que influyen en la marcha de los vehículos.

VELOCIDAD DE OPERACIÓN: Velocidad promedio que desarrollan el 85% de los usuarios en un tramo determinado de una vía.

Z

ZONA ESCOLAR: Zona de la vía situada frente al un establecimiento de enseñanza y que se extiende cincuenta metros al frente y a los lados de los lugares de acceso al establecimiento.

ZONA DE CONFLICTO: Área de intersección entre dos flujos de tránsito.

ZONA DE ESTACIONAMIENTO RESTRINGIDO: Parte de la vía delimitada por autoridad competente en zonas adyacentes a instalaciones militares o de policía, teatros, bancos, hospitales, entidades oficiales y de socorro, iglesias, establecimientos industriales y comerciales.

CAPITULO 3.3.1

DISEÑO DE SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL

SECCION 3.3.1.1. | ASPECTOS GENERALES

Se explica la función que desempeña la señalización horizontal y su clasificación, especificaciones para el diseño, símbolos, letras, dimensiones, color, materiales y la forma de realizar un proyecto de señalización.



3.3.1.1.1. DEFINICIÓN

La señalización horizontal corresponde a la aplicación de marcas viales, conformadas por líneas, flechas, símbolos y letras que se pintan sobre el pavimento, cordones y estructuras de las vías de circulación o adyacentes a ellas, así como los objetos que se colocan sobre la superficie de rodadura, con el fin de regular, canalizar el tránsito o indicar la presencia de obstáculos.

La demarcación desempeña funciones definidas e importantes en un adecuado esquema de regulación del tránsito. En algunos casos, son usadas para complementar las órdenes o advertencias de otros dispositivos, tales como las señales verticales y semáforos; en otros, transmiten instrucciones que no pueden ser presentadas mediante el uso de ningún otro dispositivo, siendo un modo muy efectivo de hacerlas entendibles.

A. TRAZOS CONTINUOS Y DISCONTINUOS

1) LINEACONTINUA:

Independientemente de su color amarillo o blanco, indica que no debe ser traspasada ni circular sobre ella.

2) DOBLE LINEACONTINUA:

Refuerza el concepto de las anteriores y establece una separación mínima entre ambos sentidos de circulación.

3) LINEAS DISCONTINUAS:

Indican la posibilidad de ser traspasadas.

4) LINEAS CONTINUAS Y DISCONTINUAS PARALELAS:

Indican la licencia de traspasar en el sentido de la discontinua a la continua y la prohibición de hacerlo de la continua a la discontinua.

B. MATERIAL

Las marcas viales o demarcación horizontal son las señales de tránsito demarcadas sobre la calzada, con el fin de regular, transmitir órdenes, advertir determinadas circunstancias, encauzar la circulación o indicar zonas prohibidas. El material debe ser antideslizante, resistente y de un espesor no mayor a 5 mm, con excepción de las tachas y separadores de tránsito. Las demarcaciones serán uniformes en diseño, posición y aplicación. Tal como para los demás dispositivos

de control de tránsito, es necesaria su uniformidad respecto a las dimensiones, diseño, símbolos, caracteres, colores, frecuencia de uso, circunstancias en que se emplea y tipo de material usado, a fin de que puedan ser reconocidas y entendidas instantáneamente por los usuarios de la vía.

C. REFLECTIVIDAD

En autopistas, rutas, puentes, accesos y egresos de las vías mencionadas y en calles y avenidas de intenso volumen vehicular, toda la demarcación debe ser reflectiva, excepto paso peatonal tipo cebra, o estar debidamente iluminadas. Cuando sea necesario demarcar líneas divisorias de sentidos opuestos de dirección, de borde de calzada, de pare, isletas canalizadoras o delimitadoras de obstáculos, sendas peatonales y marcas o leyendas de cruces ferroviarios, “CEDA EL PASO” y “PARE”, también debe utilizarse material reflectivo

D. COLORES Y LETRAS

Las líneas longitudinales y marcas deben ser blancas o amarillas, excluyendo el pintado de cordones o la aplicación de tachas reflectivas u otras. En las líneas longitudinales el color blanco se empleará para hacer separación entre tránsito en el mismo sentido y el color amarillo define la separación de corrientes de tránsito de sentido opuesto en camino de doble sentido con calzada de varios carriles, líneas de barreras y zonas de obstrucciones. Las flechas, símbolos y letras serán de color blanco, a excepción de las flechas de doble cabeza utilizadas para la demarcación de carriles de contraflujo.

El Color Blanco se empleará para:

- Líneas centrales sobre carreteras rurales de dos carriles.
- Líneas de carril
- Líneas de borde de pavimento.
- Demarcaciones sobre banquetas pavimentadas.
- Líneas canalizadoras.
- Aproximaciones a obstrucciones que pueden ser pasadas por ambos lados.
- Demarcación de giros y flechas direccionales.
- Líneas de PARE.
- Sendas peatonales.
- Líneas que delimitan espacios de estacionamientos.
- Demarcaciones de símbolos y palabras.
- Líneas auxiliares para la reducción de velocidad.
- Cruce ferroviario.
- Demarcación para niebla.

El Color Amarillo se empleará para:

- Líneas centrales dobles sobre calzadas de múltiples carriles.

- Líneas de barreras que indican prohibición de cruzarlas en:
- Transiciones del ancho del pavimento.
- Aproximaciones a obstrucciones que deben ser pasadas del lado derecho.
- Isletas de tránsito.

Lugares en que por su diseño geométrico se deba inhibir el paso al carril de sentido opuesto.

3.3.1.1.2. COMPETENCIA

El MOPC es el ente nacional regulador responsable de elaborar, divulgar, unificar y reglamentar el sistema de dispositivos de seguridad vial, referidos a señalización vertical, horizontal, transitoria, semaforización y especificaciones técnicas referidas a los materiales y calidades mínimas exigibles.

El señalamiento lo realiza o autoriza el organismo nacional, departamental o municipal responsable de la estructura vial, siendo también de su competencia colocar o exigir la señal de advertencia en todo riesgo más o menos permanente. Los que sean transitorios deben ser eliminados por la autoridad que primero intervenga, caso contrario debe señalizarlos o exigir que se lo haga, con intervención policial cuando corresponda.

Toda demarcación sobre el pavimento de la vía pública que no se ajuste al presente, debe ser removida de acuerdo a procedimientos aprobados en la presente Guía, sin perjuicio de las sanciones que puedan corresponder. Las autorizaciones al respecto, para ser válidas, deben tener en forma visible, la constancia del permiso de la autoridad del tránsito local.

3.3.1.1.3. USO

La señalización horizontal (marcas sobre el pavimento y objetos sobrepuestos) deberá cumplir con los propósitos prescritos en este capítulo. Antes que una vía sea abierta al tránsito, deberá verificarse la presencia de todos los elementos definidos en el proyecto y otros que pudiesen resultar necesarios. El uso de las demarcaciones debe estar apoyado en estudios realizados por profesionales con experiencia en el campo de la Ingeniería de Tránsito.

Por otro lado, un requisito importante al momento de decidir el material a emplear en la demarcación, será su duración y funcionalidad en condiciones climáticas adversas. Esta condición dependerá de las siguientes variables:

- características del material; el tipo de sustrato sobre el cual se aplica; tipo y cantidad de tránsito; clima y
- condiciones ambientales en el entorno a la vía.

Las especificaciones que se entregan en el Capítulo 114, tienen por objeto unificar los materiales a utilizar en las demarcaciones a utilizar a nivel nacional, de modo tal que cuenten con las características que aseguren su duración y visibilidad, tanto diurna como nocturna.

Todas las vías pavimentadas deberán contar con señalización horizontal, la cual deberá cumplir una función prioritaria en vías interurbanas y/o de apoyo a la señalización vertical en las vías urbanas.

Cuando se modifiquen las características operacionales y/o físicas de una vía, tales como cambios de sentido de tránsito o ensanchamientos, podría ser necesaria la eliminación o borrado de la demarcación existente para no confundir a los usuarios, no desacreditar otras señales y

no generar accidentes. Las demarcaciones obsoletas deben ser removidas antes que las nuevas condiciones de operación y/o físicas se implementen.

Se puede utilizar cualquier proceso que elimine totalmente la demarcación obsoleta siempre que no dañe el medio ambiente y que no afecte la integridad del pavimento, tales como chorro de arena, cepillado, quemadura, aplicación de agentes químicos u otros. No se permite el recubrimiento con pintura gris o negra, ya que ésta se desgasta con el tiempo dejando visible la demarcación que se ha intentado eliminar. Las demarcaciones elevadas innecesarias deben ser removidas en su totalidad.

3.3.1.1.4. VISIBILIDAD

Tomando en consideración que la señalización horizontal se ubica sobre la calzada, presenta la ventaja, frente a otros tipos de señales, de transmitir su mensaje al conductor sin que éste distraiga su atención de la pista en que circula. Desde este punto de vista, el lograr una mejor señalización horizontal constituye un objetivo prioritario de la seguridad vial. No obstante, como desventaja, su visibilidad se ve afectada por variables ambientales, tales como nieve, lluvia, polvo, alto tránsito y otros. Por lo tanto, frente a maniobras de alto riesgo tales como zonas de no adelantar, o de detención PARE, deben siempre ser reforzadas con la señalización vertical correspondiente.

A. VISIBILIDAD NOCTURNA (RETORREFLECTANCIA)

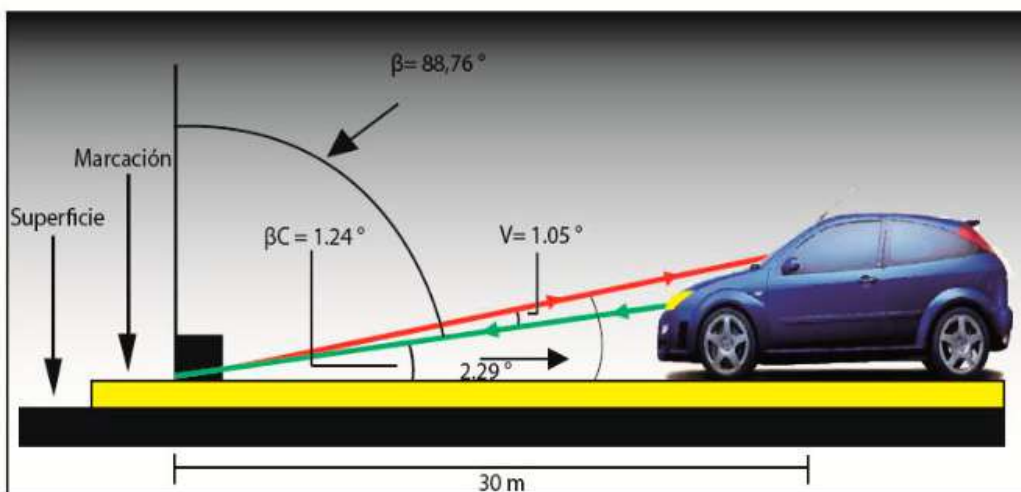
- **Demarcaciones planas**

Las demarcaciones deberán ser visibles en cualquier período del día y bajo toda condición climática, por ello se deberán fabricar y ejecutar con materiales apropiados, como pinturas que junto a micro-esferas de vidrio, se someten a procedimientos que aseguran su retrorreflexión. Esta propiedad, permitirá que las micro-esferas sean visibles en la noche al ser iluminadas por las luces de los vehículos, ya que una parte significativa de la luz que reflejan retorna hacia la fuente luminosa.

Estas demarcaciones deberán cumplir con los valores mínimos de retrorreflexión indicados llevando en consideración la normativa aplicable de control de retrorreflectancia que se especifique.

- **Norma europea EN 1436 con geometría 30m:**

La medición se realiza con un reflectómetro de geometría 30, conforme se pueden apreciar en el gráfico de abajo.



NOTA: En la normativa europea EN 1436 la medición de los ángulos se realiza desde la horizontal.

Estas demarcaciones deberán cumplir con los valores mínimos de retrorreflexión indicados en la tabla 3.3.1_1

Tabla 3.3.1_1. RETRORREFLECTANCIA INICIAL A 30 DÍAS (MCD/LUX/M2) PARA NUEVAS MARCACIONES DE PISTA (NORMA EUROPEA EN 1436)

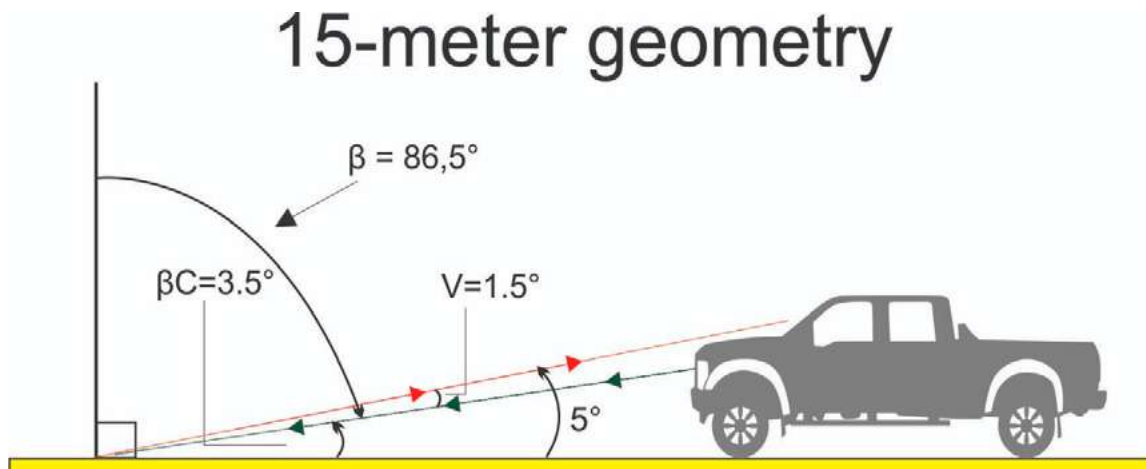
ÁNGULOS		COLORES	
ILUMINACIÓN β_C	OBSERVACIÓN	BLANCO	AMARILLO
1,24°	2,29°	200	120

-El ángulo de entrada (iluminación) con respecto a la horizontal es $\beta_C = 1,24^\circ$

-El ángulo de observación de $2,29^\circ$

- **Norma brasilera ANBT NBR 14723 con geometría 15m:**

La medición se realiza con un reflectómetro de geometría 15, conforme se pueden apreciar en el gráfico de abajo.



NOTA: En la normativa brasilera ABNT NBR 14723, la medición de los ángulos se realiza desde la vertical.

Estas demarcaciones deberán cumplir con los valores mínimos de retrorreflexión indicados en la tabla 3.3.1_2

Tabla 3.3.1_2. RETRORREFLECTANCIA INICIAL A 30 DÍAS (MCD/LUX/M2) PARA NUEVAS MARCACIONES DE PISTA (NORMA BRASILEIRA ABNT NBR 14723)

ÁNGULOS		COLORES	
INCIDENCIA β	OBSERVACIÓN	BLANCO	AMARILLO
86,5°	1,5°	250	150

- El ángulo de incidencia con respecto a la normal del pavimento (eje vertical) es $\beta = 86,5^\circ$

-El ángulo de observación de $1,5^\circ$, ángulo entre el eje de incidencia y el eje de observación.

- **Demarcaciones elevadas**

Para demarcaciones elevadas (tachas y otros elementos verticales pintados), la superficie retrorreflectante debe ser siempre a lo menos de 10 cm^2 . Cuando el elemento instalado pierda parte

de dicha superficie, no alcanzando el mínimo señalado, se deberá retirar e instalar uno nuevo.

Se establece que los valores mínimos de retrorreflexión serán los considerados en la Tabla 3.3.1_3. Ver figura 3.3.1_1.

Tabla 3.3.1_3. COEFICIENTE DE INTENSIDAD LUMINOSA RETRORREFLEJADA

ÁNGULO DE ENTRADA "E"	ÁNGULO DE OBSERVACIÓN "α"	MÍNIMO VALOR RL (Milicandelas por lux) (mcd/lx)				
		279	167	70	93	26
0°	0,2°	279	167	70	93	26
+20° - 20°	0,2°	112	67	28	37	10

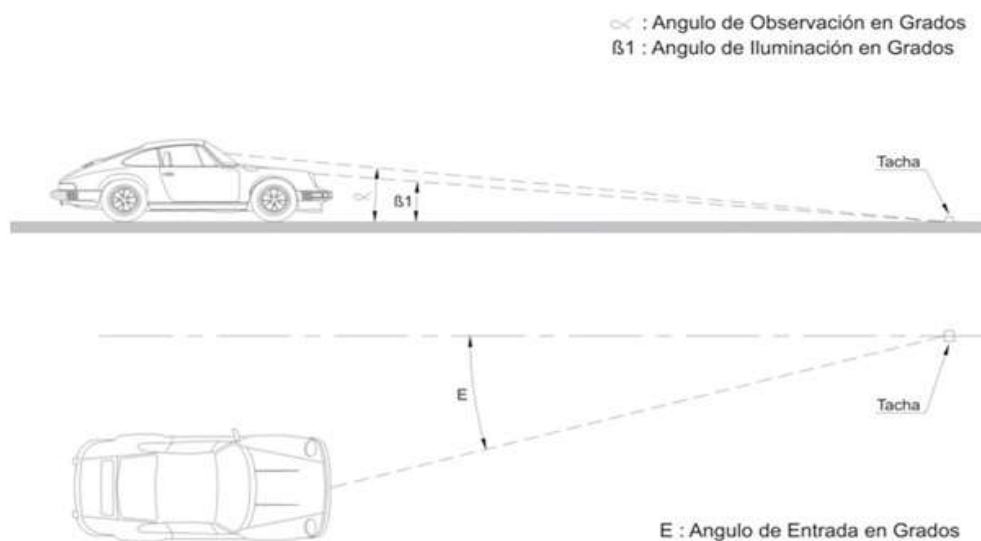


Figura 3.3.1_1. ÁNGULO DE ENTRADA Y DE OBSERVACIÓN

B. VISIBILIDAD DIURNA (COLOR Y FACTOR DE LUMINANCIA)

• Demarcaciones planas

Las líneas longitudinales y marcas deben ser blancas o amarillas.

Amarillo: El color amarillo establece la separación de corrientes de tránsito de sentido opuesto en caminos de doble sentido con calzadas de uno o varios carriles y líneas de barrera. Este color se utiliza también en las islas divisorias y en las marcas para prevenir el bloqueo de una intersección.

Blanco: El color blanco define la separación entre tránsito en el mismo sentido y la demarcación de borde de calzada, pasos peatonales y espacios de estacionamiento. Las flechas, símbolos y letras serán de color blanco.

Cuando se requiera dar contraste a las líneas blancas o amarillas podrán emplearse líneas negras adyacentes a ellas y de ancho igual a la mitad del ancho de la línea, excepto para marcas viales en donde se implementarán líneas negras que sobresalgan 5 cm.

Los colores están definidos por las coordenadas cromáticas del Sistema Normalizado CIE 1931, con valores definidos en la Tabla 3.3.1_4.

Tabla 3.3.1_4. COORDENADAS CROMÁTICAS PARA DEMARCACIONES PLANAS

COLOR	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
BLANCO	0,355	0,355	0,305	0,305	0,285	0,325	0,335	0,375
AMARI- LLO	0,494	0,427	0,545	0,455	0,465	0,535	0,427	0,483

- **Demarcaciones elevadas**

Las demarcaciones elevadas (tachas y otros elementos pintados) pueden ser blancas, amarillas o rojas, debiendo coincidir el color de la superficie o lámina retroreflectante con el del cuerpo del elemento que la contiene, con la excepción de las tachas bicolor. Se utiliza el blanco para indicar líneas que pueden ser traspasadas, el amarillo para señalar líneas que no pueden ser traspasadas.

- **Contraste con el pavimento**

Para garantizar una adecuada visibilidad diurna de una demarcación se requiere que ésta se destaque de la superficie de la vía, para lo cual, se define una relación de contraste mínima entre la demarcación y el pavimento. Con frecuencia el color original del pavimento tiende a cambiar con el tiempo, por el desgaste de la superficie y en el caso de pavimentos de asfalto, por el envejecimiento del ligante. De hecho, los pavimentos de mezcla asfáltica tienden, con el tiempo, a cambiar de color negro a gris.

La relación de contraste mínima R_c es 1,7, donde:

$$R_c = (\beta_{\text{demarcación}} - \beta_{\text{pavimento}}) / \beta_{\text{pavimento}}$$

Donde β corresponde al factor de luminancia. Este factor, se determinará mediante equipos especiales (espectrofotómetro, integrador, colorímetro triestímulo, prensa mecánica para polvo).

Los valores mínimos correspondientes al factor de luminancia para la pintura de demarcación son:

Pintura blanca $\beta = 0,40$

Pintura amarilla $\beta = 0,20$

Para lograr el contraste entre la demarcación y el pavimento, existe la alternativa de aplicar color negro como fondo de la demarcación, el cual deberá exceder el ancho de la demarcación en al menos 5 cm. en todas las direcciones.

3.3.1.1.5. RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

Al igual que la capa de rodadura, la demarcación plana debe presentar una resistencia al deslizamiento suficiente para que los vehículos circulen sobre la misma sin riesgo. Esta condición está directamente relacionada con su coeficiente de rozamiento, ya que la resistencia al deslizamiento es producto de ese coeficiente por la fuerza normal que ejerce el vehículo al pasar sobre la demarcación.

Considerando lo anterior, el coeficiente de rozamiento de las demarcaciones planas debe ser mayor o igual a 0,45, según mediciones con el Péndulo Británico (TRRL).

SECCION 3.3.1.2.

CLASIFICACIÓN DE SEÑALES HORIZONTALES

De acuerdo con la función que cumplen, las señales horizontales se clasifican en:

- Marcas Longitudinales
- Marcas Transversales
- Marcas Especiales

3.3.1.2.1. MARCAS LONGITUDINALES



Son franjas de un ancho mínimo de 0,1m a 0,3 m impresas en material reflectivo a lo largo de la calzada, en forma continua o no, que tienen los significados siguientes:

A. TRAZOS CONTINUOS Y DISCONTINUOS (SIGNIFICADO)

- **Línea Continua**

Independientemente de su color amarillo o blanco, indica que no debe ser traspasada ni circular sobre ella.

- **Doble Línea Continua**

Refuerza el concepto de las anteriores y establece una separación mínima entre ambos sentidos de circulación.

- **Líneas Discontinuas**

Indican la posibilidad de ser traspasadas.

- **Líneas Continuas y Discontinuas Paralelas**

Indican la licencia de traspasar en el sentido de la discontinua a la continua y la prohibición de hacerlo de la continua a la discontinua.

B. LÍNEAS CENTRALES

Se emplearán estas líneas de color amarillo, para indicar el eje de una calzada con tránsito bidireccional y de color blanco para separar carriles de tránsito, en el mismo sentido.

C. LÍNEAS DE BORDE DE PAVIMENTO

Esta línea separa la banquina del carril de circulación, indicando el borde exterior del pavimento. En todas las vías, urbanas y rurales que no cuenten con cordones y en las vías de jerarquía superior, se debe delimitar el borde de pavimento para impedir el tránsito de vehículos por la banquina y especialmente en la aproximación a intersecciones, cruces, puentes angostos, pe-rímetros urbanos, etc.

Una línea de borde de pavimento de color amarillo a la izquierda de la calzada, en vías con se-parador, indica la finalización de circulación en ese sentido.

D. LÍNEAS DE CARRIL

Estas líneas servirán para delimitar los carriles que conducen el tránsito en la misma dirección.

También cumplen la función de incrementar la eficiencia del uso de una calle en sitios donde se presentan congestiones.

E. LÍNEAS DE SEPARACIÓN DE RAMPAS DE ENTRADA O DE SALIDA

Tienen por objeto hacer la separación entre el carril de circulación de una vía de alta velocidad y la rampa de entrada o de salida, donde existen carriles de aceleración o desaceleración para los vehículos.

F. DEMARCACIÓN DE ZONA DE ADELANTAMIENTO PROHIBIDO

Estas demarcaciones sirven para delimitar longitudinalmente las zonas en las cuales el adelan-tamiento está prohibido en uno u otro sentido o en ambos a la vez, lo que se indicará por las características especiales de la demarcación central.

G. DEMARCACIÓN DE BANQUINAS PAVIMENTADAS

Estas demarcaciones deberán hacerse cuando el ancho de las banquetas es superior a 3 m y no existe contraste entre la banquina y la calzada, con el fin de que la banquina no se confunda con un carril adicional.

H. DEMARCACIÓN DE CANALIZACIÓN

Las demarcaciones de canalización se harán con líneas blancas continuas de 15 cm de ancho, como mínimo. Esta línea, por su anchura, es un valioso medio de regulación del tránsito, para canalizarlo o encarrilarlo y disminuir los cambios de carril.

I. DEMARCACIÓN DE TRANSICIONES EN EL ANCHO DEL PAVIMENTO

Esta demarcación se usará en zonas en donde el ancho del pavimento esté en transición y se reduce el número de carriles. Se hará con una línea continua, blanca o amarilla según los sen-tidos de circulación.

J. DEMARCACIÓN DE APROXIMACIÓN A OBSTÁCULOS

Los obstáculos dentro de la vía constituyen peligros que deben suprimirse siempre que sea posible. Cuando no se puedan eliminar, debe hacerse todo lo posible para advertir su presencia a los conductores de los vehículos. La demarcación sobre el pavimento deberá usarse para complementar las señales verticales y para guiar el tránsito al aproximarse éste a una obstrucción fija dentro de la vía. La demarcación de aproximación a obstáculos se empleará solamente para complementar la demarcación adecuada sobre la misma obstrucción.

K. DEMARCACIÓN DE APROXIMACIÓN A PASOS A NIVEL

Se demarcarán todos los pasos a nivel de una calle o carretera. Las demarcaciones se harán con líneas amarillas longitudinales, líneas blancas transversales y con la letra "X", acompañada de las letras "F" y "C", una a cada lado de dicha "X", para cada carril del cruce, en el sentido de circulación del tránsito.

L. DEMARCACIÓN DE LÍNEAS DE ESTACIONAMIENTO

Las demarcaciones que limitan los espacios para estacionamiento de vehículos se harán con líneas blancas de 10 cm de ancho, como mínimo. Se utilizarán de la forma más eficiente y ordenada posible los espacios de estacionamiento, evitando invadir las paradas de transporte público, las zonas comerciales, las rampas para discapacitados y las proximidades a las esquinas.

M. DEMARCACIÓN DE USO DE CARRIL

Esta demarcación se hará a la entrada a intersecciones para indicar al usuario la manera correcta de entrar, previéndole los giros derechos o izquierdos e indicándole el sitio en donde debe efectuarlos y se hará con leyendas y flechas de color blanco, que complementan las señales verticales.

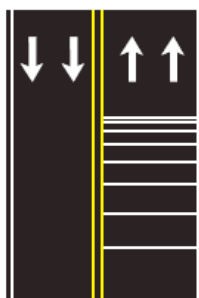
N. DEMARCACIÓN DE PARADAS DE ÓMNIBUS

Esta demarcación tiene por objeto delimitar un área de detención para la parada de ómnibus. El largo de las dimensiones dependerá de la demanda de ómnibus por hora a que esté sometida la parada. Su color será blanco.

O. DEMARCACIÓN DE CARRILES DE CONTRA FLUJO

Al tratarse de un carril exclusivo con circulación en contraflujo a la permitida en la vía, la señalización deberá ser más repetitiva y clara, debido al peligro que representa para el tránsito normal de la vía.

3.3.1.2.2. MARCAS TRANSVERSALES



Son franjas de un ancho de 0,3 m a 0,6 m que atraviesan la calzada.

A. DEMARCACIÓN DE LÍNEAS DE PARE

Esta demarcación deberá usarse en zonas urbanas y rurales para indicar el sitio de parada de vehículos anterior a una señal de tránsito o un semáforo, que reglamenta su detención antes de entrar a una intersección. Su color será blanco.

B. DEMARCACIÓN DE PASOS PEATONALES

Esta demarcación se empleará para indicar la trayectoria que deben seguir los peatones al atravesar una calzada de tránsito. Estas marcas serán de color blanco.

C. DEMARCACIÓN DE CEDA EL PASO

Esta demarcación deberá usarse en vías urbanas o rurales de alta velocidad, para complementar la señal vertical respectiva.

D. LÍNEAS ANTIBLOQUEO

Tienen por objeto notificar a los conductores la prohibición de obstruir en una intersección, aún cuando el semáforo se lo permita o gocen de prioridad, si la situación de la circulación es tal, que previsiblemente puedan quedar detenidos de forma que impidan u obstruyan la circulación transversal.

E. FLECHAS

Son marcas en el pavimento con forma de flechas que indican los sentidos de circulación del tránsito y se utilizarán como señal de reglamentación para el conductor.

F. LEYENDAS

Son marcas en el pavimento con leyendas que indican o confirman al conductor ciertas restricciones mostradas en la señalización vertical. Sirven de refuerzo a la señalización vertical.

G. SÍMBOLOS

Son pictogramas en el pavimento con formas que indican al conductor la existencia de zonas o sitios con restricciones especiales (paso de minusválidos, ciclovías, pasos peatonales, etc.).

3.3.1.2.3. MARCAS ESPECIALES



A. CORDONES DE VEREDAS Y ENCAUZADORES DE TRÁNSITO

Se deberán demarcar los cordones que indiquen riesgo o encauzamientos, con el fin de hacerlos más visibles. Será de gran ayuda para los conductores el pintar los cordones frente a una intersección en “T” o cruces similares. También se podrán pintar los cordones cuando frente a ellos sea prohibido estacionar.

B. DENTRO DE LA VÍA

Se debe evitar todo tipo de obstrucción dentro de la vía, excepto aquellas que son inamovibles como las pilas de puentes e islas necesarias para encauzar el tránsito.

C. ADYACENTE A LA VÍA

Se señalarán todos los objetos adyacentes a la vía que en cualquier forma interfieran la visibilidad de los usuarios o que constituyan un riesgo para la conducción nocturna.

SECCION 3.3.1.3. | DISEÑO DE LA SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL

En esta sección se hace referencia a las características y diseños que deben cumplir los materiales utilizados para la señalización de vías.

3.3.1.3.1. MARCAS LONGITUDINALES

A. LÍNEAS CENTRALES

Se emplearán estas líneas de color amarillo, para indicar el eje de una calzada con tránsito en los dos sentidos y de color blanco para separar carriles de tránsito, en el mismo sentido (ver figura 3.3.1_2). En circunstancias especiales esta línea puede no estar en el centro geométrico de la calzada, como es el caso de transiciones en el ancho del pavimento, cuando hay un carril adicional para marcha lenta, en la entrada a túneles o puentes angostos, etc.

Las líneas centrales deben usarse en los siguientes casos:

- En vías rurales de dos sentidos, con ancho de pavimento de 5,50 m o más,
- En vías secundarias o de jerarquía superior, dentro del perímetro urbano de las poblaciones,
- En todas las calles o carreteras de cuatro o más carriles,
- En autopistas, carreteras principales y secundarias, y
- En todas las vías en donde un estudio de ingeniería de tránsito así lo aconseje.

Las líneas centrales estarán conformadas por una línea segmentada de 12 cm de ancho, como mínimo, con una relación de longitudes entre segmento y espacio de tres (3) a cinco (5). Tendrán las siguientes dimensiones:

- En vías rurales:
 - Longitud del segmento pintado 4,50 m.
 - Longitud del espacio sin pintar 7,50 m.
- En vías urbanas:
 - Longitud del segmento pintado 3,00 m.
 - Longitud del espacio sin pintar 5,00 m.

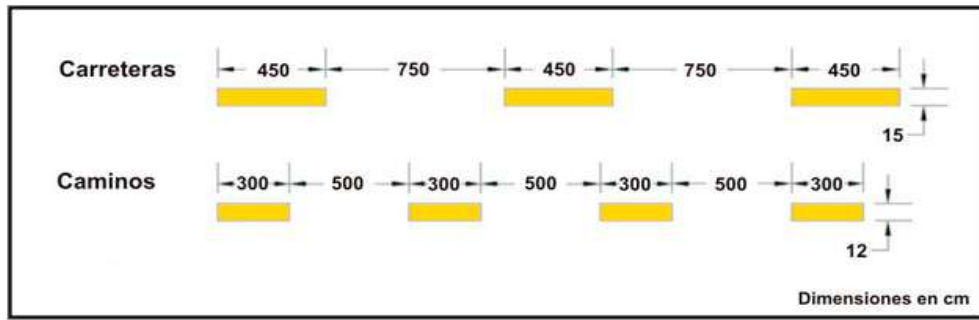


Figura 3.3.1_2. Detalle de espesores y distancias

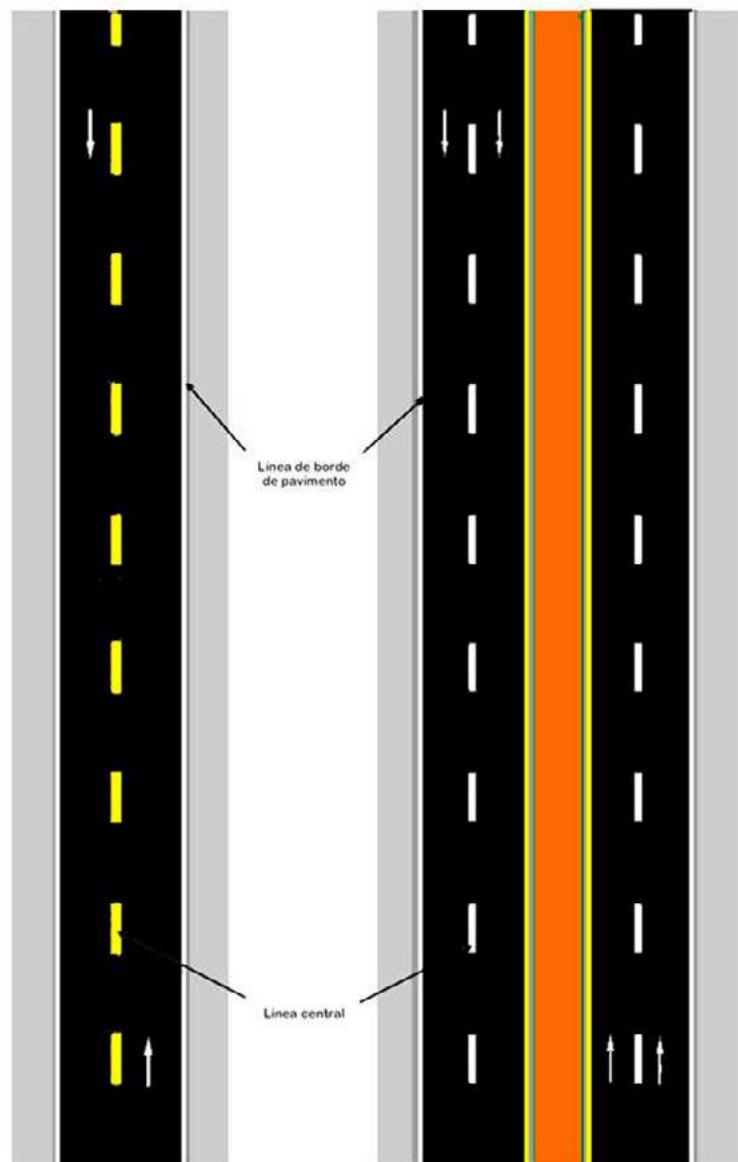


Figura 3.3.1_3. Disposición general

B. DEMARCACIÓN DE ZONAS DE ADELANTAMIENTO PROHIBIDO

- En perfil: La altura del ojo del conductor y del vehículo que se acerca, se mide a 1,20 m de la superficie del pavimento.
- En planta: La visual de los conductores se ubica a 0,50 m a la derecha de la línea de eje de la vía, en cada sentido de circulación

La distancia mínima de visibilidad de adelantamiento y la longitud mínima de la línea de prohibido adelantamiento se calcularán de acuerdo con la velocidad de operación, teniendo en cuenta lo establecido en la Tabla 3.3.1_5. Ver Figura 3.3.1_3

Tabla 3.3.1_5. DIMENSIONES DISTANCIAS MÍNIMAS DE VISIBILIDAD PARA DEMARCACIÓN DE ZONAS DE ADELANTAMIENTO PROHIBIDO

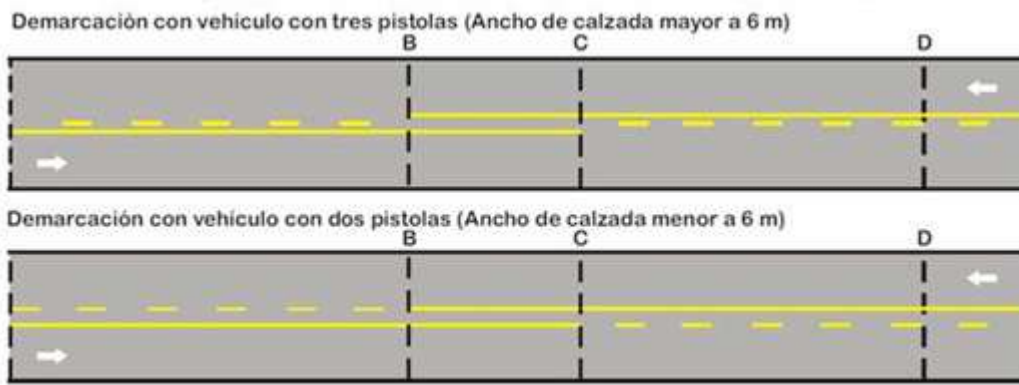
VELOCIDAD (Km/h)	DISTANCIA MÍNIMA DE VISIBILIDAD DE ADELANTAMIENTO (m)	LONGITUD MÍNIMA DE ADELANTAMIENTO PROHIBIDO (m)
40	140,00	35,00
50	150,00	40,00
60	170,00	45,00
70	210,00	55,00
80	240,00	60,00
100	324,00	80,00
120	400,00	100,00

Cuando la distancia en la cual podría ser permitido adelantar, medida entre los extremos de zonas de adelantamiento prohibido es igual o menor que la distancia de visibilidad de adelantamiento a la velocidad directriz del sector, se debe prohibir el adelantamiento. El resultado del chequeo será:

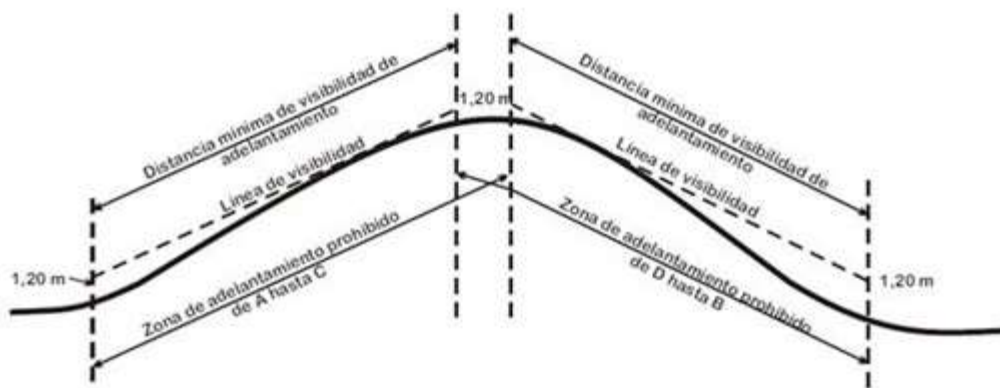
- Una línea continua amarilla de 12 cm de ancho como mínimo, cuando esté prohibido pasar de un carril a otro. Cuando la situación sea simultánea en ambos sentidos de circulación, no se demarca la línea discontinua.
- Dos líneas continuas amarillas de 10 cm de ancho como mínimo, separadas por un espacio mínimo de 8 cm, cuando esté prohibido pasar de un carril a otro de sentido contrario. En el caso de utilizarse también tachas reflectivas, la separación entre líneas será suficiente para contener las tachas. Ver Figura 3.3.1_5.
- Dos líneas amarillas paralelas de 10 cm de ancho como mínimo, separadas por un espacio de aproximadamente 8 cm, una continua y otra segmentada o las dos continuas, para indicar la prohibición de adelantamiento a los vehículos que transitan en el carril adyacente a la línea continua, cuando se empleen equipos de demarcación de dos pistolas.

Cuando se utilicen equipos de tres pistolas, las dos líneas continuas estarán separadas 28 cm, como mínimo.

Nota: Podrá utilizarse una sola línea continua en vías con ancho de calzada inferior a 5,60 m, cuando en el diseño se presenten dos líneas continuas para indicar zonas de prohibido adelantamiento para ambos sentidos de circulación.



3.3.1_4 a) CURVA VERTICAL



3.3.1_4 B) CURVA HORIZONTAL

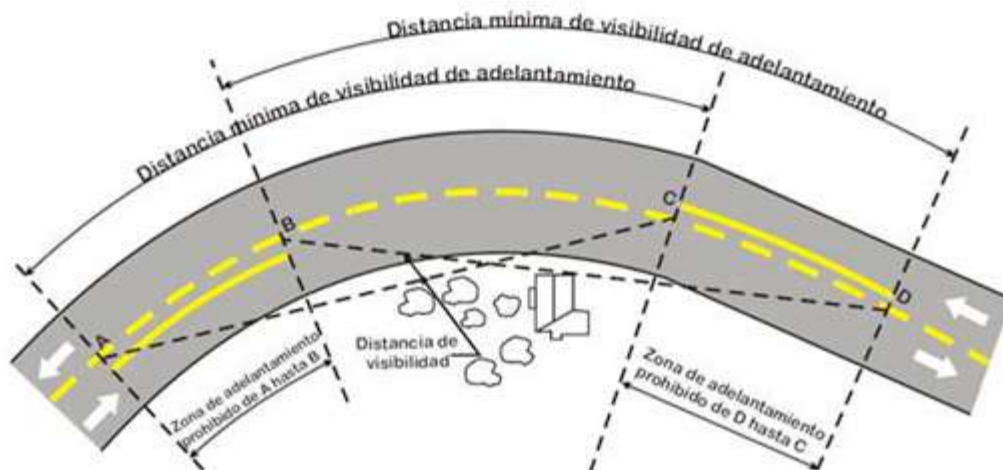


Figura 3.3.1_4. DEMARCACIÓN DE ZONAS DE ADELANTAMIENTO PROHIBIDO

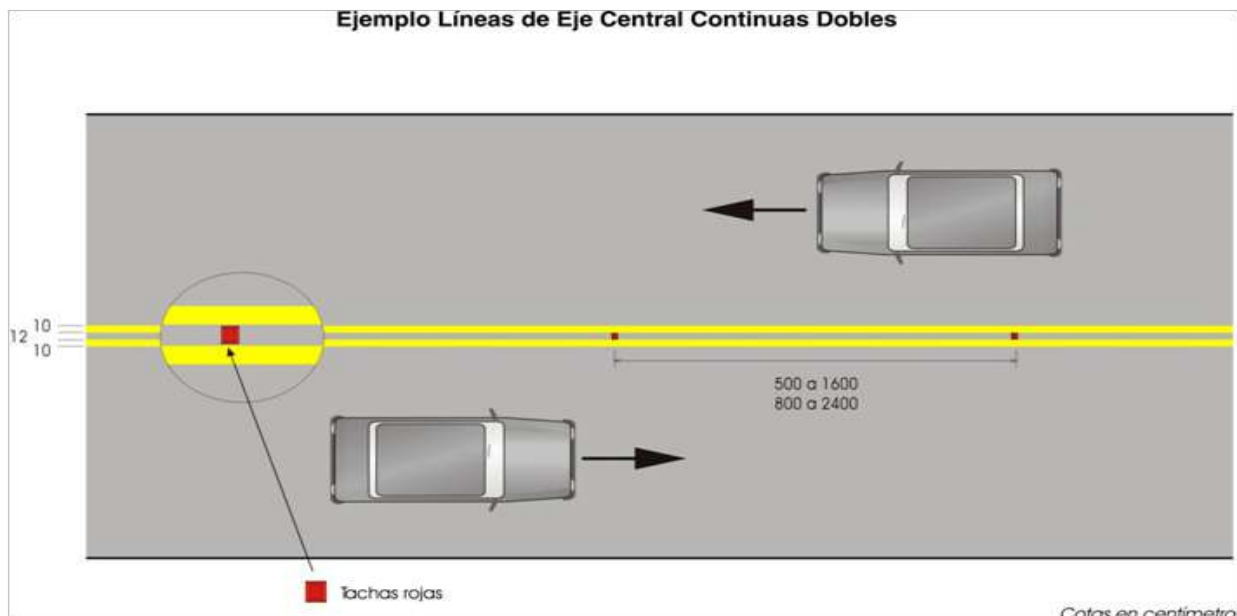


Figura 3.3.1_5. EJEMPLO DE LÍNEAS CONTINUAS PARALELAS

- **Criterios para el diseño de líneas en zonas de no adelantamiento**

Las zonas de No Adelantar deben ser identificadas y definidas cuidadosa y adecuadamente conforme a los criterios especificados a continuación, además de los lugares en que exista una distancia de visibilidad de adelantamiento menor a la distancia de adelantamiento mínima.

Esta última distancia es la necesaria para que el vehículo abandone su pista, pase al vehículo que lo precede y retome su pista en forma segura, sin afectar la velocidad del vehículo que está adelantado, ni la de otro que se desplace en sentido contrario por la pista utilizada para el adelantamiento.

En los siguientes sectores de una vía se prohíbe adelantar, y por tanto debe considerarse una línea continua:

- Banquinas.
- Curvas horizontales sin visibilidad.
- Puentes bidireccionales.
- Pasos a nivel bidireccionales.
- Cruces no regulados.
- Cima de una cuesta (curvas verticales).

Dado que la maniobra de adelantamiento es la de mayor riesgo al conducir, las zonas de NO ADELANTAR deben ser definidas cuidadosamente conforme a los criterios especificados a continuación.

Tratándose de curvas verticales la distancia de visibilidad de adelantamiento es la máxima distancia a lo largo de la cual un objeto que se encuentra 1,20 m por encima de la superficie del pavimento puede ser visto desde un punto, también a 1,20 m por encima del pavimento. Ver figura 3.3.1_4 a).

La distancia de visibilidad de adelantamiento en una curva horizontal es aquella que se mide a lo largo del centro de la pista más a la derecha en el sentido de circulación, entre dos puntos que se encuentran 1,10 m sobre la superficie del pavimento, en la línea tangencial al radio interno u otra obstrucción que recorte la visibilidad dentro de la curva. Ver Figura 3.3.1_4 (b).

En la Tabla 3.3.1_6 se especifican las distancias de adelantamiento mínima según la velocidad máxima permitida en la vía.

Tabla 3.3.1_6. DISTANCIA MÍNIMA DE ADELANTAMIENTO

VELOCIDAD MÁXIMA (km/h)	DISTANCIA MÍNIMA DE ADELANTAMIENTO (m)
30	80
40	110
50	140
60	180
70	240
80	290
90	350
100	430

Una zona de NO ADELANTAR se justifica donde la distancia de visibilidad de adelantamiento es menor que la distancia de adelantamiento mínima señalada en la tabla anterior. Así por ejemplo, en vías con velocidad máxima de 90 km/hr, se debe prohibir el adelantamiento en todos aquellos tramos en que la distancia de visibilidad de adelantamiento sea menor a 350 m.

Las zonas de NO ADELANTAR deben ser indicadas mediante demarcación y señales verticales; la primera se extiende a lo largo de todo el tramo en que rige la prohibición y las segundas se instalan donde se inicia la restricción, como se señala en el Capítulo 103 de esta Guía.

Por razones de seguridad, en ningún caso la extensión de un tramo con prohibición de adelantar debe ser inferior a 150 m. Cuando dicha distancia resulta menor, la demarcación continua faltante debe agregarse al inicio de la zona para completar 150 m.

De igual manera, entre dos zonas de adelantamiento prohibido deben existir a lo menos 120 m que lo permitan; si esta distancia resulta menor se debe prolongar la línea doble continua, uniendo ambas zonas.

C. LÍNEAS DE BORDE DE PAVIMENTO

Las líneas de borde de pavimento serán de color blanco. En caso de vías con varios carriles de un solo dentado, las líneas del borde de pavimento que es adyacente al separador central, deberán ser de color amarillo. Ver figura 3.3.1_6

Podrán demarcarse líneas de borde de pavimento de color azul en las aproximaciones a hospitales, clínicas y centros de atención médica. Dichas líneas se pintarán en las vías que conduzcan a tales sitios, desde una distancia de 500 m o mayor. En los casos en que se prefiera mantener la línea de borde de pavimento de color blanco, se instalarán tachas reflectivas bidireccionales de color azul, separadas entre sí 3 m.

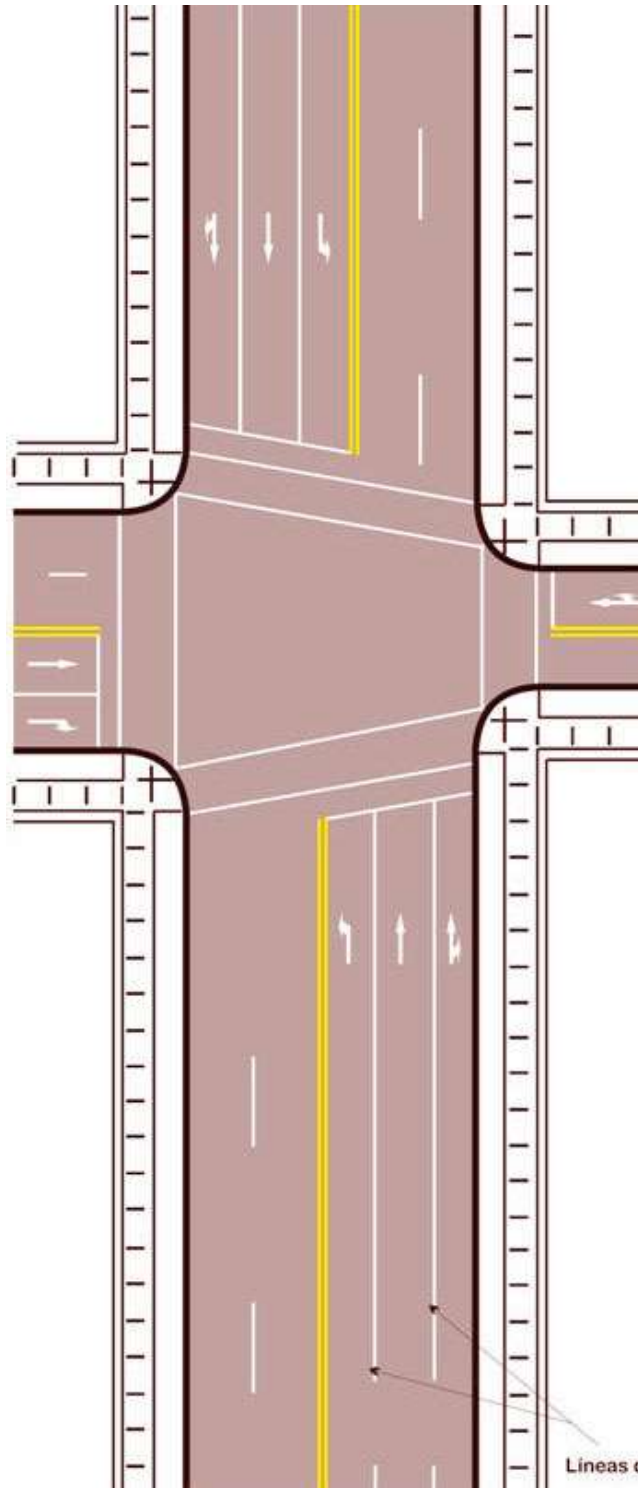


Figura 3.3.1_6. LÍNEAS DE BORDE EN EL PAVIMENTO

D. LÍNEAS DE CARRIL

Se usará una línea blanca segmentada de 12 cm de ancho, como mínimo, con relación de longitudes entre segmento y espacio de tres (3) a cinco (5), conforme a las siguientes dimensiones:

➤ En vías rurales:

Longitud del segmento pintado 4,50 m.

Longitud del espacio sin pintar 7,50 m.

➤ En vías urbanas:

Longitud del segmento pintado 3,00 m.

Longitud del espacio sin pintar 5,00 m.

Cuando el cambio de carril puede acarrear un riesgo, si no se efectúa con precaución, se usará una línea blanca continua de 12 cm de ancho, como mínimo. Ver Figura 3.3.1_7.

- **Línea blanca segmentada**

Las líneas blancas segmentadas se dispondrán en tramos de una vía, donde se permite reglamentariamente la maniobra de cambio de pista, desde una pista normal de circulación a otra también de circulación normal.

Dependiendo de la categoría de la vía en cuestión, la relación entre longitudes de los segmentos demarcados, brechas de separación y anchos de segmentos, deberán cumplir con lo indicado en la Tabla 3.3.1_7.

Tabla 3.3.1_7. RELACIÓN DEMARCACIÓN / ESPACIO SIN PINTAR EN LÍNEA BLANCA SEGMENTADA

VELOCIDAD MÍNIMA DE LA VÍA (km/h)	PATRÓN (m)	RELACIÓN DEMARCACIÓN / LONGITUD SIN PINTAR
Mayor a 80	12	1 a 3
Menor o igual a 80	8	3 a 5

Por ejemplo, para una vía con velocidad máxima inferior a 60 km/hr se debe usar un patrón de 8 m y una relación 3 a 5, lo que se traduce en líneas de 3 m demarcadas seguidas de 5 m sin demarcar.

La demarcación elevada (tachas) debe ser de color blanco e instalarse centrada en todos los espacios sin pintar o espacio no pintado por medio. Ver Figura 3.3.1_7

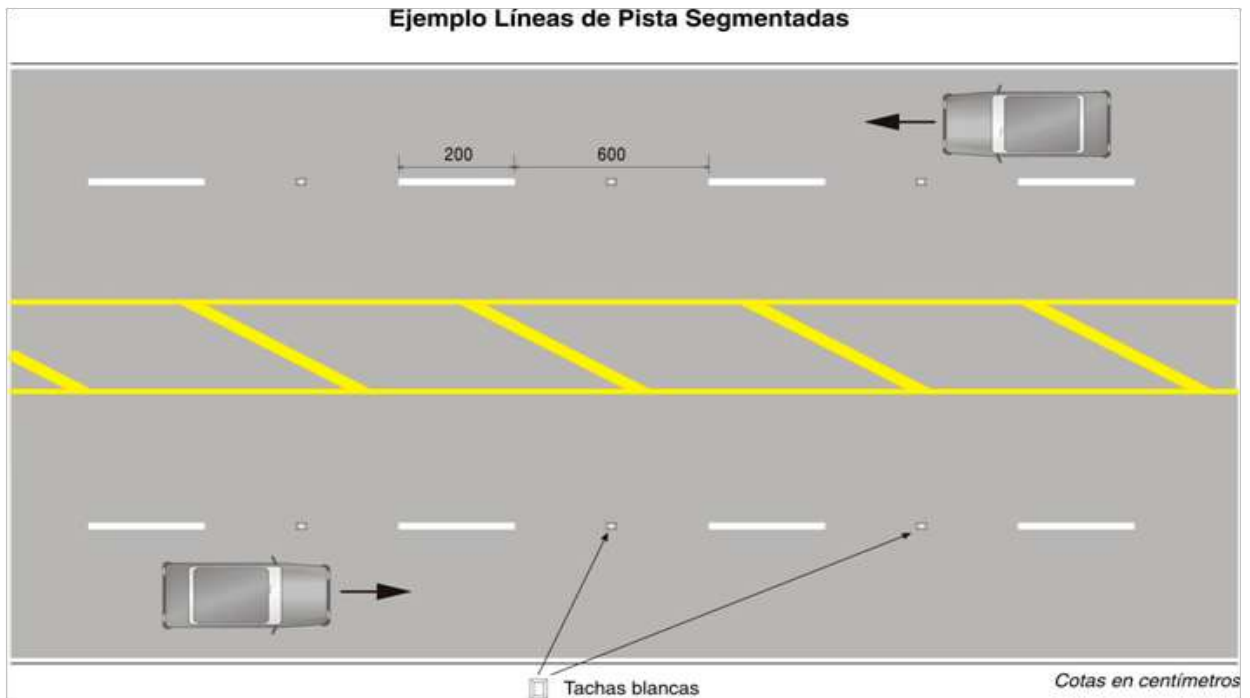


Figura 3.3.1_7. EJEMPLO DE LÍNEAS BLANCAS SEGMENTADAS

20

- **Líneas segmentadas especiales**

- **Líneas de separación de rampas de entrada o de salida**

Estas líneas serán de color blanco, intermitentes con tramos de un metro (1,0 m), separadas un metro (1,0 m) y con un ancho mínimo de 0,15 m (vías Secundarias y Terciarias) o con tramos de un metro (1,0 m), separadas dos metros (2,0 m) y con un ancho mínimo de 0,20 m (vías Primarias). Ver Figuras 3.3.1_8, 3.3.1_9, 3.3.1_10.

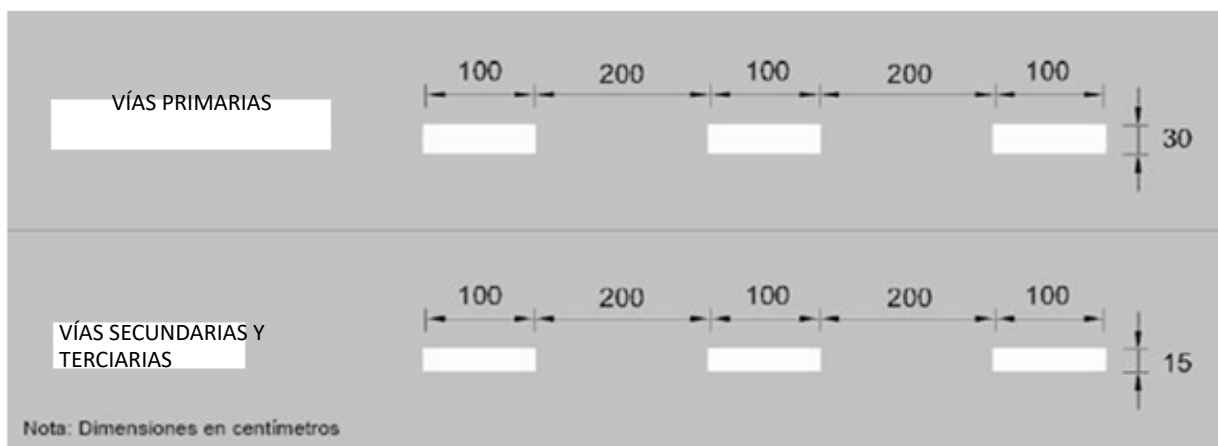


Figura 3.3.1_8. RELACIONES DE DEMARCACIÓN EN RAMPAS DE ENTRADA O DE SALIDA

Figura 3.3 Líneas de separación de rampas de entrada o salida

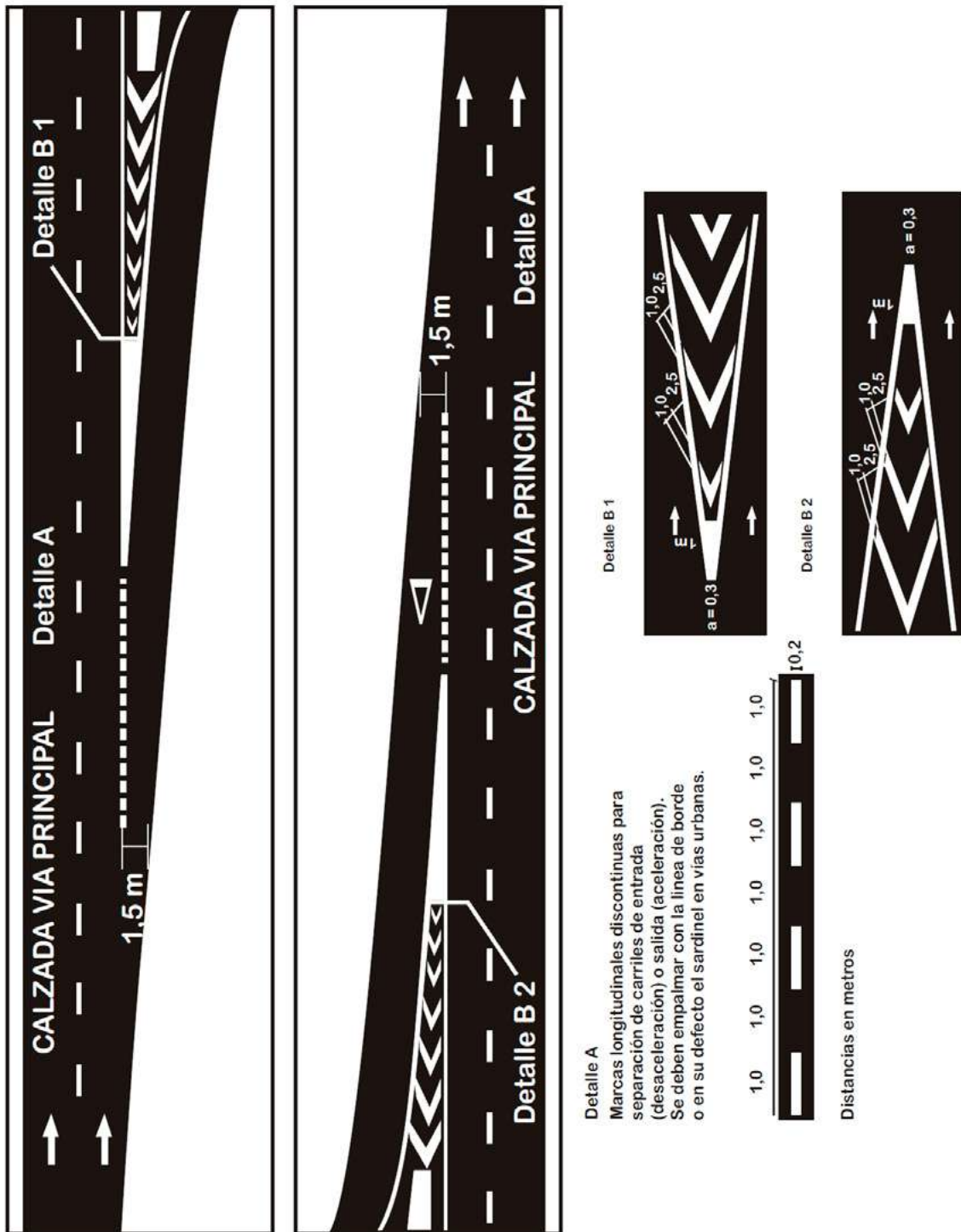
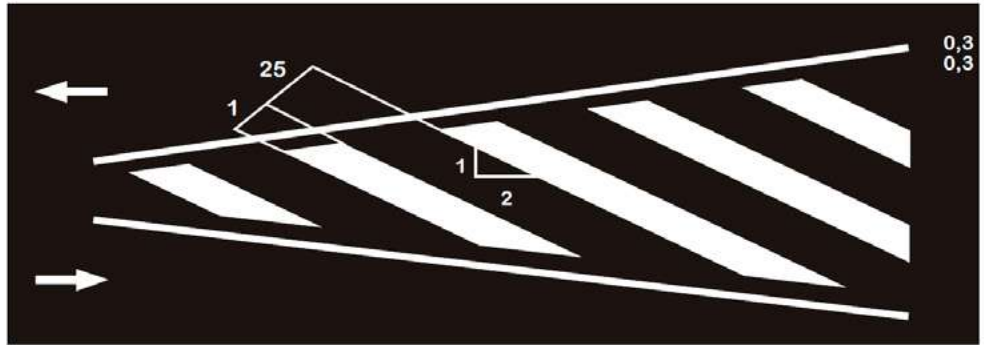


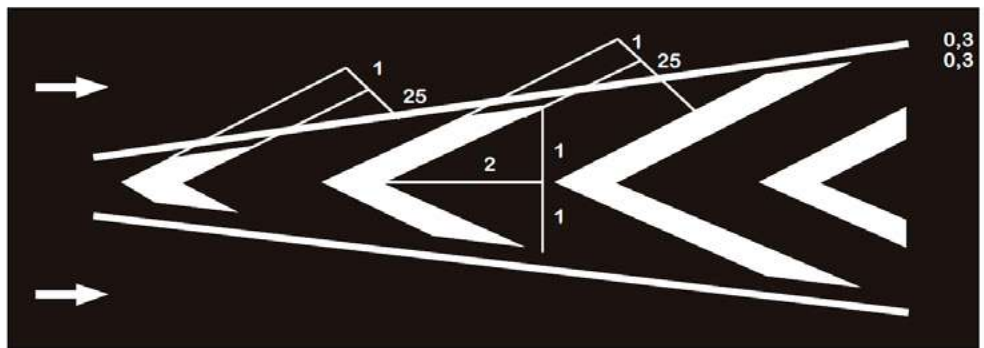
Figura 3.3.1_9. LÍNEAS DE SEPARACIÓN DE RAMPAS DE ENTRADA O DE SALIDA (VISTA GENERAL)

Figura 3.4 Demarcación de rampas de entrada o salida

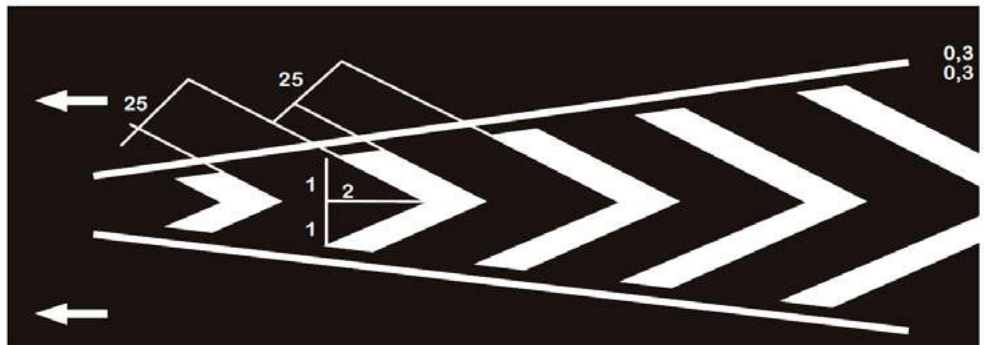
Circulación en
doble sentido



Divergente



Convergente



OBSERVACIONES: Las franjas oblicuas deberán ser aproximadamente perpendiculares a la dirección del movimiento prohibido.

Figura 3.3.1_10. LÍNEAS DE SEPARACIÓN DE RAMPAS DE ENTRADA O DE SALIDA (DETALLES)

- **Pistas auxiliares de tránsito lento**

Estas líneas sirven para separar la pista reservada al tránsito de determinados vehículos que circulan con velocidades menores a la máxima de diseño.

En el tramo donde se incorpora la pista especial, será necesario demarcar en la calzada, flechas rectas que indiquen el sentido del tránsito. Los anchos y la relación entre las longitudes de los segmentos demarcados y los espacios sin pintar de separación, deberán cumplir con lo indicado en Tabla 3.3.1_7.

- **Línea segmentada de borde de calzada**

Las líneas segmentadas de borde de calzada, deben ser empleadas en lugares de emplazamiento de accesos particulares y para delimitar ensanchamientos de calzada destinadas al estacionamiento o detención de vehículos. La relación entre las longitudes de los segmento demarcados y de las brechas de separación y anchos deberán cumplir con lo indicado en Tabla 3.3.1_7.

• **Línea blanca continua**

La línea continua sobre la calzada significa que ningún conductor con su vehículo debe atravesarla ni circular sobre ella.

La línea continua se utiliza para:

- Demarcar la separación de carriles.

Para un mismo sentido de flujo en donde no es permitida la maniobra de adelantamiento. Se prohíbe reglamentariamente el cambio de pistas en cruces, disponiéndose líneas de pistas continuas, en cruces controlados por las señales estáticas “CEDA EL PASO” o “PARE” y en cruces controlados por señales dinámicas “SEMÁFORO”, en una longitud de 20 metros medidos desde la línea de detención. Ver Figura 3.3.1_6.

- Demarcar el borde derecho de la calzada.

Estas líneas indican a los conductores, especialmente en condiciones de visibilidad reducida, dónde se encuentra el borde de la calzada, lo que les permite posicionarse correctamente sobre ésta.

Estas demarcaciones son la única orientación para un conductor cuando es encandilado por un vehículo que transita en el sentido contrario, de allí la importancia que presenta en caminos y carreteras bidireccionales.

En áreas urbanas, cuando las características geométricas de la vía generan condiciones de riesgo, como por ejemplo: curvas cerradas, variaciones de ancho de calzada o cuando no existe iluminación apropiada, estas líneas presentan una gran utilidad para el conductor, por lo tanto deben ser consideradas en el diseño.

Estas líneas deberán disponerse de los anchos indicados en el esquema siguiente, en función del tipo de vía. Para velocidades menores a 60 km/h, el ancho de la línea continua será de 12 cm. Para rutas con velocidades mayores, su ancho será de 15 cm.

E. DEMARCACIÓN DE BANQUINAS PAVIMENTADAS

Estas demarcaciones deberán hacerse cuando el ancho de las banquetas es superior a 3 m y no existe contraste entre la banquina y el carril de circulación, con el fin de que la banquina no se confunda con un carril adicional.

Se hará con líneas blancas, diagonales a la dirección del eje de la vía, con ancho de 30 cm y espaciamiento de 20 m entre cada una de ellas, formando un ángulo de 45 grados con la línea de borde de pavimento. La demarcación de banquetas pavimentadas exige la presencia de la línea de borde de pavimento. Ver Figura 3.3.1_ 11.

F. DEMARCACIÓN DE CANALIZACIÓN

Las demarcaciones de canalización se harán con líneas blancas continuas de 15 cm de ancho, como mínimo. Esta línea, por su anchura, es un valioso medio de regulación del tránsito, para canalizarlo o encarrilarlo y disminuir los cambios de carril.

Estas demarcaciones se emplearán, así:

- Para indicar refugios en un área pavimentada.
- Para separar carriles exclusivos para giro, de los demás carriles de tránsito.
- Para demarcar rampas de entrada y salida en autopistas.

El uso de esta demarcación se limita a sitios en donde no es necesario emplear una restricción severa en forma de barrera física. Ver figura 3.3.1_12.

La longitud mínima de estas líneas es de 30 m en zona urbana y de 60 m en zona rural.

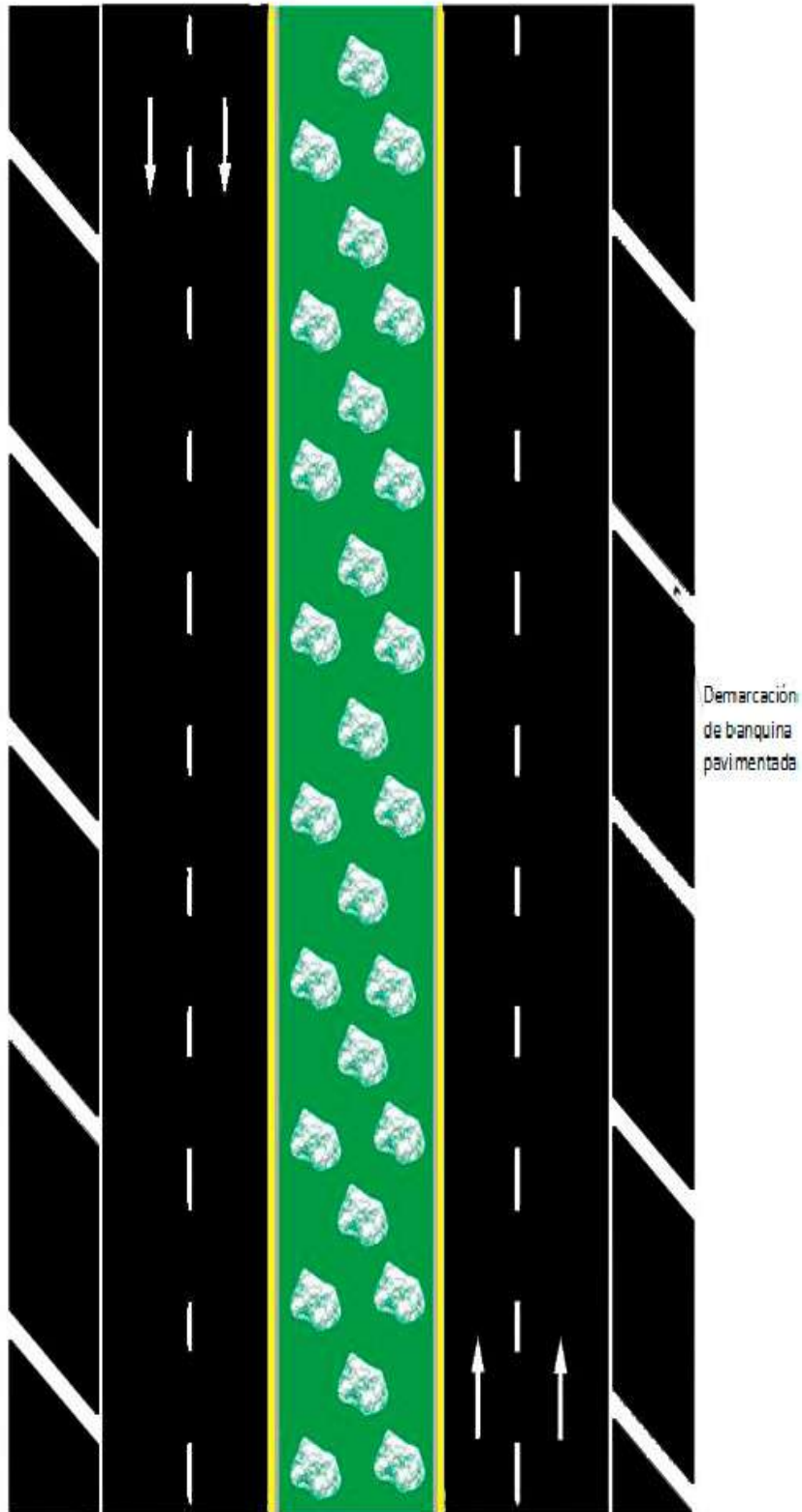


Figura 3.3.1_11. DEMARCACIÓN DE BANQUINAS PAVIMENTADAS

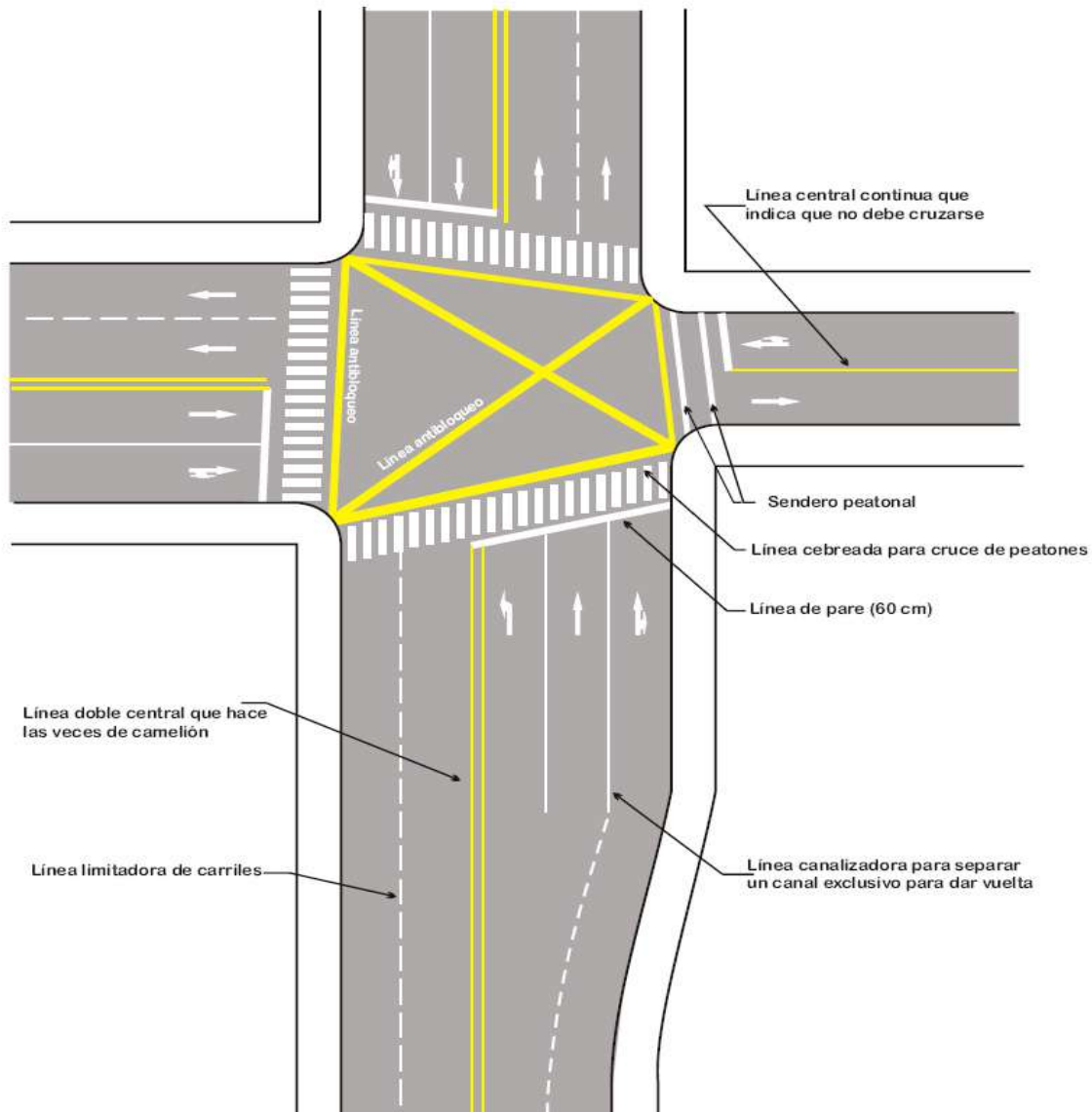


Figura 3.3.1_12. DEMARCACIÓN DE CANALIZACIÓN

G. DEMARCACIÓN DE TRANSICIÓN EN EL ANCHO DEL PAVIMENTO

Esta demarcación se usará en zonas en donde el ancho del pavimento esté en transición y se reduce el número de carriles. Se hará con una línea continua, blanca o amarilla según los sentidos de circulación, de 12 cm de ancho como mínimo.

La longitud de la demarcación estará dada por las expresiones:

Para vías donde $v > 60$ km/h:

$$L = 0,6 AV \approx AV/1,6$$

Para vías donde $v \leq 60$ km/h:

$$L = AV^2/155$$

Donde:

L = Longitud de la transición en metros. En todo caso, $L \geq 10$ m.

A = Diferencia del ancho de calzada entre los extremos de la zona de transición, en metros.

V = Velocidad del 85% de los usuarios, determinada mediante un estudio de ingeniería de tránsito, o en su defecto la velocidad máxima de diseño en kilómetros por hora.

La Tabla 3.3.1_8 muestra los valores calculados de la longitud de transición sobre la base de las expresiones anteriores.

Tabla 3.3.1_8. LONGITUD MÍNIMA DE LA ZONA DE TRANSICIÓN

A (m)	VELOCIDAD (km/h) ^(*)								
	≤ 40	50	60	70	80	90	100	110	120
0,5	10	10	20	25	25	30	35	35	40
1,0	15	20	40	45	50	60	65	70	75
1,5	20	25	60	70	75	85	95	100	110
2,0	25	35	75	90	100	115	125	135	145
2,5	30	45	95	110	125	145	160	170	180
3,0	35	50	115	135	150	170	190	200	220
3,5	40	60	135	155	175	200	220	240	260

(*) Los valores se han aproximado al múltiplo de cinco inmediatamente superior.

En transiciones de ancho del pavimento no son suficientes las líneas de demarcación por sí mismas para encarrilar el tránsito con seguridad a través de ellas. Deben usarse también señales verticales, líneas de borde y un mínimo de 4 flechas de terminación de carril (ver figuras 3.3.1_13 y 3.3.1_14) en intervalos decrecientes. Las líneas de pista se deben interrumpir más allá de la señal vertical, a un cuarto de la distancia que separa a la señal del inicio de la transición.

Dado el riesgo que involucran estas transiciones, es conveniente que las líneas de borde de calzada en estas zonas sean lo más anchas posibles, para garantizar su visibilidad en toda circunstancia. También es conveniente reforzarlas con demarcación elevada instalada uniformemente, manteniendo una distancia de 8 m a 12 m entre cada elemento.

H. DEMARCACIÓN DE USO DE CARRIL

Esta demarcación se hará a la entrada a intersecciones para indicar al usuario la manera correcta de entrar, previéndole los giros derechos o izquierdos e indicándole el sitio en donde debe efectuarlos y se hará con leyendas y flechas de color blanco, que complementan las señales verticales, de acuerdo con lo indicado en la Figura 3.3.1_12.

Para las leyendas se utilizará el alfabeto para marcas sobre el pavimento, y para las flechas, las que se recomiendan en el Figura 3.3.1_13.

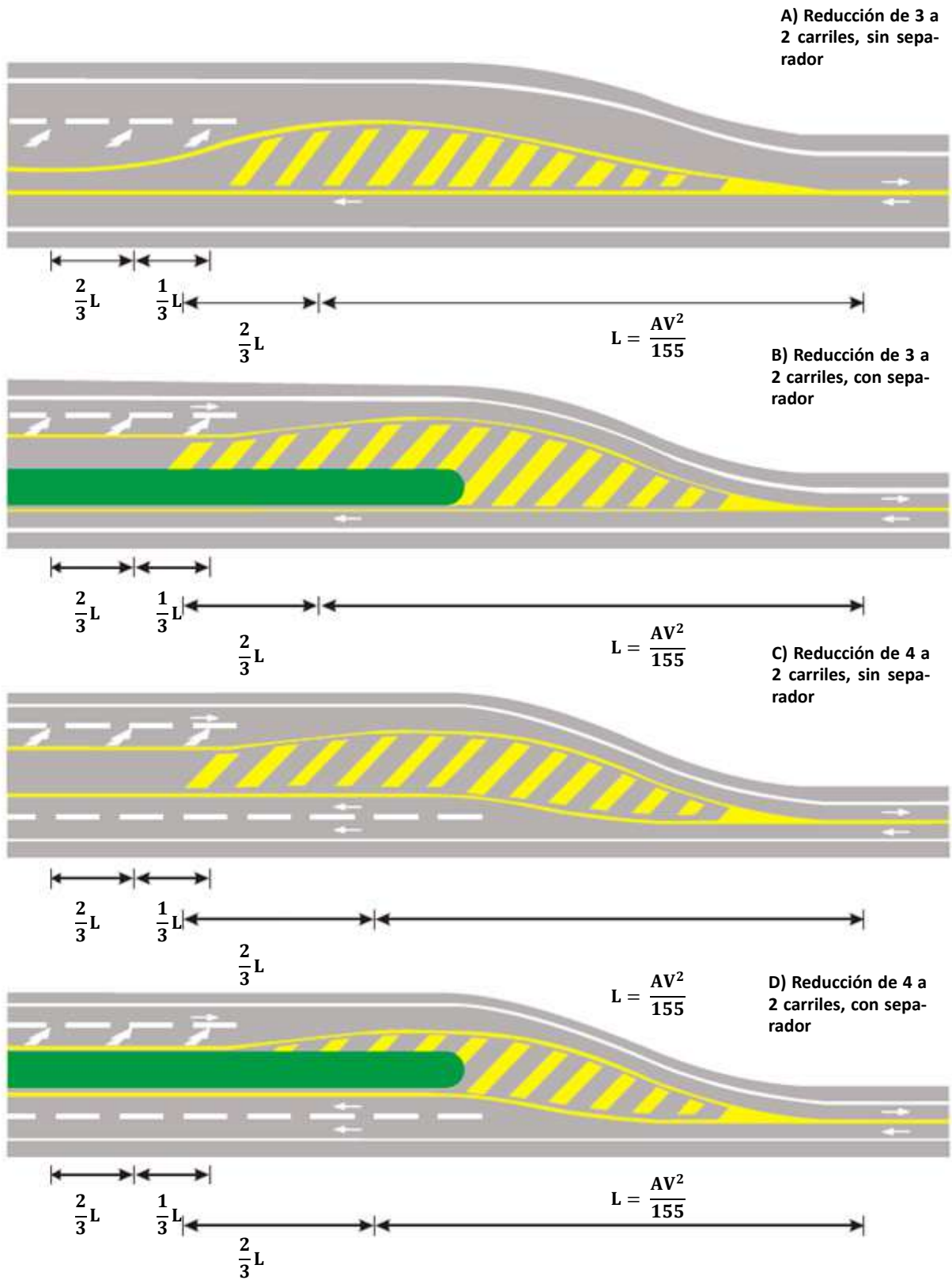


Figura 3.3.1_13. DEMARCACIÓN DE TRANSICIÓN EN EL ANCHO DEL PAVIMENTO (DISPOSICIÓN GENERAL)

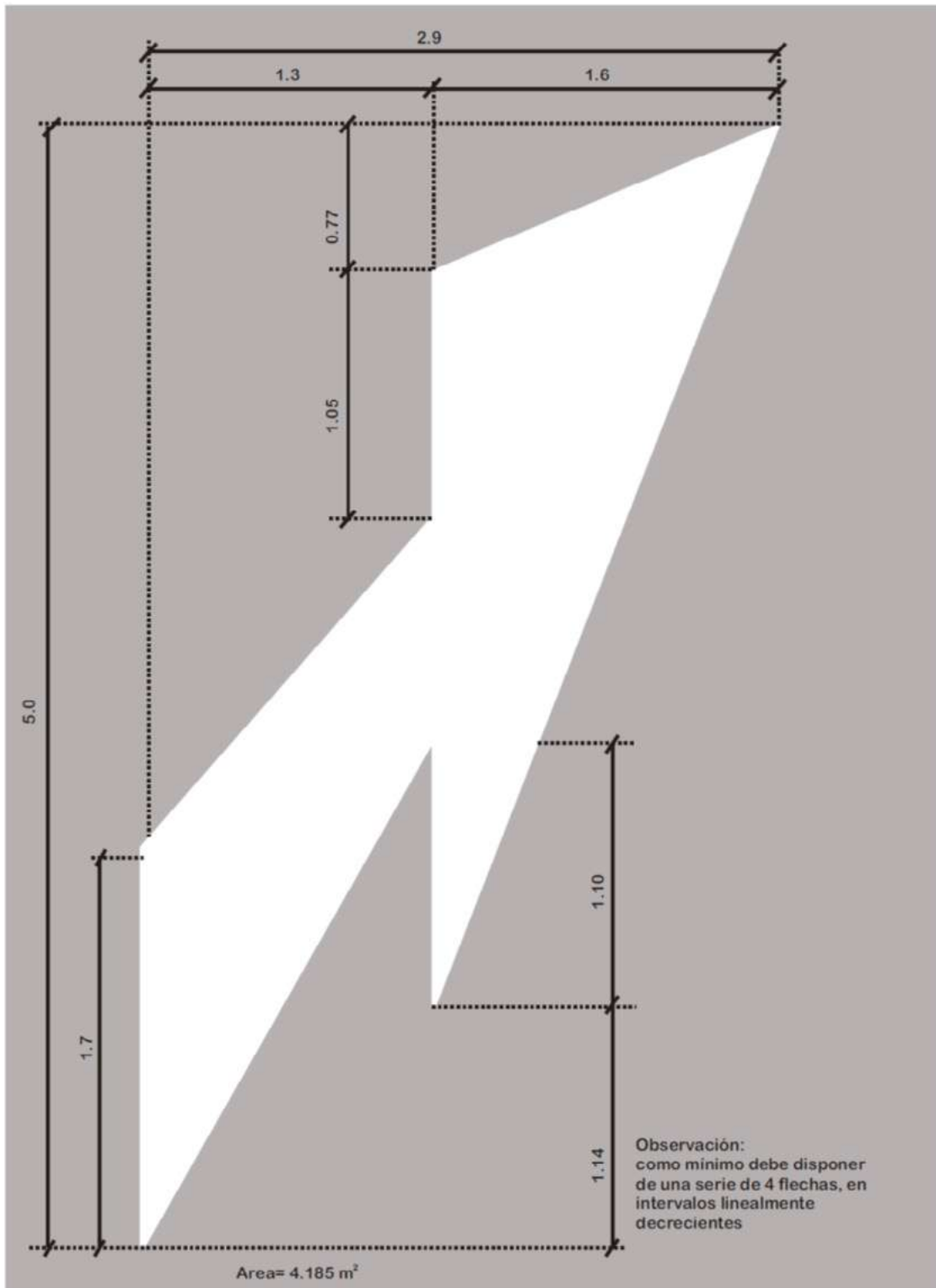


Figura 3.3.1_14. FLECHAS DE TERMINACIÓN DE CARRIL

I. DEMARCACIÓN DE APROXIMACIÓN A OBSTRUCCIONES

En la demarcación de aproximación a obstrucciones se tendrá en cuenta si el tránsito se puede efectuar sólo por el lado derecho del obstáculo, o por ambos lados del mismo.

En el primer caso, la demarcación se hará con una línea diagonal continua de color amarillo, de 12 cm de ancho como mínimo, que inicie de la línea central a una distancia L anterior al obstáculo y con extremo en un punto localizado a una distancia comprendida entre 30 y 60 cm, lateralmente a la obstrucción, según se indica en las Figuras 3.3.1_ 15 (a) y 3.3.1_ 15 (b).

En el segundo caso, la demarcación se hará con líneas continuas de color blanco de 12 cm de ancho como mínimo, con extremos sobre la línea central en puntos localizados a una distancia L , a uno y otro lado de la obstrucción y que pasen entre 30 y 60 cm del punto más cercano a éste, según se indica en las Figuras 3.3.1_15 (c) y (d).

La longitud de la demarcación estará dada por las expresiones:

Para vías donde $v > 60$ km/h:

$$L = 0,6 AV \approx AV/1,6$$

Para vías donde $v \leq 60$ km/h:

$$L = AV^2/155$$

Las variables tienen la misma significación que en el acápite 109.01.7.

La mínima longitud L es de 30 m en áreas urbanas y de 60 m en áreas rurales.

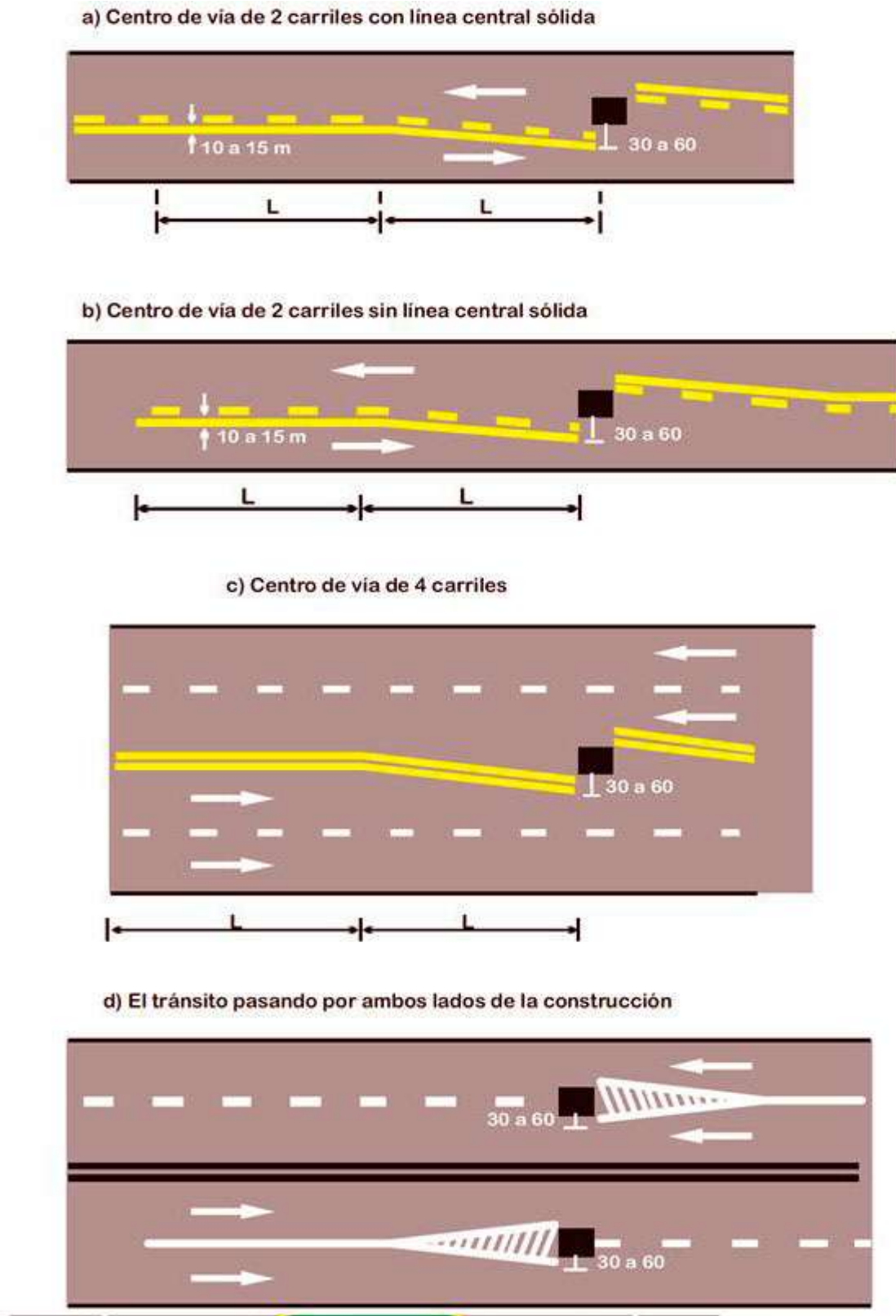


Figura 3.3.1_15. DEMARCACIÓN DE APROXIMACIÓN A OBSTRUCCIONES

J. DEMARCACIÓN DE APROXIMACIÓN A PASOS DE NIVEL

Se demarcarán todos los pasos a nivel de una calle o carretera. Las demarcaciones se harán con líneas amarillas longitudinales de 12 cm de ancho como mínimo, líneas blancas transversales de 60 cm de ancho y con la letra "X", acompañada de las letras "F" y "C", una a cada lado de dicha

“X”, para cada carril del cruce, en el sentido de circulación del tránsito, tal como se muestra en la Figura 3.3.1_16.

La señalización horizontal de aproximación a pasos a nivel deberá ser complementada con la demarcación de zonas de adelantamiento prohibido y con los semáforos y barreras descritos en los capítulos de Señalización Vertical y Semáforos de esta guía.

K. DEMARCACIÓN DE LÍNEAS DE ESTACIONAMIENTO

Las demarcaciones que limitan los espacios para estacionamiento de vehículos se harán con líneas blancas de 10 cm de ancho, como mínimo. Se utilizarán de la forma más eficiente y ordenada posible los espacios de estacionamiento, evitando invadir los paraderos de transporte público, las zonas comerciales, las rampas para discapacitados y las proximidades a las esquinas. La disposición de estas líneas se indica en la Figura 3.3.1_17. El estacionamiento en batería (inclinado), por lo general deberá evitarse en las vías, aunque en ocasiones podrá estar justificado, como en casos de aprovechamiento de espacios o de calzadas de más de 20 m de ancho, con tránsito de poca intensidad y bajas velocidades. También puede ser utilizado en parqueaderos ubicados fuera de las vías. En la Figura 3.3.1_18 se ilustra este tipo de demarcaciones.

En zonas autorizadas para el estacionamiento de taxis, las líneas serán de color amarillo y de color azul.

Figura 3.11 Demarcación de aproximación a pasos a nivel (Dimensiones en cm)

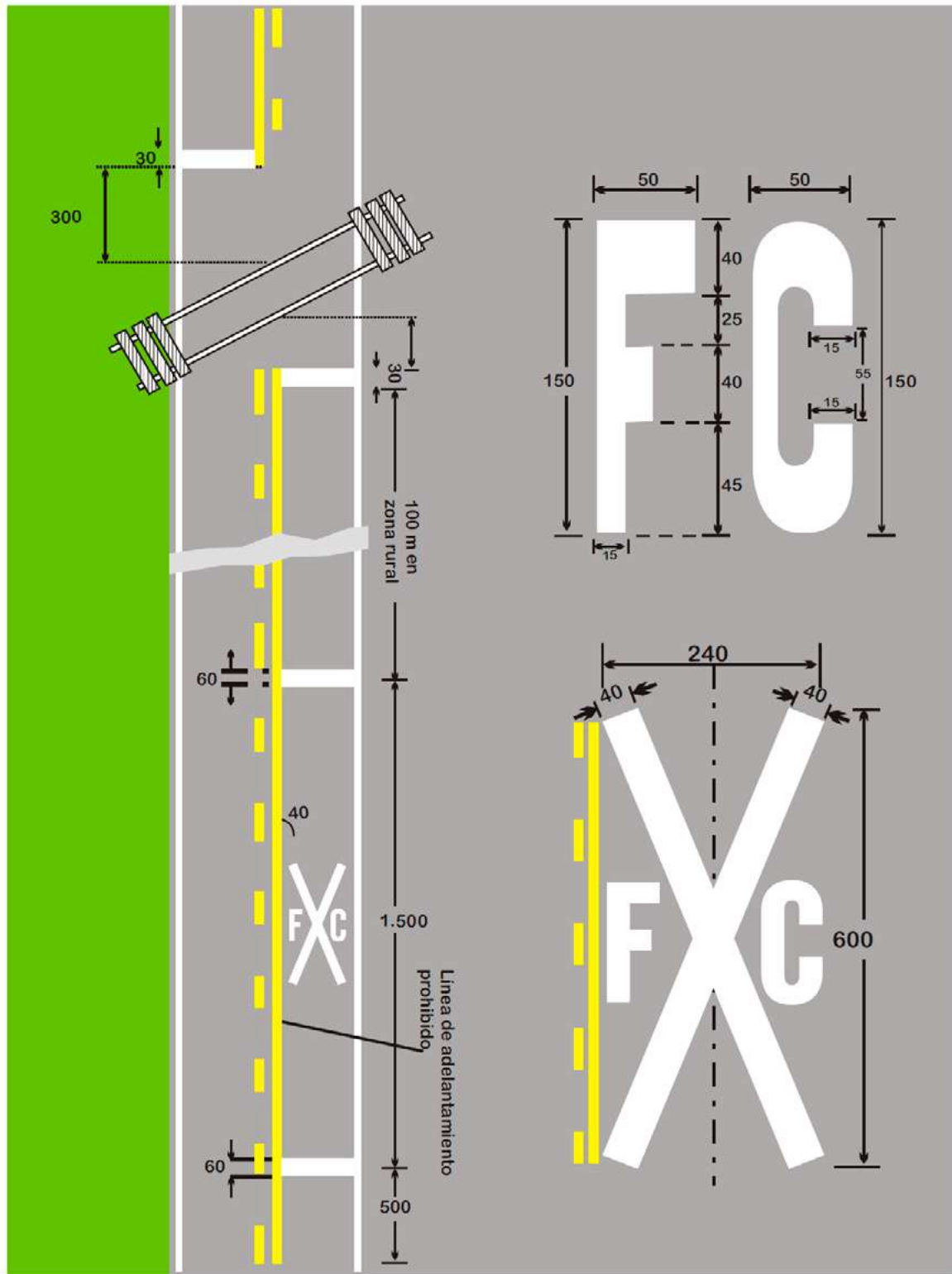


Figura 3.3.1_16. DEMARCACIÓN DE APROXIMACIÓN A PASOS A NIVEL

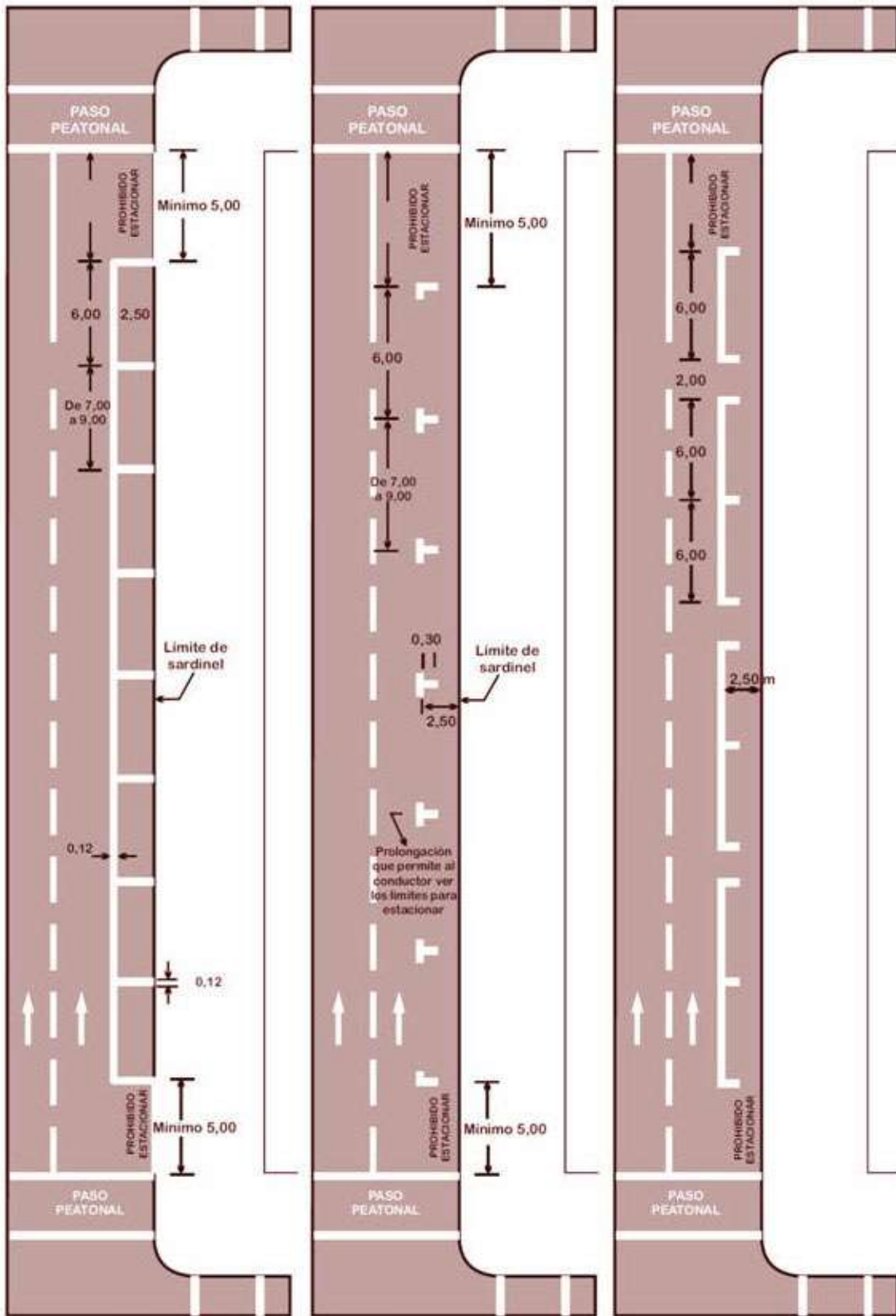


Figura 3.3.1_17. DEMARCACIÓN DE LÍNEAS DE ESTACIONAMIENTO (PARALELAS A LA CALZADA)

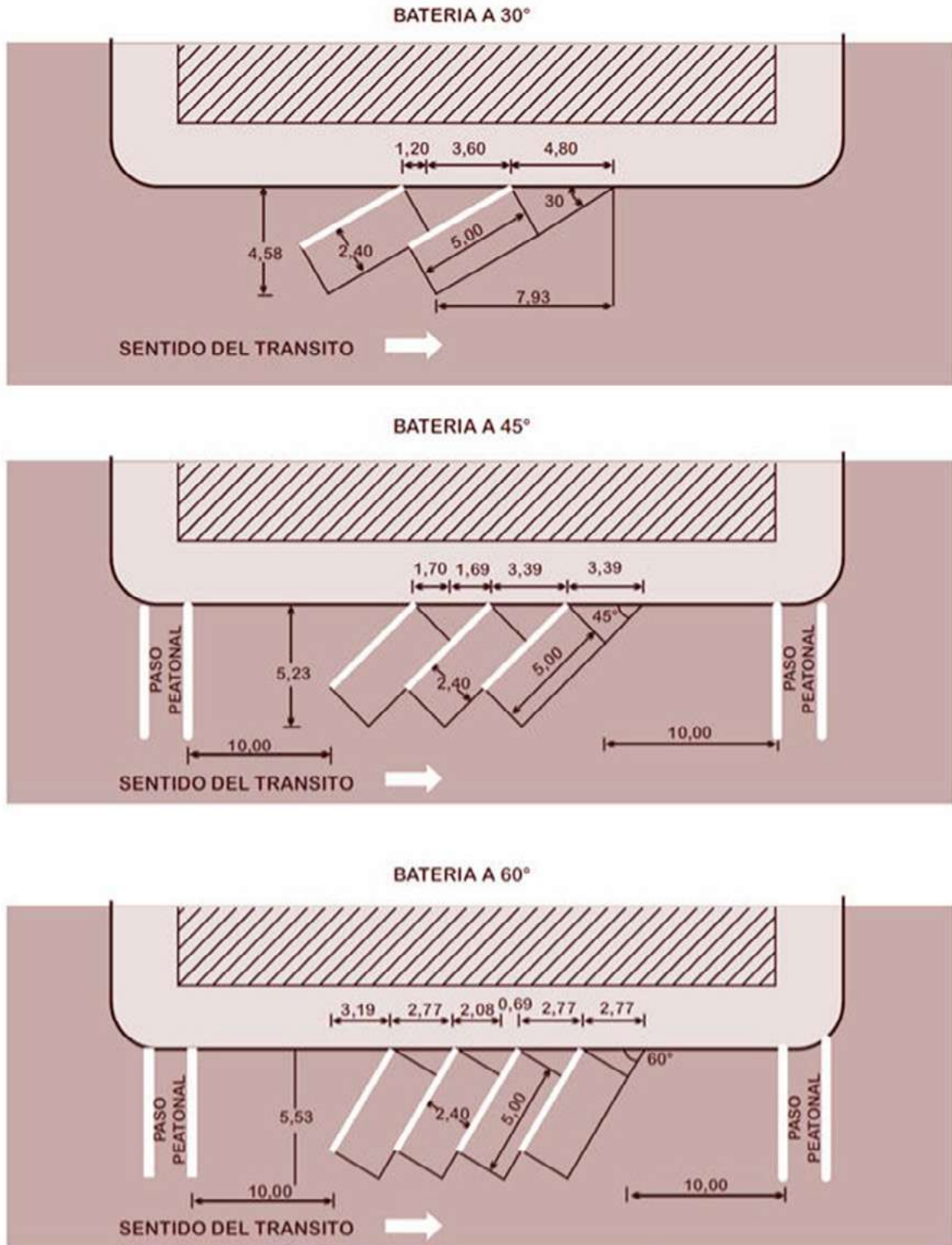


Figura 3.3.1_18. DEMARCACIÓN DE LÍNEAS DE ESTACIONAMIENTO (OBLICUAS A LA CALZADA)

L. DEMARCACIÓN DE PARADAS DE ÓMNIBUS

Esta demarcación tiene por objeto delimitar un área de detención para la parada de buses. En la Figura 3.3.1_19 se presenta el diseño de la parada. El largo de las dimensiones dependerá de la demanda de buses por hora a que esté sometida la parada. Su color será blanco.

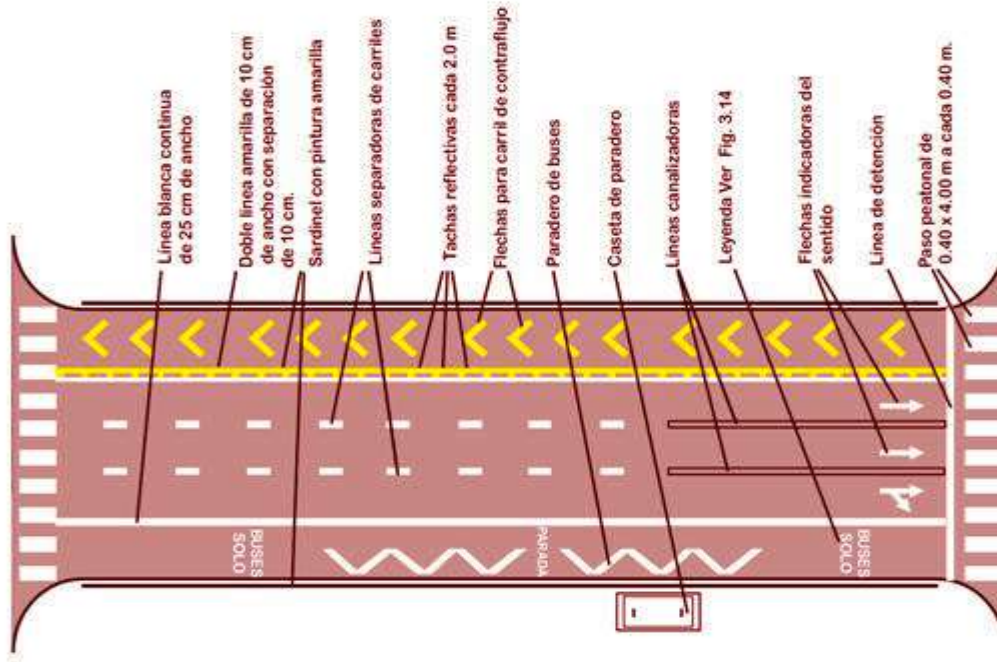
M. DEMARCACIÓN DE CARRILES DE CONTRAFLUJO

Al tratarse de un carril exclusivo con circulación en contraflujo a la permitida en la vía, la señalización deberá ser más repetitiva y clara, debido al peligro que representa para el tránsito normal de la vía. Ver Figura 3.3.1_20.

El carril estará marcado con una doble línea, amarilla para la zona adyacente al carril de contraflujo y blanca para la zona adyacente al tránsito en flujo normal, de 12 cm de ancho como mínimo cada una, separadas entre sí, no menos de 8 cm. Llevará flechas amarillas con doble cabeza indicando los dos sentidos de circulación, con un espaciamiento de 50 m aproximadamente entre ellas, debiendo coincidir su colocación con el centro longitudinal del carril de contraflujo, como mínimo se deberá colocar una flecha al inicio y final de cada cuadra. Además, llevará espaciadas entre sí, cada 4 m aproximadamente, tachas de color amarillo, instaladas entre la doble línea delimitadora del carril. Estas marcas se indican en la Figura 3.3.1_21.

La señalización horizontal de carriles en contraflujo o reversibles deberá ser complementada con señalización vertical, indicando los horarios correspondientes y el punto de inicio y fin de la medida.

Figura 3.16 Marcas, líneas y leyendas típicas para vías con carril exclusivo para buses



MARCAS EN PARADEROS DE BUSES

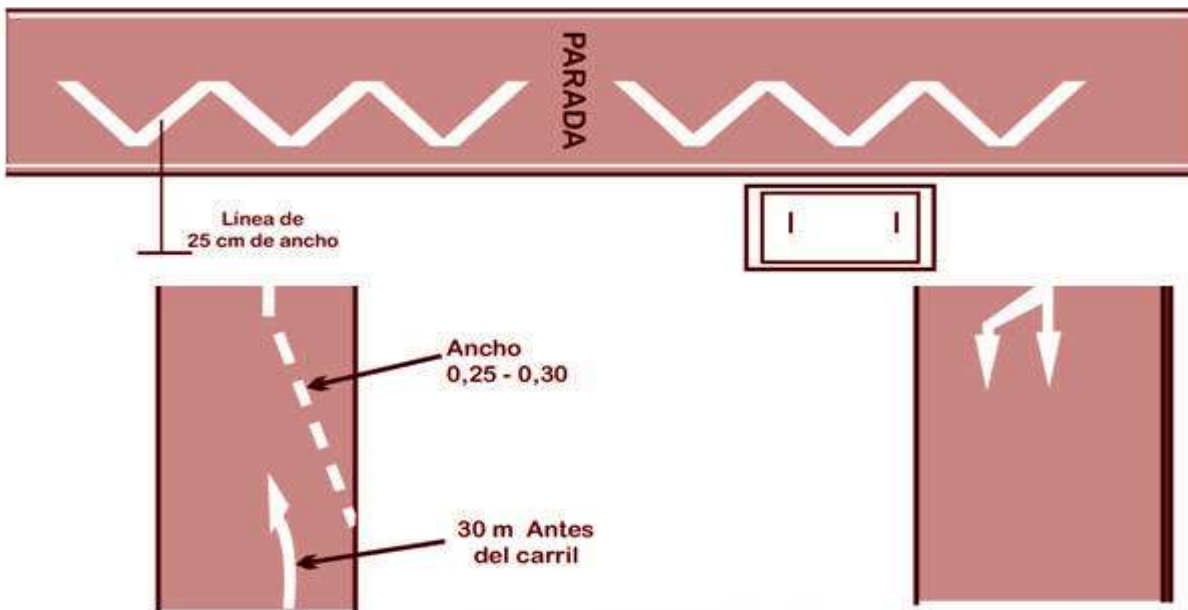


Figura 3.3.1_19. DEMARCACIÓN DE LÍNEAS PARADAS DE ÓMNIBUS (DISPOSICIÓN GENERAL)

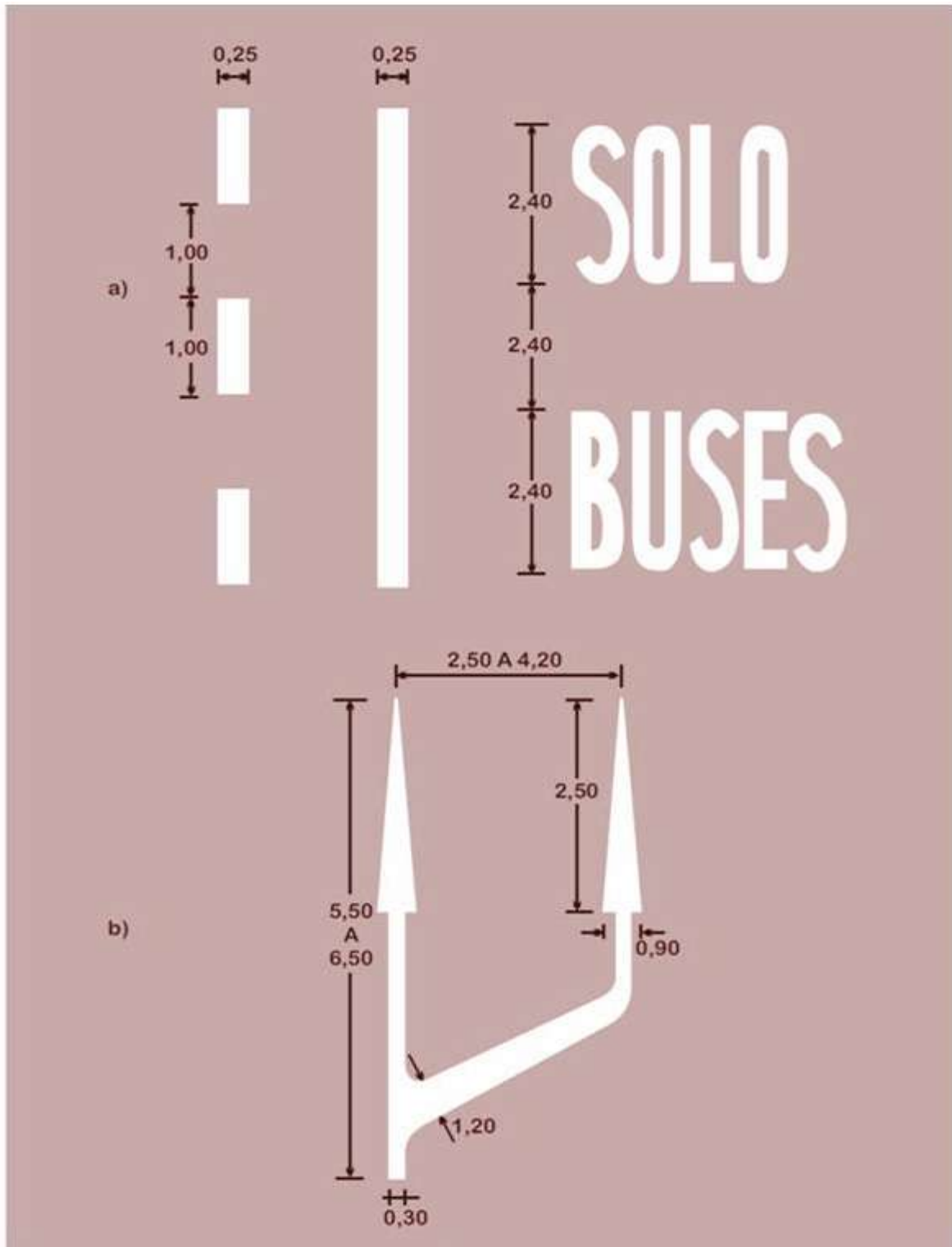


Figura 3.3.1_20. DEMARCACIÓN DE CARRILES DE CONTRAFLUJO (DETALLE)

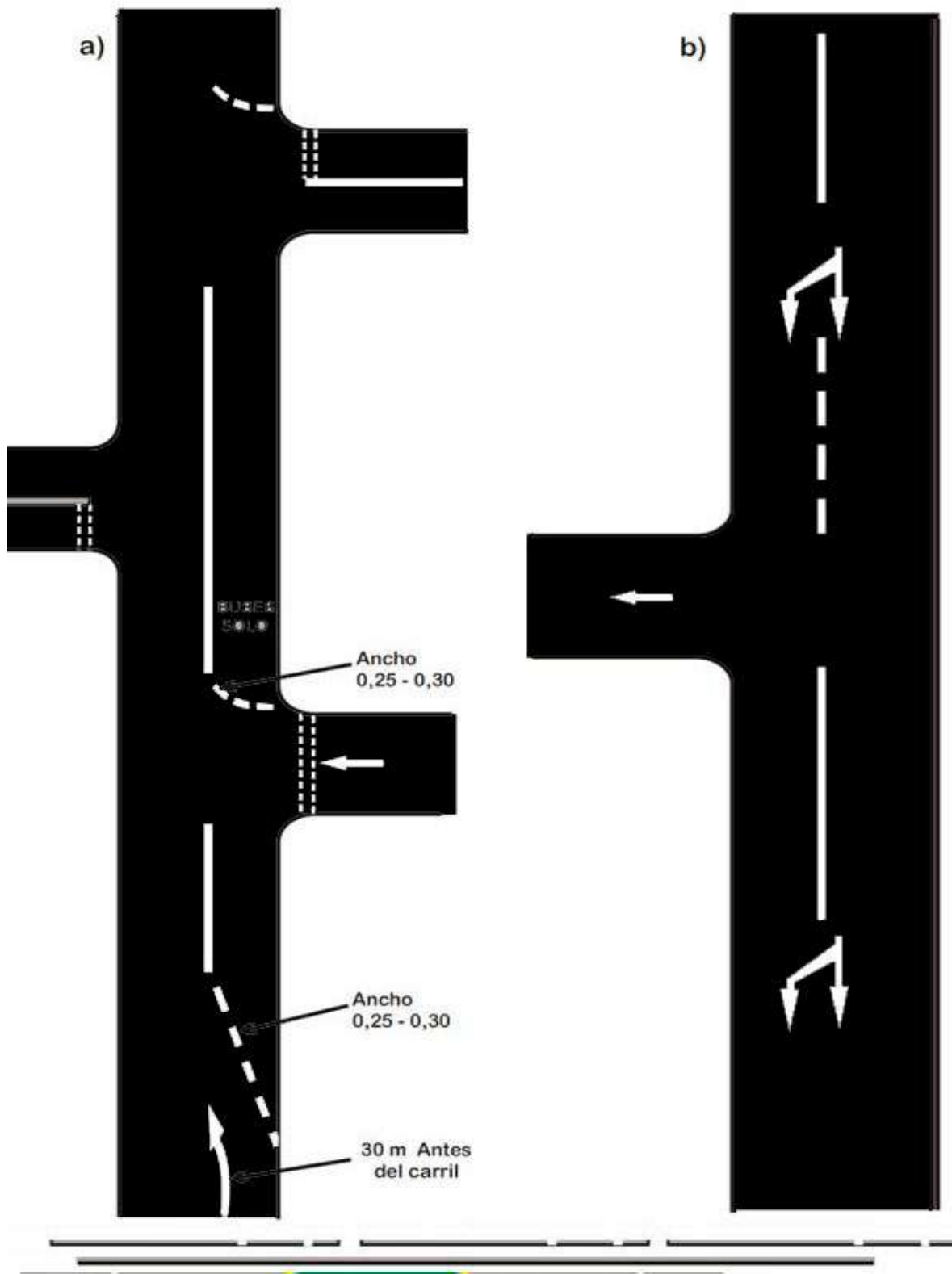


Figura 3.3.1_21. DEMARCACIÓN DE CARRILES DE CONTRAFLUJO

N. FLECHAS

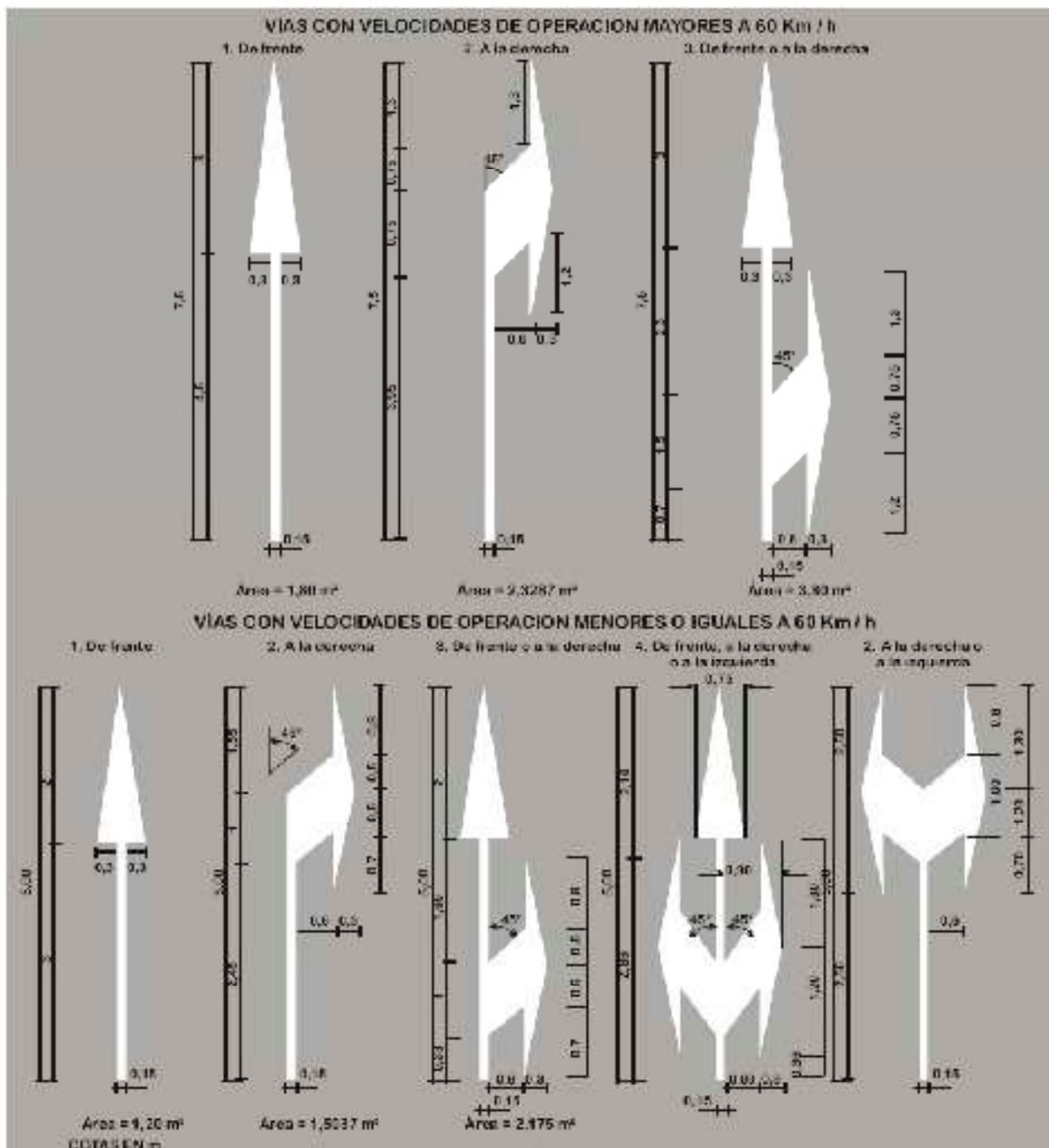
Las marcas en el pavimento con forma de saeta son denominadas flechas, e indican los sentidos de circulación del tránsito y se utilizarán como señal de reglamentación para el conductor (ver Figura 3.3.1_22). Cuando un movimiento en otro sentido esté prohibido, se deberá agregar la palabra "SOLO" o cuando el carril permite un movimiento en especial. Estas marcas deberán repetirse anticipadamente sobre el carril exclusivo de giro para prevenir y ayudar a los conductores a seleccionar el carril adecuado antes de alcanzar la línea de "PARE". El espaciamiento será de 20 m aproximadamente entre cada mensaje.

En las intersecciones con calles de un solo sentido, las flechas se colocarán cada 2 m, aproximadamente, antes de la línea de "PARE", o en el inicio del contra flujo.

Los carriles que puedan ser utilizados para seguir de frente o girar simultáneamente, se marcarán antes de llegar a la intersección con flechas combinadas recta y curva.

Cuando exista un carril de contra flujo o calzada reversible, podrán utilizarse la flecha de frente con doble cabeza para indicar los dos sentidos permitidos en ese carril a diferentes horas del día; ésta será de color amarillo y la longitud del conjunto de las dos cabezas y el vástago será igual a la flecha con sentido de frente.

Cuando se va a terminar un carril, previamente se indicará esta situación con la utilización de fecha de terminación de carril.



Medidas en metros

Figura 3.3.1_22. DIAGRAMACIÓN DE FLECHAS EN EL PAVIMENTO

3.3.1.3.2. MARCAS TRANSVERSALES

A. DEMARCACIÓN DE LÍNEA “PARE”

Esta demarcación deberá usarse en zonas urbanas y rurales para indicar el sitio de parada de vehículos anterior a una señal de tránsito o un semáforo, que reglamenta su detención antes de entrar a una intersección. Su color será blanco. Ver Figura 3.3.1_23.

Estará ubicada antes de la demarcación de pasos peatonales, cuando existan estos, a una distancia de 120 cm. Se hará empleando una franja blanca continua de 20 cm de ancho mínimo, que se extenderá a través de todos los carriles de aproximación que tengan el mismo sentido del tránsito.

Estas líneas podrán ser complementadas con la leyenda “PARE”, de color blanco, para cada carril de circulación.

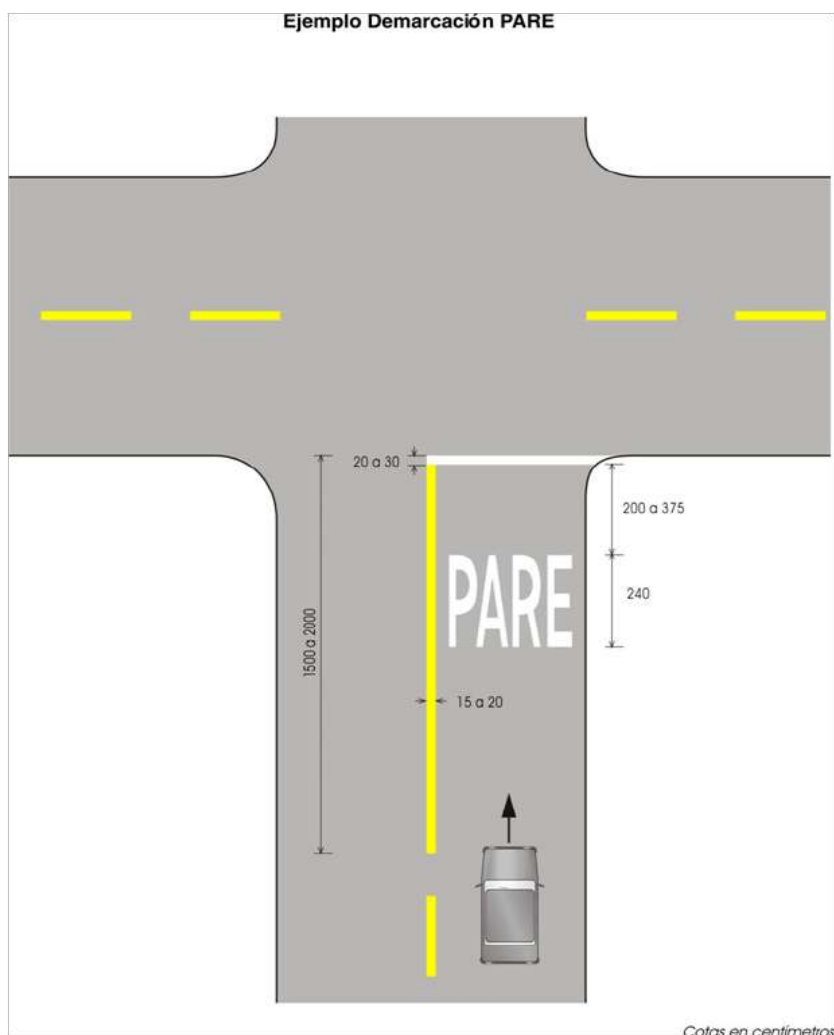


Figura 3.3.1_23. SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL EN UN CRUCE REGULADO POR LA SEÑAL “PARE”

B. DEMARCACIÓN DE PASOS PEATONALES

Esta demarcación se empleará para indicar la trayectoria que deben seguir los peatones al atravesar una calzada de tránsito. Estas marcas serán de color blanco.

En vías rurales y vías urbanas de altos volúmenes peatonales que dispongan de dispositivos que brinden protección a las personas que cruzan la vía (semáforos, resaltos, etc.), consistirán en una sucesión de líneas paralelas de 50 cm de ancho, separadas entre sí 50 cm y colocadas

en posición paralela a los carriles de tránsito en forma “cebreada”, es decir, perpendicular a la trayectoria de los peatones, con una longitud que en general, deberá ser igual al ancho de las aceras entre las que se encuentren situadas, pero en ningún caso menor de 2,0 m. (Ver Figura 3.3.1_24). En caso de alto tránsito peatonal, se podrá utilizar un ancho mayor a 5,0 metros, dependiendo de la evaluación que se efectúe en cada situación.

En calles con bajo volumen de peatones, y sin protección para el cruce de estos, consistirán en dos líneas continuas paralelas transversales a la vía de circulación del tránsito, con un ancho de 30 cm como mínimo y color blanco, trazadas a una separación que se determinará, generalmente, por el ancho de las aceras entre las que se encuentren situadas.

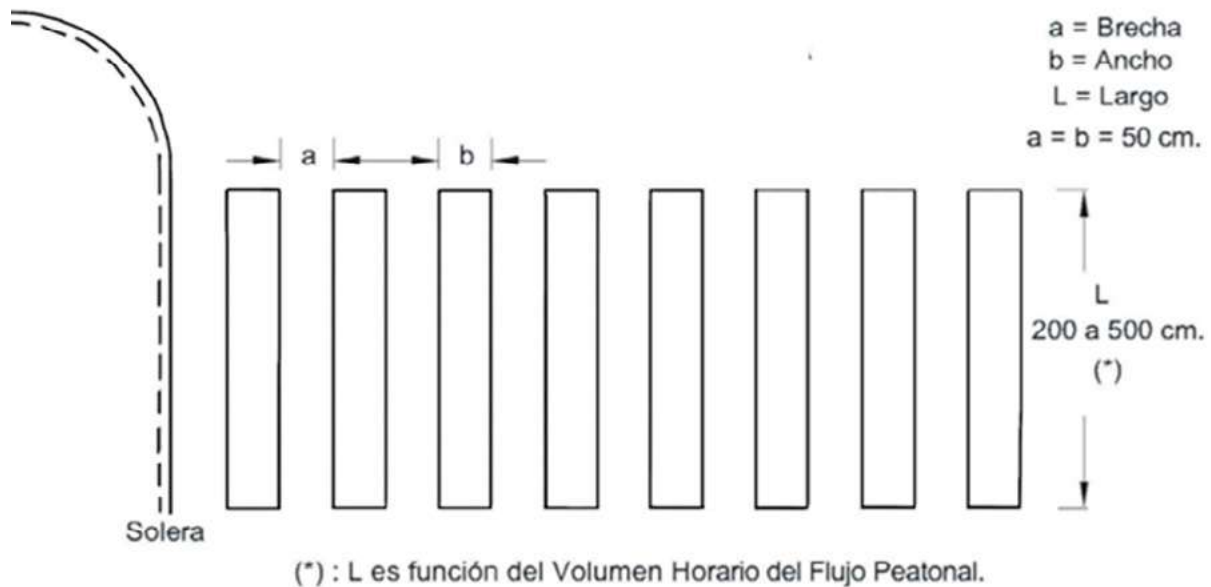


Figura 3.3.1_24. PASO PEATONAL “CEBREADO” (DIAGRAMACIÓN GENERAL)

En la Tabla 3.3.1_9 a continuación, se muestran los anchos de la senda de paso peatonal en función del flujo peatonal.

Estas líneas de cruce peatonal del tipo Paso de Cebra, deberán ser complementadas con demarcaciones de líneas tipo zig-zag, desde 20 m antes de la línea de detención, con la finalidad de advertir a los conductores la proximidad del Paso de Cebra, tal como se indica en la Figura 3.3.1_25. Estas líneas son blancas y se construyen según lo indicado en la figura anterior.

Además, para advertir la proximidad de esta demarcación, se complementa con la señal vertical PROXIMIDAD DE PASO DE CEBRA, balizas iluminadas u otras señales que refuercen el mensaje hacia el conductor, con la finalidad de que disminuya su velocidad.

No obstante lo anterior, se deberá instalar un reductor de velocidad que obligue al conductor a disminuir la velocidad de operación, para lo cual, se considerará un resalto o lomada.

Tabla 3.3.1_9. ANCHO DE LA SENDA PEATONAL

FLUJO PEATONAL (Peatones/h)	Ancho mínimo (m)
Menor o igual a 500	2,0
501 a 750	2,5
751 a 1000	3,0
1001 a 1250	3,5
1251 a 1500	4,0
1501 a 1750	4,5
Mayor a 1750	5,0

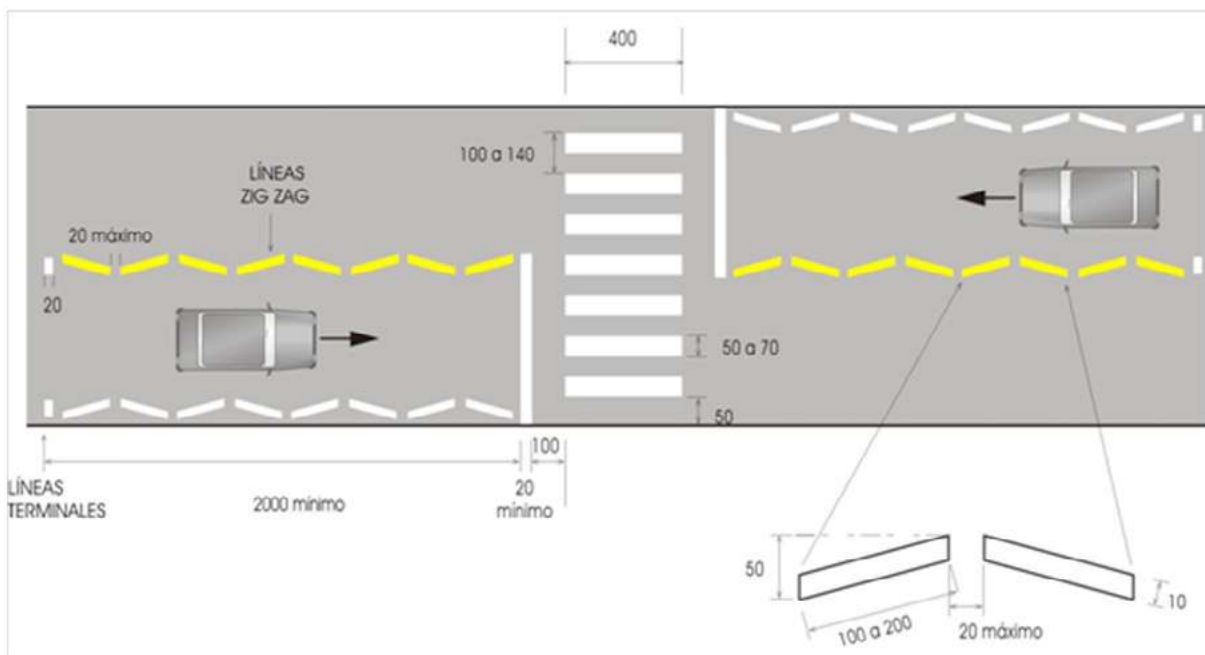


Figura 3.3.1_25. SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL EN CRUCE PEATONAL TIPO PASO DE CEBRA

La demarcación transversal de un cruce peatonal regulado por semáforo está compuesta por una línea de detención continua y un paso peatonal.

La línea de detención indica al conductor que enfrenta la luz roja de un semáforo, el lugar más próximo al paso peatonal regulado donde el vehículo tendrá que detenerse. Se deberá ubicar a un (1) metro, de la línea de borde de la senda peatonal.

Estas líneas deben demarcarse siempre, constituyendo un complemento al sistema de semáforos y deberá presentar las características, en cuanto a anchos mínimos, mostradas en la Figura 3.3.1_26. El ancho de la senda peatonal está regulado por los valores de la Tabla 3.3.1_9.

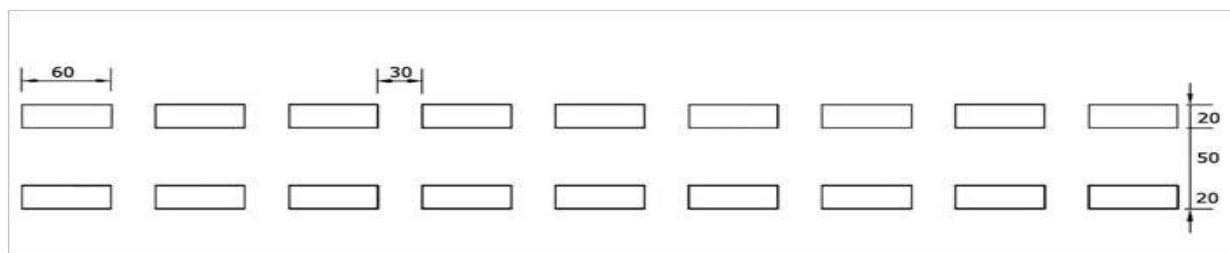


Figura 3.3.1_27. LÍNEA DE DETENCIÓN CEDA EL PASO

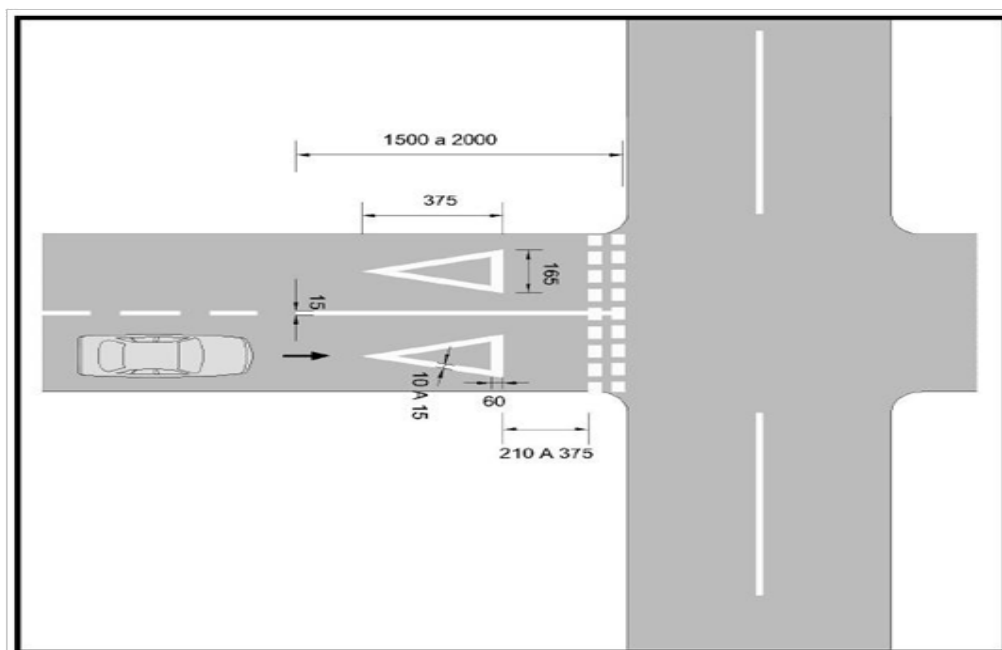


Figura 3.3.1_28. DEMARCACIÓN EN CRUCE REGULADO POR SEÑAL “CEDA EL PASO”

D. LÍNEAS ANTIBLOQUEO

Tienen por objeto notificar a los conductores la prohibición de obstruir en una intersección, aún cuando el semáforo se lo permita o gocen de prioridad, si la situación de la circulación es tal, que previsiblemente puedan quedar detenidos de forma que impidan u obstruyan la circulación transversal.

Estas líneas estarán formadas por el cuadrilátero cuyos vértices están definidos por las cuatro (4) esquinas que conforman la intersección y sus dos (2) diagonales. Estas líneas serán de color amarillo y de 30 cm de ancho como mínimo. Ver Figura 3.3.1_12.

3.3.1.3.3. MARCAS DE CORDONES Y MURETES

Se deberán demarcar los cordones y muretes que indiquen riesgo o encauzamientos, con el fin de hacerlos más visibles. Será de gran ayuda para los conductores el pintar los cordones y muretes frente a una intersección en “T” o cruces similares. También se podrán pintar los cordones y muretes cuando frente a ellos sea prohibido estacionar.

La demarcación de los cordones se hará cubriendo sus caras con pintura amarilla. Los cordones y muretes se pintarán de rojo para indicar la prohibición de estacionar.

3.3.1.3.4. MARCAS DE OBJETOS

Se señalarán con material reflectivo todos los objetos, tales como: estribos o pilas de puentes, islas de canalización de tránsito, bases de semáforos y señales elevadas, andenes en zonas de carga y descarga, barreras en pasos a nivel, puentes, barandas de puentes angostos, muros de contención y aletas o cabezales de alcantarillas que sobresalgan de la superficie del pavimento o de los taludes, árboles, rocas, etc., que puedan constituir riesgo para el usuario de la vía.

A. OBJETOS DENTRO DE LA VÍA

Se debe evitar todo tipo de obstrucción dentro de la vía, excepto aquellas que son inamovibles como las pilas de puentes e islas necesarias para encauzar el tránsito.

Esta señalización se hará directamente sobre el objeto por medio de bandas negras y amarillas reflectivas alternadas, inclinadas 45 grados con la vertical y con un ancho de 20 cm, adicionalmente se colocarán placas amarillas reflectivas (utilizando lámina reflectiva Tipo III) instaladas de tal manera que sean visibles para los conductores que se aproximan, bajo condiciones atmosféricas ordinarias, al ser iluminadas por las luces altas de un vehículo. Ver Figura 3.3.1_29

Las placas reflectivas serán rectángulos de 20 cm de ancho por 30 cm de altura, se utilizarán principalmente en islas canalizadoras, andenes de zonas de cargue y descargue de mercancías, etc. Para obstrucciones de alto peligro, tales como pilas y estribos de puentes, finales de vía, muros de contención, aletas y cabezales de alcantarillas, etc., se podrán aumentar las dimensiones del rectángulo.

También se utilizarán cintas de 10 cm de ancho, como mínimo, para señalar elementos como bases de semáforos, señales elevadas, barreras de retenes y pasos a nivel, etc.

Además de las demarcaciones frontales en la obstrucción, se demarcarán líneas en el pavimento que indiquen la aproximación a obstrucciones.

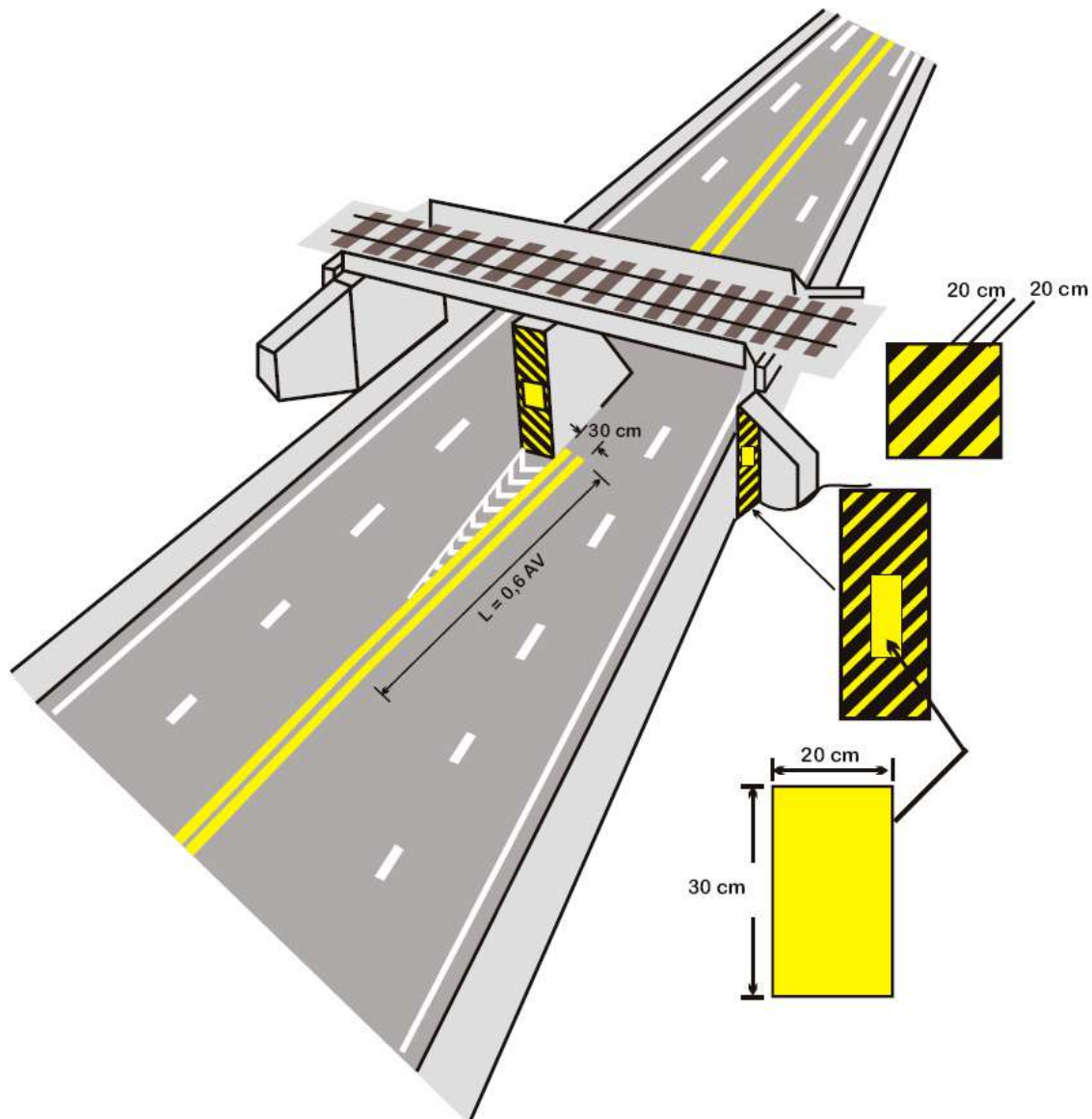


Figura 3.3.1_29. DEMARCACIONES DE APROXIMACIÓN A OBSTRUCCIONES

B. OBJETOS ADYACENTES A LA VÍA

Se señalarán todos los objetos adyacentes a la vía que en cualquier forma interfieran la visibilidad de los usuarios o que constituyan un riesgo para la conducción nocturna.

La señalización de estos objetos estará constituida por placas de similares características a las descritas en la sección anterior.

También podrán utilizarse franjas diagonales de 0,20 m, que contengan líneas alternadas en colores amarillo y negro, inclinadas 45 grados cayendo hacia el lado en donde el tránsito debe pasar la obstrucción. Ver Figura 3.3.1_29.

3.3.1.3.5. SÍMBOLOS Y LETREROS EN EL PAVIMENTO

En el pavimento son preferibles los mensajes descritos mediante símbolos que los mensajes a través de leyendas. En lo posible se debe tratar de no demarcar más de un renglón en el pavimento. Tanto las letras como los símbolos deben alargarse considerablemente en la dirección del movimiento del tránsito, debido al pequeño valor del ángulo bajo el cual los observan los conductores que se aproximan. Ver Figura 3.3.1_30.

Figura 3.20 Símbolos sobre el pavimento



Figura 3.3.1_30. SÍMBOLOS EN EL PAVIMENTO

Cuando la velocidad de diseño es mayor de 60 km/h, las letras y números deben tener 4,00 m de altura y 0,50 m de ancho, con excepción de las indicaciones de velocidad. En el caso de que la leyenda tenga más de un renglón, la primera palabra debe quedar más cerca del conductor. El espacio entre renglones será igual a la altura de letras o números.

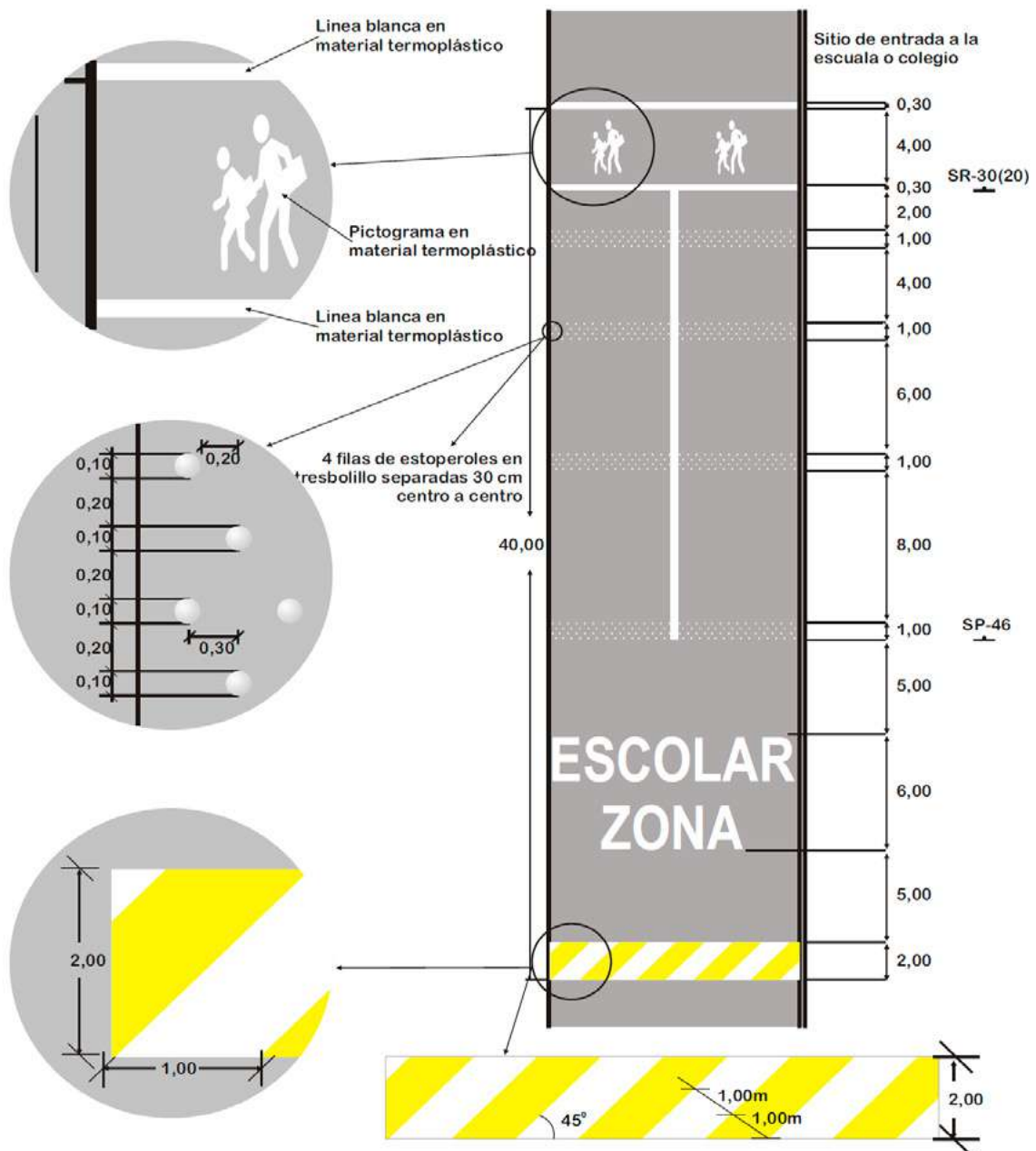
Cuando la velocidad de diseño es igual o menor de 60 km/h, las letras y números tendrán, como mínimo una altura de 1,60 m y 0,50 m de ancho, a excepción de las indicaciones de velocidad. El espacio entre renglones será igual a la altura de letras o números, de manera que una leyenda completa hasta de tres renglones puede ser vista y leída a un mismo tiempo. En este caso, un mensaje de dos o tres renglones puede colocarse de tal manera que la primera palabra sea la más lejana al conductor. Ver Figura 3.3.1_31.

Las indicaciones de velocidad se marcarán en el pavimento con las siguientes dimensiones:

Vías de más de 60 km/h 4,00 m. x 1,15 m.

Vías de 60 km/h o menos 1,60 m. x 1,19 m.

Figura 3.21 Demarcación de zona escolar



Nota 1: Si en la zona aledaña al colegio no existen casas de habitación deberá cambiarse las baterías de estroperoles por bandas sonoras en agregados petreos de 3 cms de altura.

Nota 2: Este modelo se ubica en los estroperoles ceramicos o poliester h=2,5 cms

Figura 3.3.1_31. DEMARCACIÓN DE ZONA ESCOLAR

Si en una vía existen más de dos velocidades, en todos los carriles se demarcará con las dimensiones correspondientes a la mayor velocidad. En todo caso la cifra indicativa de la velocidad se colocará a la distancia más alejada del conductor y las letras km/h a la más cercana.

Para que el uso controlado de marcas en el pavimento no confunda al conductor, el número de letreros y símbolos debe reducirse a los estrictamente indispensables.

Los mensajes en el pavimento no deben abarcar más de una calzada, excepto el letrero "ZONA ESCOLAR".

3.3.1.3.6. PROYECTOS DE SEÑALIZACION HORIZONTAL

En términos generales, los resultados de un proyecto de señalización horizontal se deberán presentar en planos de señalización en planta y perfil, elaborados a la misma escala de los planos de diseño geométrico de la vía en consideración. Para carreteras se presentarán en escalas comprendidas entre 1:2.000 a 1:1.000 dependiendo del diseño propuesto: una calzada o dos calzadas. En vías urbanas, se presentarán en escala 1:500. Las intersecciones en vías urbanas o rurales, se elaborarán en escala 1:500 ó 1:250 dependiendo de sus características geométricas. El empleo de otras escalas dependerá fundamentalmente del tipo de proyecto y de las normas exigidas por la entidad a la que se presente el diseño respectivo.

En vías de calzada única y doble sentido de circulación, las líneas de borde de pavimento no se dibujan a no ser que exista una condición particular diferente a la línea continua que se presentará a lo largo de la vía. El diseño de las líneas centrales se dibujará longitudinalmente, al lado del eje de la vía, definiéndose así las zonas en donde se prohíbe y permite adelantar.

Para visualizar estas líneas se dibujarán separadas del eje de la vía conservando su escala (a una distancia entre 1 mm y 2 mm). Esta medida se realiza sin considerar la escala del plano planta perfil. En cada plano se deberá incluir un cuadro resumen de longitudes de línea a demarcar, tanto de líneas de borde como de líneas centrales, incluyendo la abscisa o progresiva de inicio y final de cada tramo de prohibido y permitido adelantar.

En vías con tres carriles de circulación, el diseño estará plasmado en el plano correspondiente mediante el dibujo de la línea que divide los flujos de tránsito en los dos sentidos, así ésta no esté en el eje geométrico de la calzada.

En vías multicarriles con separador central podrá utilizarse un diseño base para todo el proyecto, con excepción de las intersecciones y carriles de aceleración y desaceleración, que deberán diseñarse separadamente.

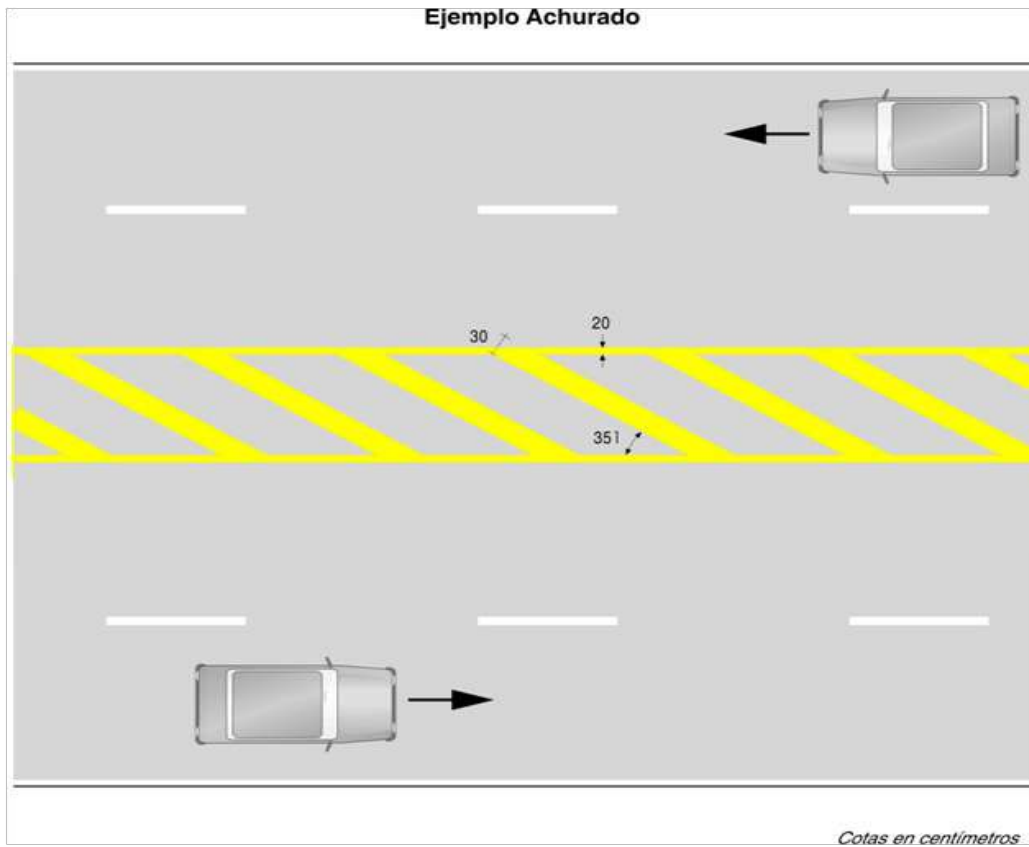
3.3.1.3.7. OTRAS DEMARCACIONES HORIZONTALES

A. ACHURADOS

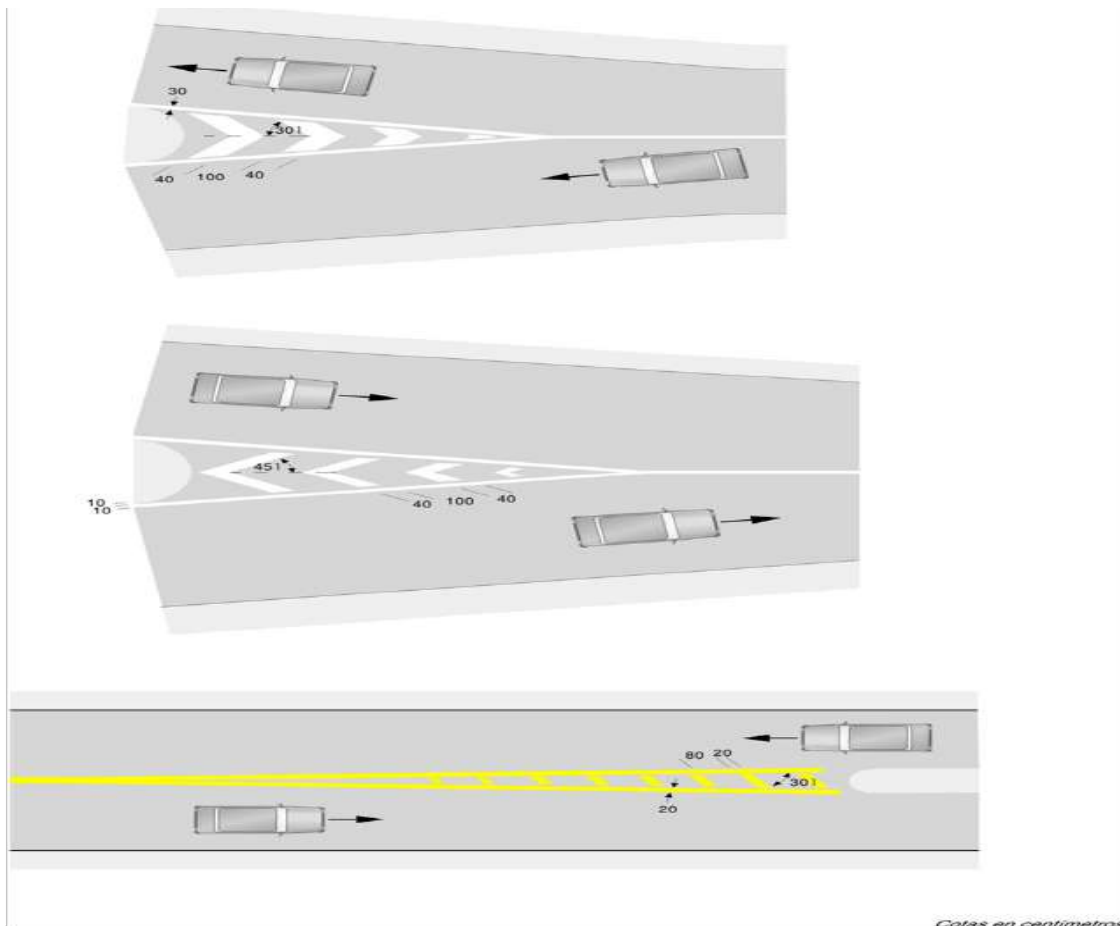
Los achurados tienen el objetivo de prevenir a los conductores acerca de la proximidad de islas y bandejonas, así como canalizar el flujo vehicular.

Se distinguen dos tipos de achurados; en diagonal y en "V". Los achurados en diagonales se emplean en canalizaciones y en islas centrales, cuando los flujos que los enfrentan tienen sentidos opuestos y en las superficies retranqueadas que se extienden por el costado del separador. En el caso de los achurados en "V" se emplean para anunciar la presencia de una isla o bandeja, cuando los flujos vehiculares convergen o divergen. Se recomienda destacar estas superficies con la instalación de tachas reflectantes de color amarillo. Ver figuras 3.3.1_9, 3.3.1_10 y 3.3.1_13.

Otros ejemplos de achurados también se pueden ver en las figuras 3.3.1_32 y 3.3.1_33.



Cotas en centímetros



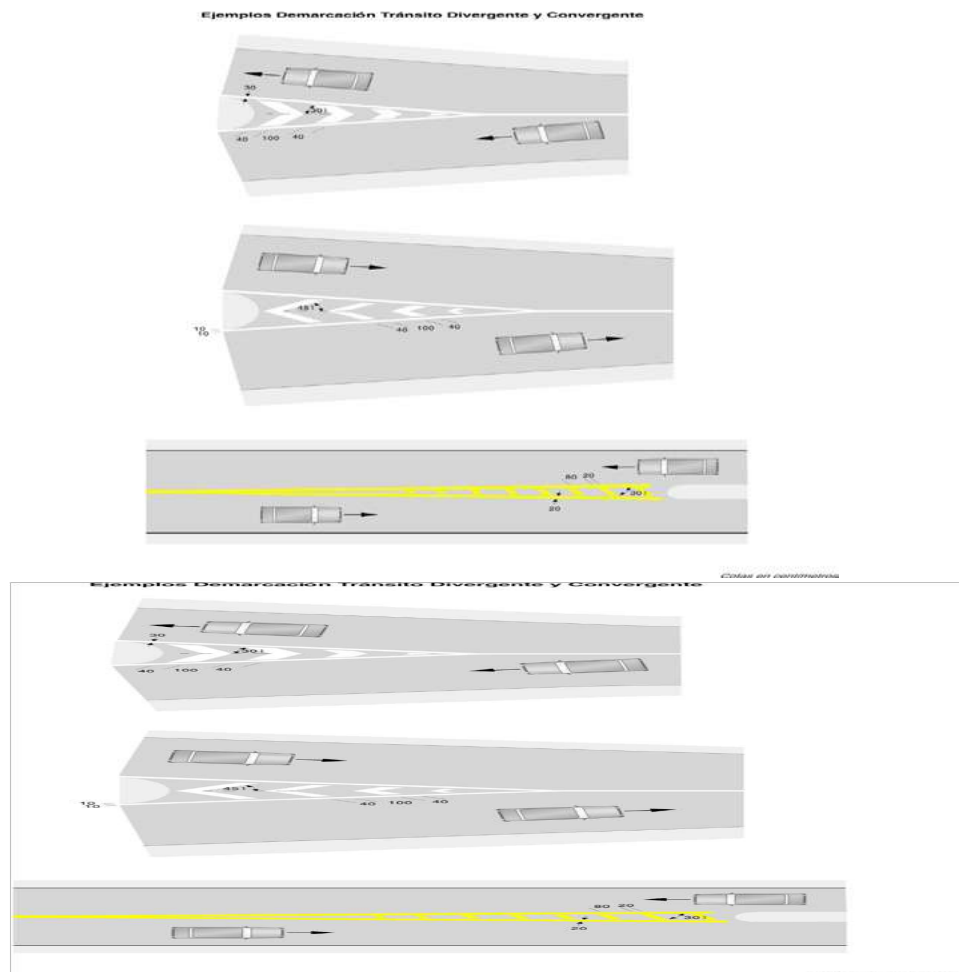


Figura 3.3.1_32. DEMARCACIÓN TIPO ACHURADO PARA BIFURCACIÓN CONVERGENTE Y DIVERGENTE

B. BLOQUEO DE CRUCES

Este tipo de demarcación indica a los conductores la prohibición que establece la Ley de quedar detenido dentro de un cruce por cualquier razón. Se instala en cruces que presentan altos niveles de congestión, con el propósito que la detención del flujo por una vía no obstaculice la circulación de vehículos por la otra.

Esta demarcación sólo debe aplicarse en intersecciones donde se generen bloqueos producto de la congestión aguas abajo de ellas, siempre y cuando no existan flujos importantes que viren a la izquierda desde la vía perpendicular, ya que en este caso la demarcación no es respetada y la señalización en general se desacredita.

Esta demarcación se construye con líneas diagonales amarillas de 15 cm de ancho, las que se cruzan dentro de la intersección. Para dibujarlas se recomienda lo siguiente:

- Dibujar en el centro de la zona a demarcar dos diagonales que al cruzarse formen un ángulo de aproximadamente 90° sexagesimales.
- Demarcar líneas paralelas a las diagonales iniciales a intervalos de 1 m.

En cuanto a las formas y dimensiones en función del tipo de vía, la demarcación debe cumplir con las características señaladas en la Figura 3.3.1_34. Ver también Figura 3.3.1_12.

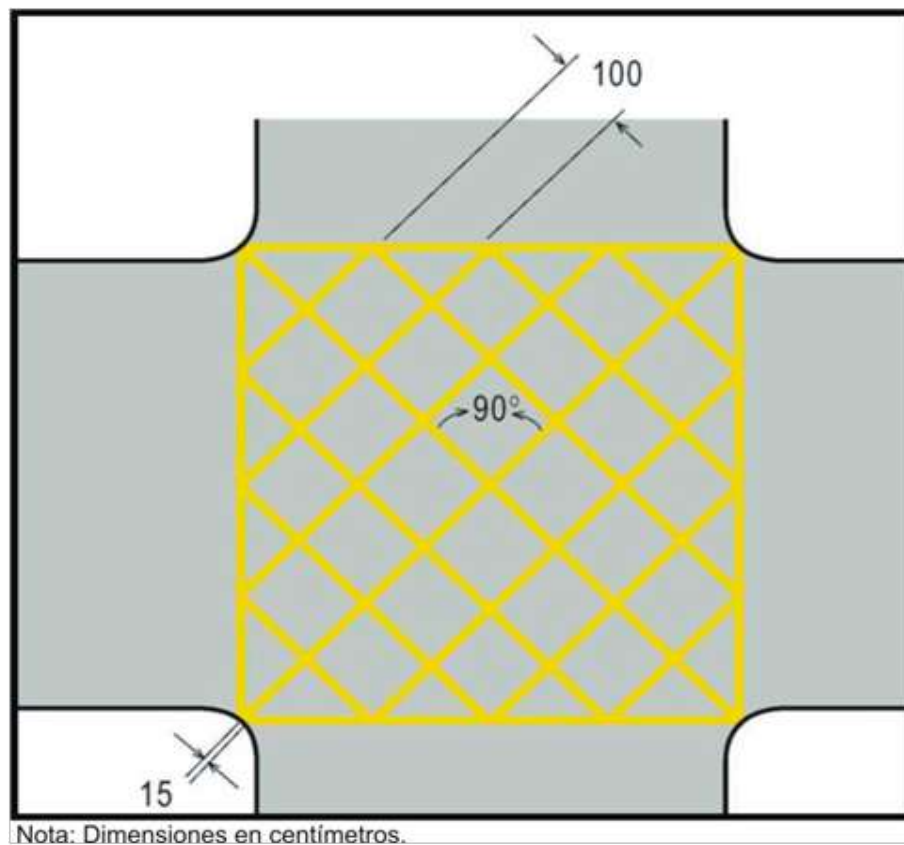


Figura 3.3.1_33. DEMARCACIÓN TIPO BLOQUEO DE CRUCES

C. LOMADAS (RESALTOS)

El exceso de velocidad es una de las causas de la ocurrencia y la gravedad de los accidentes de Tránsito.

La medida reductora de velocidad más conocida ha sido la lomada, resalto o “rompe-muelle”. Con el objetivo de disminuir la velocidad de los vehículos en la calzada se puede recurrir al empleo de estos dispositivos reductores de velocidad.

Se recomienda utilizar estos dispositivos en accesos a intersecciones que presenten una alta tasa de accidentes, en sitios donde sea necesario proteger el flujo peatonal, y en vías donde es necesario disminuir las velocidades de los vehículos.

La ubicación de las lomadas o resaltos deberá servir para resolver los siguientes problemas:

- En cruces de vías de accesos no regulados, donde se requiere reducir la velocidad.
- Tramos de caminos donde se registra exceso de velocidad.
- En cruces y vías para proteger el flujo peatonal.
- Cruces regulados por señal de prioridad, para que los conductores se detengan o sigan respetando la prioridad, circulación y velocidad de diseño.
- Zonas de Escuela y Plazas de Juegos Infantiles.

Los criterios principales que permitirán establecer la necesidad de instalación de lomadas (resaltos), son los siguientes:

- Se deberá disponer de datos estadísticos oficiales que registren al menos 1 accidente con lesiones graves o muerte.

- Realización de encuestas a los vecinos o usuarios de la vía donde se denuncie el exceso de velocidad.
- Visita al sitio de posible emplazamiento del dispositivo, para detectar si efectivamente el exceso de velocidad es el factor de riesgo en el sector y para evaluar la posible reasignación de flujos.

La función principal de las lomadas (resaltos) es reducir la velocidad a un promedio de 30 km/h, por lo estos dispositivos sólo deben ser instalados en vías urbanas de carácter local y de usos de suelo predominantemente residencial y/o donde se emplazan establecimientos educacionales. Estos dispositivos no son adecuados para las vías urbanas de mayor jerarquía (o aquellas rurales de menor jerarquía), donde se requiere mantener las velocidades cercanas a los 60 km/h, en cuyo caso se utilizará la lomada (Resalto) tipo Cojín, descrito en el siguiente acápite.

Previo a una lomada (resalto), siempre deberá demarcarse en el pavimento la leyenda “LENTO”. Ver Figura 3.3.1_35.

Teniendo en cuenta que las lomadas (resaltos) son los reductores de velocidad más restrictivos para los conductores y que incrementan los niveles de vibración y de ruido en la zona, no se recomienda su uso en sectores como:

- Carreteras y vías de alta velocidad.
- Vías urbanas en donde transiten rutas de transporte público colectivo.
- Vías urbanas principales (o de jerarquía superior) o calles que enlacen a éstas.
- Vías urbanas con volumen vehicular diario superior a 500 vehículos.
- Vías urbanas cuyo porcentaje de vehículos pesados supere el 5%.
- Pendiente de la vía mayor del 8%.

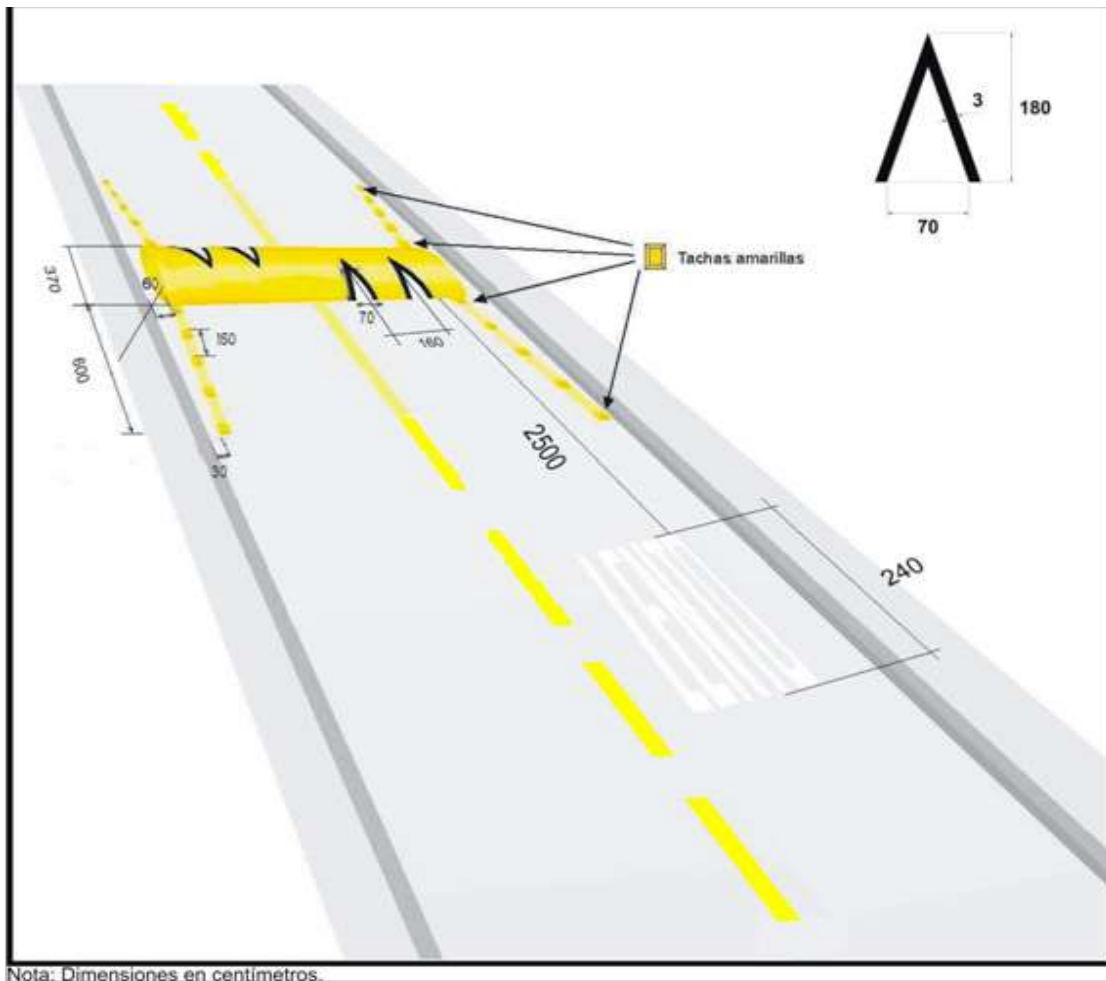


Figura 3.3.1_34. DISPOSICIÓN TÍPICA DE UNA LOMADA (RESALTO)

Una vez el estudio de Ingeniería de Tránsito demuestre la conveniencia de la construcción de una lomada (resalto), la entidad encargada del mantenimiento de la vía deberá autorizar su construcción.

Dicha entidad también deberá verificar que se cumple con la señalización vertical y horizontal necesaria antes de poner en servicio la lomada (resalto), con el propósito de evitar que el dispositivo se pueda convertir en un elemento generador de accidentes de tránsito.

En la Figura 3.3.1_36, se presentan detalles constructivos para una lomada (resalto) típico.

D. LOMADA (RESALTO) TIPO COJÍN

Las lomadas (resaltos) denominados “cojines”, son menos peligrosos para los usuarios de vías de mayor jerarquía, al posibilitar velocidades medias del orden de 50 km/hr. Éstos tienen su origen en el Reino Unido, y respondieron a la necesidad de crear dispositivos que disminuyera la velocidad sin afectar la seguridad y comodidad de usuarios y conductores de buses. La forma como funcionan los vehículos puede ser percibida en la Figura 3.3.1_37. El diseño general de los cojines se muestra en la Figura 3.3.1_38.

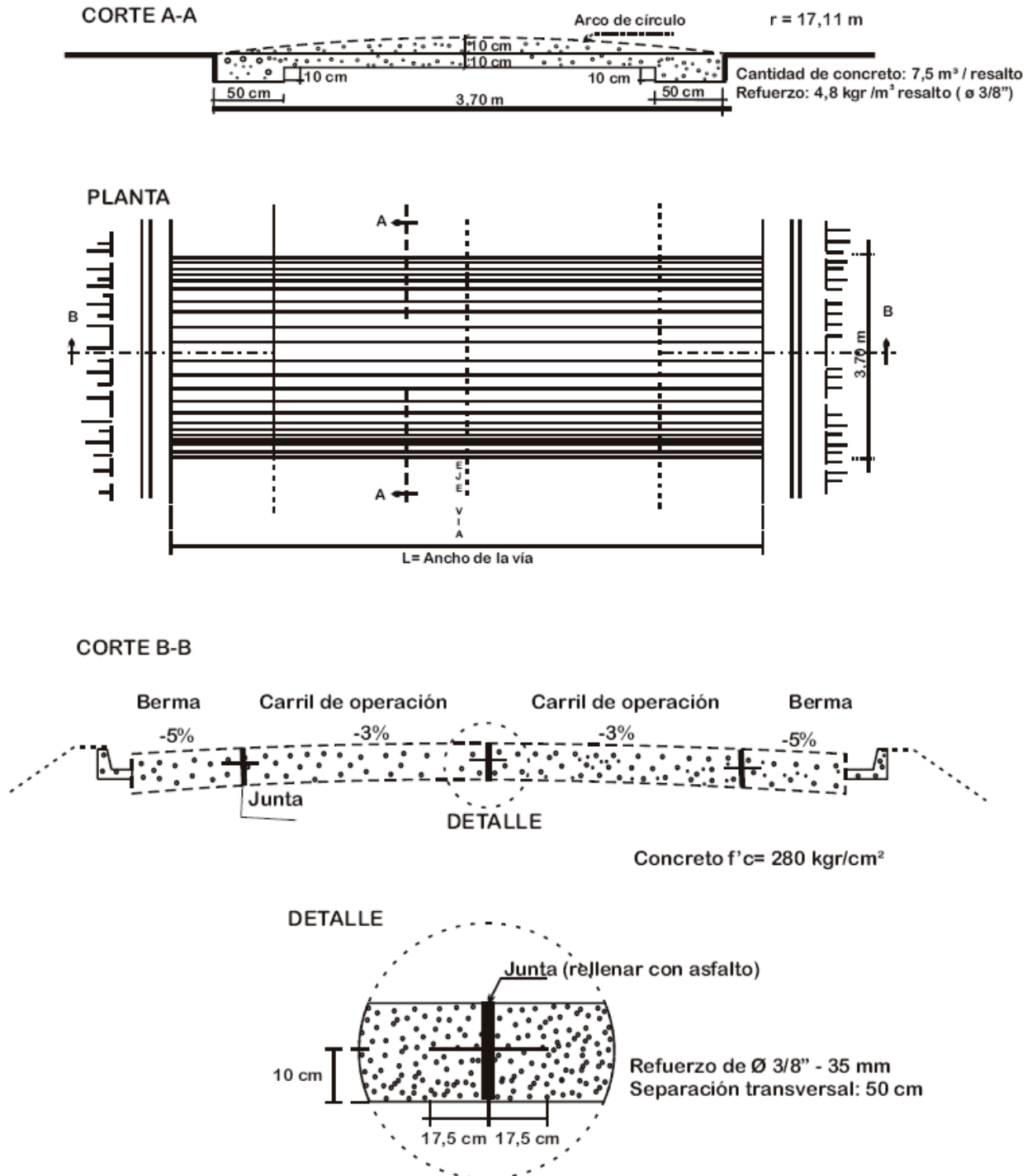


Figura 3.3.1_35. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE UNA LOMADA (RESALTO) O "ROMPE MUELLES"

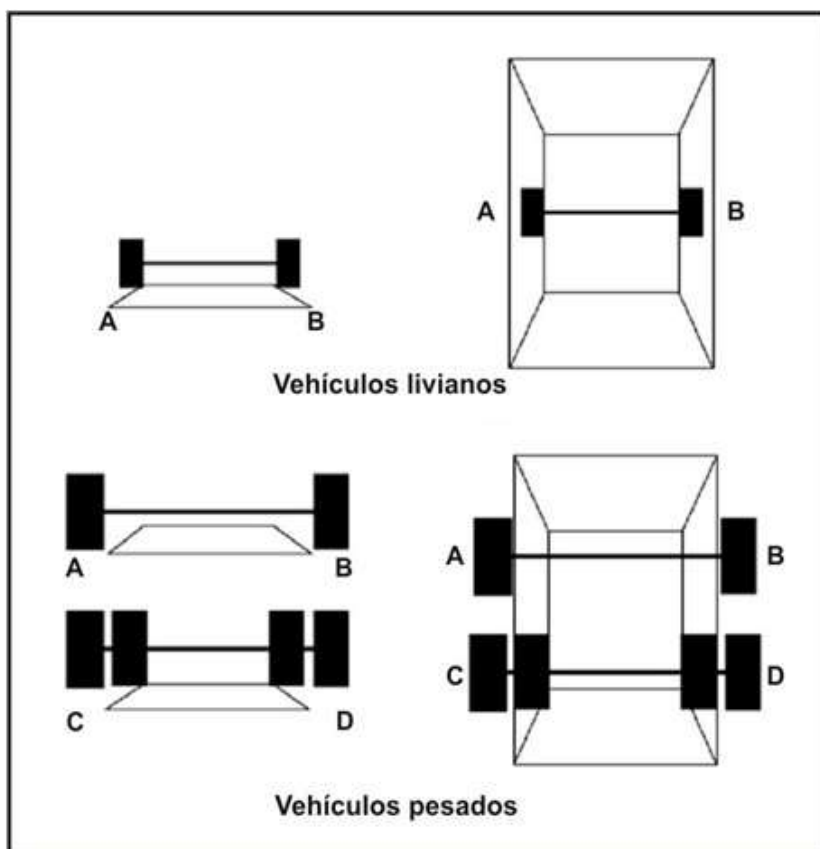


Figura 3.3.1_36. CARACTERÍSTICAS, ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE LAS LOMADAS (RE-SALTOS) TIPO COJÍN

Los principales criterios que establecen la necesidad de instalar cojines son los siguientes:

- Que haya ocurrido a lo menos un accidente de tránsito anual durante los dos últimos años, al cual haya contribuido el factor velocidad, ya sea en la ocurrencia o en su gravedad.
- Que la velocidad de operación sea mayor a 60 km/hr y que ésta constituya un factor de riesgo de accidentes, particularmente para peatones, ciclistas u otros usuarios vulnerables.

Dónde instalarlos:

- En el caso de cercanía a intersecciones y de haber virajes de buses articulados o camiones con remolque hacia la vía donde se proyecte instalar cojines, se recomienda que éstos sean instalados a lo menos a 25 m de la esquina. Para el resto de los casos, dicha distancia puede ser reducida a 10 m.
- En el caso de que su instalación esté destinada a proteger pasos peatonales (cebra), se recomienda que sean ubicados a lo menos a 15 m antes de la facilidad peatonal.
- Deben instalarse próximos a luminaria pública a una distancia no mayor de 3 m medidos desde el borde del cojín.

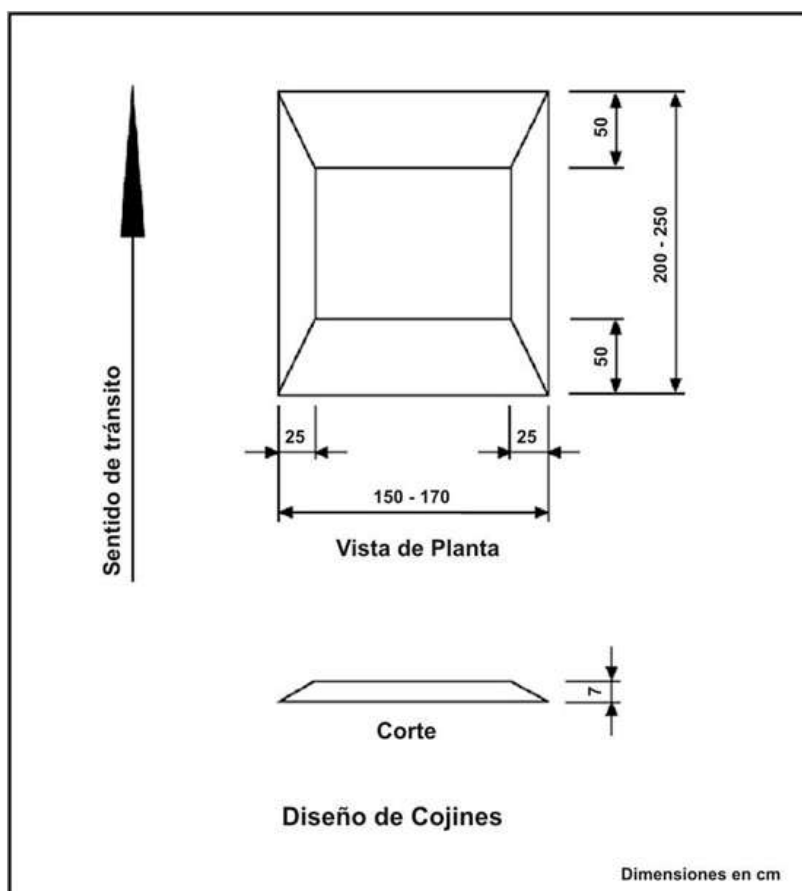
Dónde No instalarlos:

- No deben instalarse a menos de 20 m de una línea de ferrocarril.

- No deben ser instalados a menos de 25 m de estructuras que pasen por debajo o sobre la calzada, como túneles, pasos bajo nivel, colectores, puentes, pasarelas, etc.
- En vías con pendientes mayores a 10%, no deben estar a menos de 20 m de la cima ni a más de 70 m de otro reductor de velocidad.
- No deben instalarse a menos de 30 m de una parada de buses.
- Su instalación no debe interferir con accesos vehiculares ni con elementos tales como sumideros, cámaras de inspección y espiras. Tampoco deben ubicarse frente a grifos.

Criterios de instalación:

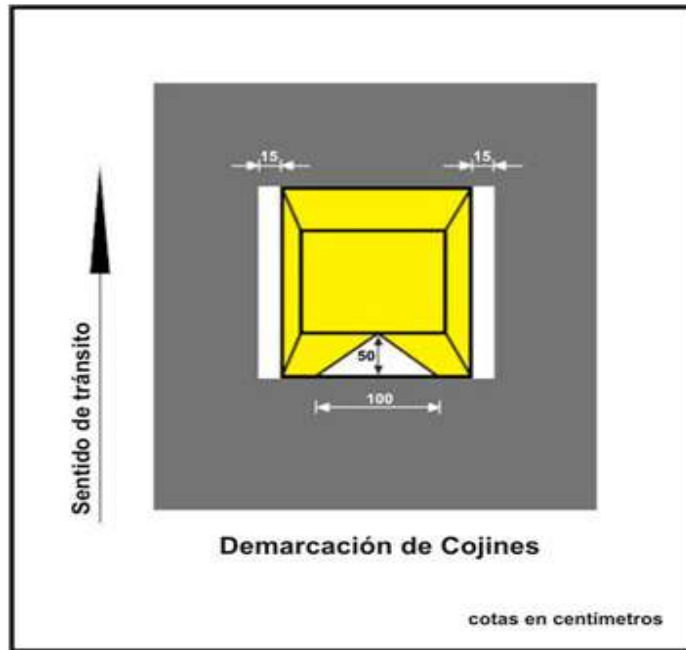
- Se deben instalar en cada carril (pista) de circulación. Pueden ser ubicados en forma individual o en serie. En este último caso, se recomienda distanciados 70 m unos de otros. En todo caso, el distanciamiento de cojines en serie debe estar en el rango de 50 y 100 m.
- Se debe analizar el ancho de la calzada, ya que esta situación podrá definir distintas configuraciones (ver Figura 3.3.1_40). Al respecto, se recomienda que entre pares de cojines, en el sentido transversal de la vía, no exista una distancia mayor a la del ancho de un vehículo liviano (debe ser siempre menor a 1,4 m). En el caso de la distancia entre los cojines y el borde del cordón de la acera, esta debe ser superior a 1 metro, exceptuando aquellas vías de ancho menor a 6 m, donde dicha distancia podrá ser reducida hasta 0,75 m para permitir la circulación segura de vehículos de 2 ruedas.



Medidas en centímetros

Figura 3.3.1_37. DISEÑO DE LOMADA (RESALTO) TIPO COJÍN

Los cojines deben ser demarcados de acuerdo a lo establecido en la Figura 3.3.1_39 a continuación.



Medidas en centímetros

Figura 3.3.1_38. DEMARCACIÓN DE LOMADAS (RESALTOS) TIPO COJÍN

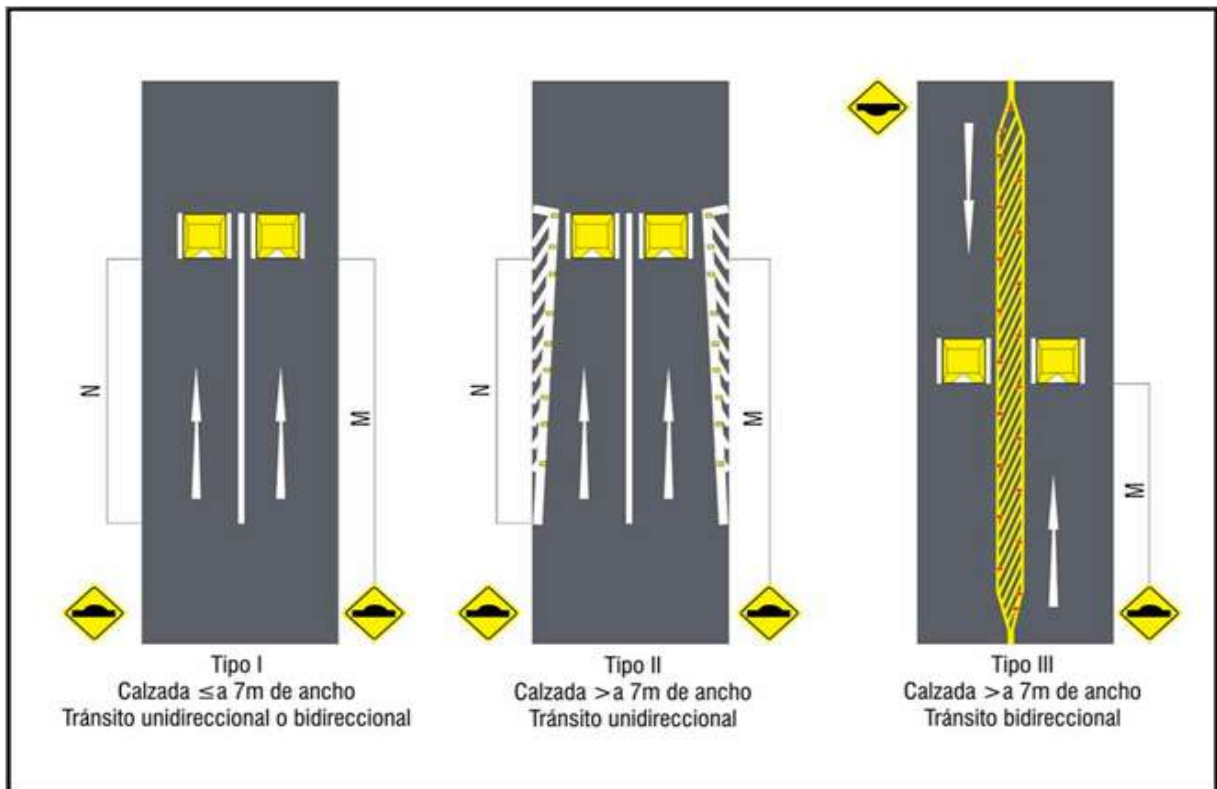
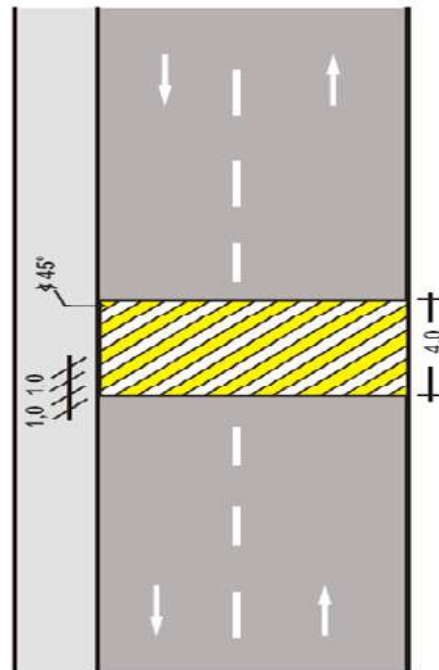


Figura 3.3.1_39. SEÑALIZACIÓN DE DISTINTAS CONFIGURACIONES

E. LOMADA (RESALTO) VIRTUAL

Se denomina lomada (resalto) virtual a una demarcación sobre la superficie del pavimento que busca generar en el conductor la sensación de estar observando una lomada (resalto) real, con el propósito de inducirlo a disminuir la velocidad del vehículo. Corresponde a la demarcación de un rectángulo de 4 m por el ancho total de la calzada, que contiene una serie de franjas oblicuas de 1,0 m, inclinadas a 45° y de colores amarillo y blanco. El uso de estos elementos se recomienda en zonas residenciales, ya que no generan ruido ni vibraciones. Véase Figura 3.3.1_41.



Dimensiones en metros

Figura 3.3.1_40. LOMADA (RESALTO) VIRTUAL

F. LOMADAS (RESALTOS) PORTÁTILES

Son dispositivos elaborados en caucho, plástico o cualquier otro tipo de material sintético de bajo peso y de alta resistencia al impacto que se colocan sobre la superficie de la vía como reductores de velocidad temporales. Podrán ser utilizados para operativos policiales, en zonas escolares a las horas de salida de los estudiantes o en cualquier otra circunstancia en la que se requiera la reducción de las velocidades de los vehículos en forma temporal. Cuando se utilicen este tipo de resaltos, deberá advertirse su presencia con señalización vertical apropiada y reglamentar tanto la velocidad en el sector como la presencia del dispositivo.

Estos dispositivos tendrán dimensiones mínimas de 1,80 m de longitud, 0,40 m de ancho y altura no mayor de 8 cm (ver Figura 3.3.1_42). Deberán ser pintados de color amarillo o con franjas amarillas y blancas de 20 cm de ancho, inclinadas entre 45° y 60°. Las pinturas utilizadas deberán ser reflectivas y cumplir con las especificaciones fijadas en el Capítulo 114 de Especificaciones Técnicas Generales.

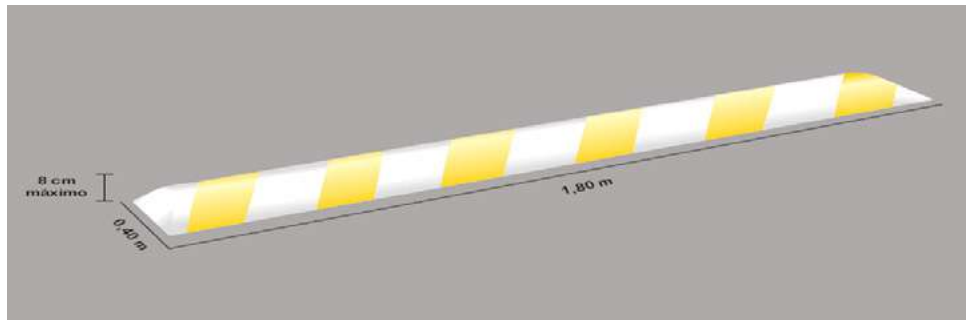


Figura 3.3.1_41. LOMADA (RESALTO) PORTÁTIL

G. DISTANCIADORES

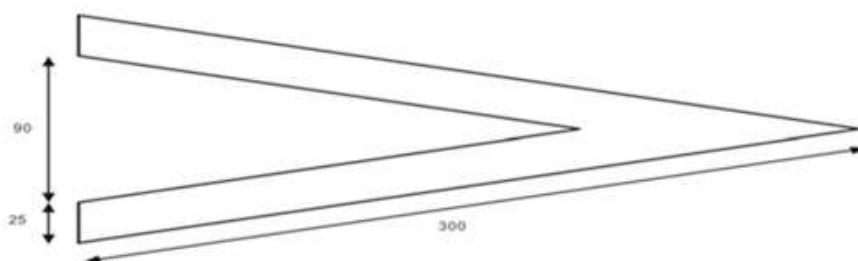
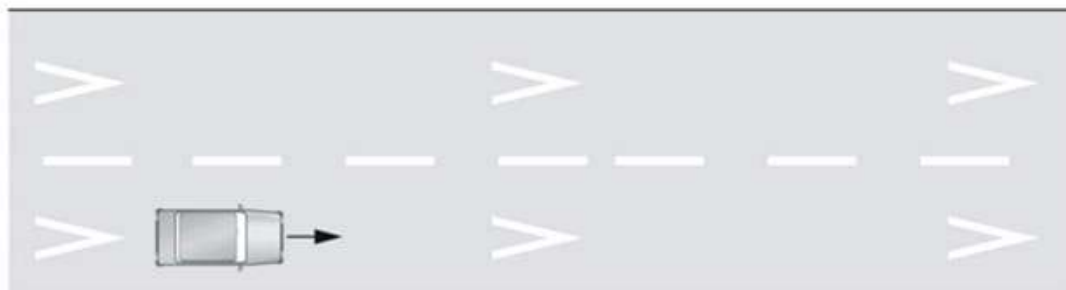
Es un símbolo que se emplea para indicar al conductor la distancia al vehículo que lo antecede, con la finalidad de disponer del tiempo suficiente para reaccionar en caso frenadas imprevistas. Esta distancia de seguridad corresponde a la comprendida entre dos distanciadores.

Esta demarcación tiene la forma de una punta de flecha y tiene las dimensiones indicadas en la Figura 3.3.1_43.

Se deberán demarcar en cada pista de circulación a una distancia entre sí que depende de la velocidad máxima permitida en la vía, la cual se indica en la Tabla 3.3.1_10.

Tabla 3.3.1_10. SEPARACIÓN ENTRE DISTANCIADORES

VELOCIDAD MÁXIMA DE LA VÍA (km/h)	SEPARACIÓN ENTRE DISTANCIADORES (m)
50	15
60	20
70	25
80	30
90	35
100	40



Medidas en centímetros

Figura 3.3.1_42. DISTANCIADORES

H. LÍNEAS REDUCTORAS DE VELOCIDAD

Tienen el objetivo de causar una ilusión óptica al conductor para que disminuya su velocidad. Se emplearán generalmente en los pasos a nivel de peatones y en zonas de alto riesgo de accidente. Se colocarán transversalmente al eje de la vía y sólo deberán abarcar el carril de circulación. Siempre serán de color blanco.

La distribución de las líneas obedece a un espaciamiento logarítmico. La distancia longitudinal y el número de líneas requeridas para estas marcas, estará en función de la diferencia entre la velocidad de proyecto o de operación de la vía y la velocidad requerida para la restricción.

La guía para la distribución de las líneas, de acuerdo con las velocidades descritas, se muestra en la Tabla 3.3.1_11 y un ejemplo práctico de su aplicación se registra en la Figura 3.3.1_44.

Se recomienda el uso de estas líneas en vías rurales, o como complemento de otros reductores de velocidad.

Tabla 3.3.1_11. SEPARACIÓN ENTRE LÍNEAS REDUCTORAS DE VELOCIDAD

DIFERENCIAS DE VELOCIDAD (km/h)	20	30	40	50	60	70	80
NÚMERO DE LÍNEAS REQUERIDAS	13	20	26	32	38	44	51
ESPACIO ENTRE LÍNEA N° Y N°	ESPACIAMIENTO ENTRE LÍNEAS (m)						
1 y 2	15,25	15,25	15,25	15,25	15,25	15,25	15,25
2 y 3	11,75	12,55	13,10	13,50	13,70	13,90	14,05
3 y 4	9,55	10,70	11,50	12,05	12,50	12,80	13,05
4 y 5	8,05	9,30	10,25	10,90	11,45	11,85	12,15
5 y 6	6,95	8,25	9,25	10,00	10,60	11,05	11,40
6 y 7	6,10	7,40	8,40	9,25	9,80	10,30	10,70
7 y 8	5,50	6,70	7,70	8,50	9,15	9,70	10,10
8 y 9	4,95	6,10	7,15	7,95	8,60	9,15	9,60
9 y 10	4,50	5,65	6,60	7,40	8,10	8,65	9,10
10 y 11	4,15	5,25	6,20	7,00	7,65	8,20	8,65
11 y 12	3,85	4,85	5,80	6,60	7,325	7,80	8,25
12 y 13	3,55	4,55	5,45	6,25	6,90	7,45	7,90
13 y 14		4,30	5,15	5,90	6,55	7,10	7,55
14 y 15		4,05	4,90	5,60	6,25	6,80	7,25
15 y 16		3,85	4,65	5,35	6,00	6,55	7,00
16 y 17		3,65	4,45	5,10	5,75	6,30	6,75
17 y 18		3,45	4,25	4,90	5,50	6,05	6,50
18 y 19		3,30	4,05	4,70	5,30	5,80	6,25
19 y 20		3,15	3,90	4,50	5,10	5,60	6,05
20 y 21			3,75	4,35	4,90	5,40	5,85
21 y 22			3,60	4,20	4,75	5,25	5,65
22 y 23			3,45	4,05	4,60	5,10	5,50
23 y 24			3,30	3,90	4,45	4,95	5,35
24 y 25			3,20	3,75	4,30	4,80	5,20
25 y 26			3,10	3,65	4,20	4,65	5,05
26 y 27				3,55	4,10	4,50	4,90
27 y 28				3,45	4,00	4,35	4,75
28 y 29				3,35	3,90	4,25	4,65
29 y 30				3,25	3,80	4,15	4,55
30 y 31				3,15	3,70	4,05	4,45
31 y 32				3,10	3,60	3,95	4,35
32 y 33					3,50	3,85	4,25
33 y 34					3,40	3,75	4,15
34 y 35					3,30	3,65	4,05
35 y 36					3,20	3,55	3,95
36 y 37					3,10	3,45	3,85

37 y 38					3,05	3,35	3,75
38 y 39						3,30	3,65
39 y 40						3,25	3,55
40 y 41						3,20	3,45
41 y 42						3,15	3,40
42 y 43						3,10	3,35
43 y 44						3,05	3,30
44 y 45							3,25
45 y 46							3,20
46 y 47							3,15
47 y 48							3,10
48 y 49							3,05
49 y 50							3,00
50 y 51							2,95
LONGITUD DE ESPACIAMIENTO (m)	84,15	122,30	158,40	194,40	231,13	266,55	304,20
LONGITUD TOTAL (ESPACIO + ANCHURA DE LÍNEA) (m)	91,95	134,30	174,00	213,60	253,93	292,95	334,80

I. SONORIZADORES

Un sonorizador es un dispositivo de concreto armado y corrugado, construido a nivel del suelo, que causa trepidación y ruido, lo cual eventualmente transmite a los ocupantes de los vehículos una pequeña molestia cuya función es inducir a los conductores a reducir la velocidad de operación en sitios en donde existen riesgos de ocurrencia de accidentes. Estos dispositivos deben ser complementados con la señalización vertical y horizontal correspondiente.

Criterios de uso:

- En vías de pendientes acentuadas.
- En carreteras a la entrada a zonas urbanas.
- En la aproximación a curvas peligrosas.
- Cuando se presente estrechamiento en la vía.

No deberá usarse en zonas residenciales y frente a hospitales, áreas de trabajo, zonas escolares, Bibliotecas, etc., debido al alto grado de vibración y de ruido que generan.

Estos dispositivos deberán ser construidos a todo lo ancho de la calzada y estarán compuestos por dos segmentos de 5 m de longitud, espaciados entre sí 10 m. Pueden ser usados para alertar a los conductores en el caso de la existencia de reductores de velocidad tipo resalto, para disminuir el impacto al pasar por encima de estos. Ver Figura 3.3.1_45.

Los sonorizadores pueden ser prefabricados o fabricados en el sitio. Detalles de su apariencia y construcción pueden apreciarse en las Figuras 3.3.1_46 y 3.3.1_47

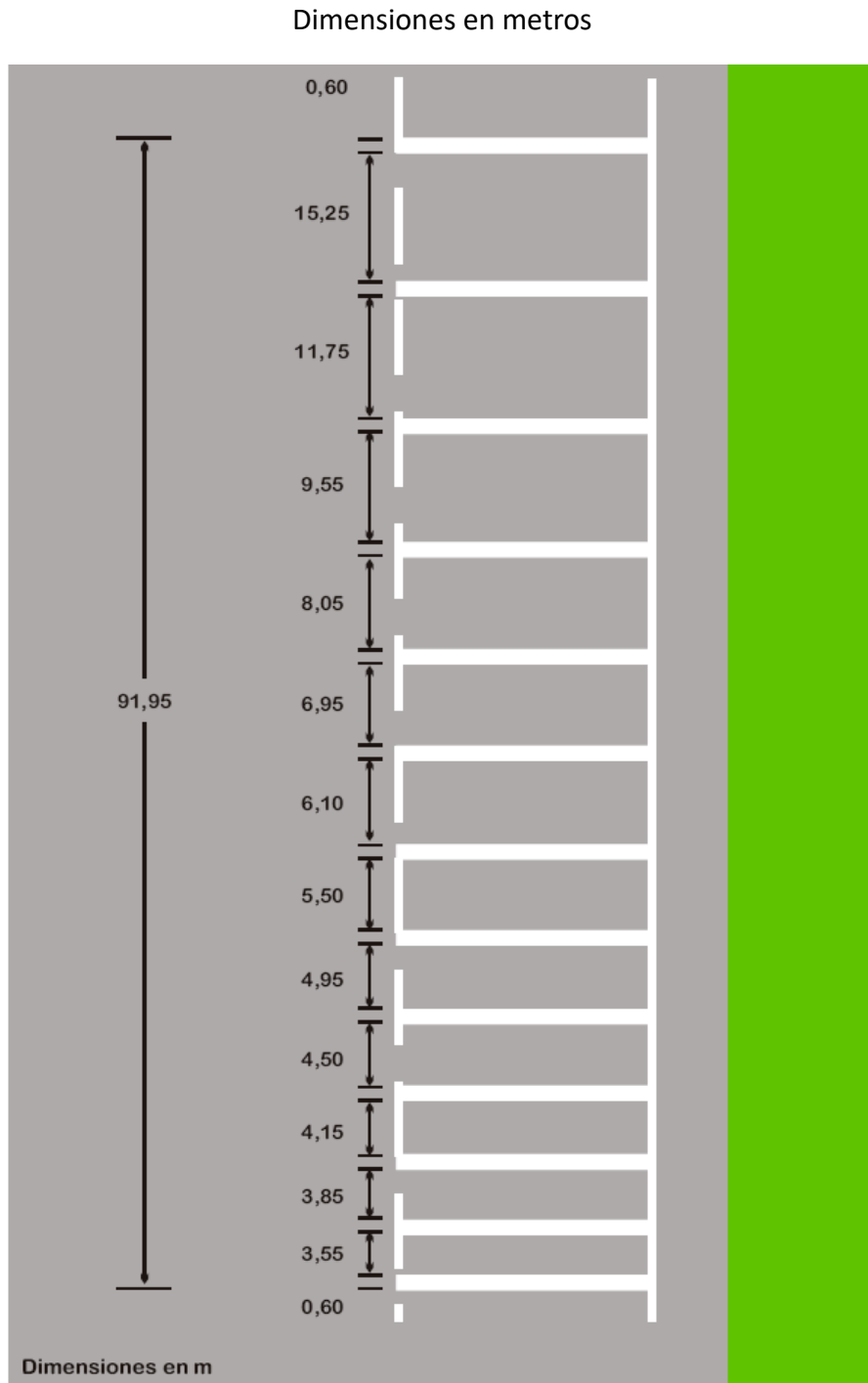


Figura 3.3.1_43. EJEMPLO DE LÍNEAS REDUCTORAS DE VELOCIDAD PARA UNA VELOCIDAD DE ENTRADA DE 50 km/h Y VELOCIDAD DE SALIDA DE 30 km/h

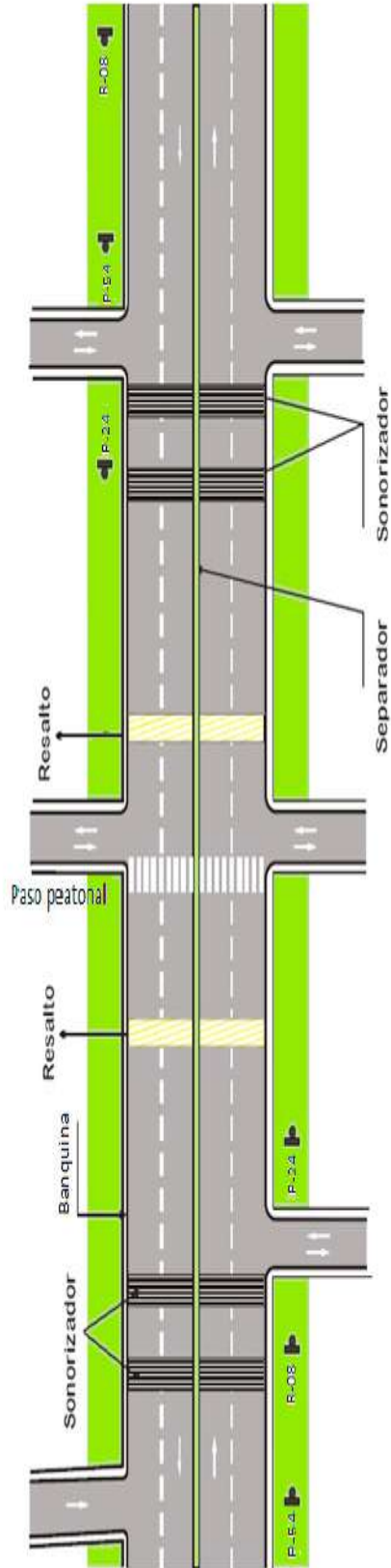


Figura 3.3.1_44. USO COMBINADO DE REDUCTORES DE VELOCIDAD

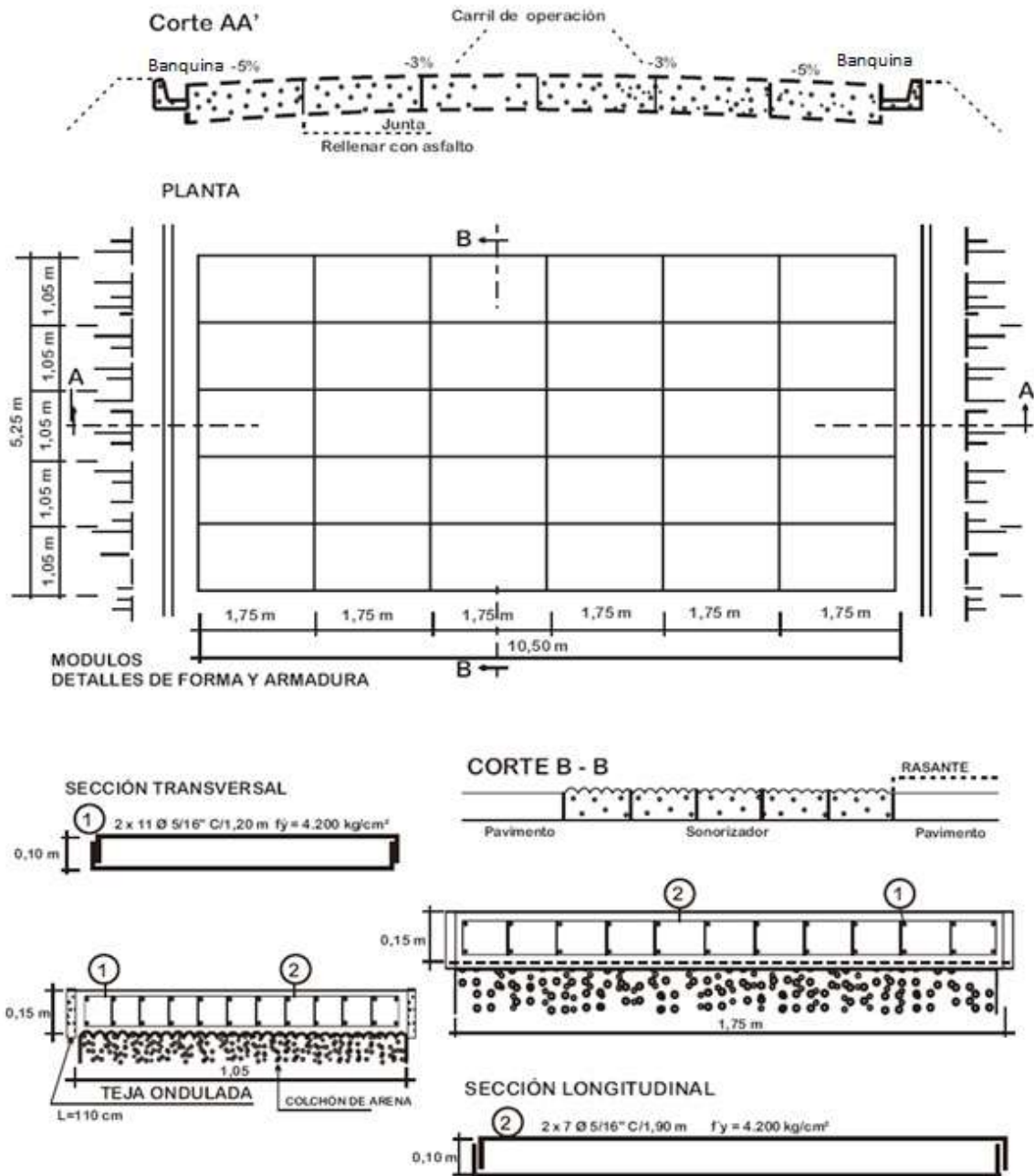


Figura 3.3.1_45. SONORIZADOR PREFABRICADO

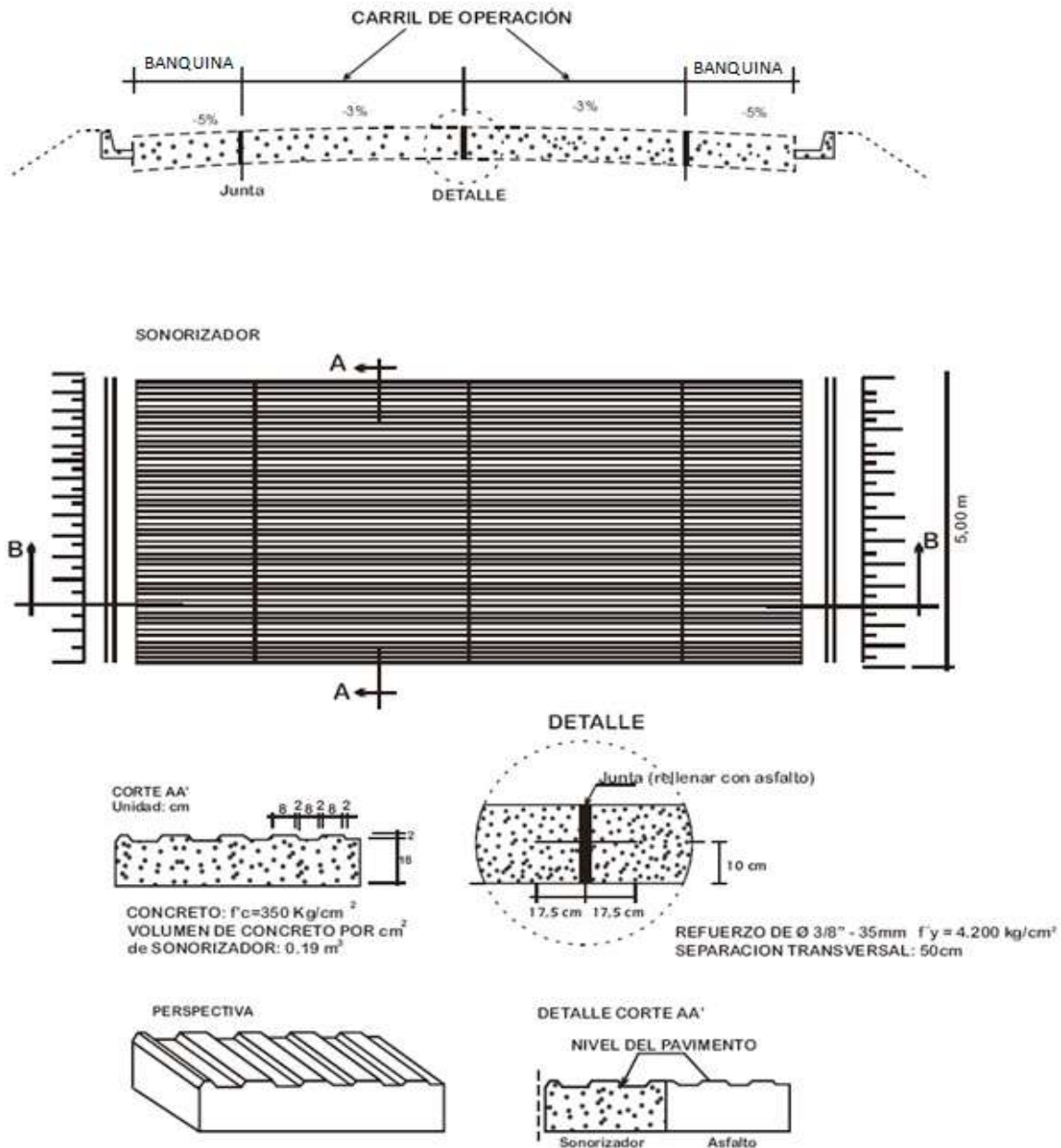


Figura 3.3.1_46. SONORIZADOR FABRICADO EN SITIO

J. BANDAS ALERTADORAS

Son dispositivos fabricados con aglomerados o estoperoles, sujetos al piso mediante el uso de pinturas epóxicas, resinas termoplásticas, plásticos de dos componentes, etc., que causan trepidación y ruido, lo cual eventualmente transmite una pequeña molestia a los ocupantes de los vehículos, que tiene el objetivo de inducir a los conductores a reducir la velocidad de operación en sitios donde existe riesgo de ocurrencia de accidentes. La altura de las bandas alertadoras determina el nivel de impacto en los conductores, por lo cual ésta se determinará de acuerdo con el nivel de restricción que se quiera obtener, en todo caso no deberán sobresalir del pavimento más de 3 cm.

Estos dispositivos deberán ser instalados en todo el ancho de la calzada, por parejas de bandas de 50 cm de longitud, espaciadas entre sí 1 m. Dichas parejas estarán separadas en progresión logarítmica, de forma similar a las líneas reductoras de velocidad tratadas en el acápite 109.07.8, para generar en el conductor un efecto óptico sonoro de aceleración del vehículo, que lo induzca a reducir la velocidad de operación. El diseño de este tipo de dispositivos y la separación entre líneas se muestra en la Figura 3.3.1_48.

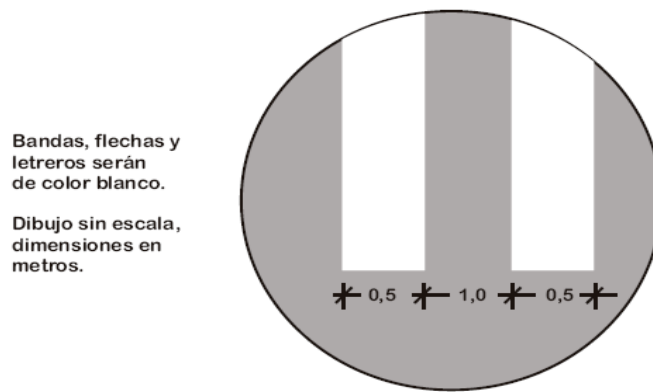


Figura 3.3.1_47. DISPOSICIÓN DE BANDAS ALERTADORAS CONSTRUIDAS CON ESTOPEROLES

Su uso se orientará en especial a las vías rurales. No se recomienda su utilización en zonas de edificaciones habitadas, ya que se incrementan los niveles de ruido y se genera vibración al paso de los vehículos sobre estos dispositivos, creando conflictos con la comunidad.

Otros dispositivos opcionales como las bandas alertadoras construidas mediante baterías de estoperoles cerámicos, estarán constituidas por líneas separadas entre sí 30 cm y con separación entre estoperoles de 30 cm, distribuidas como se muestra en la Figura 3.3.1_49. Cada batería reemplazará un par de bandas como las mostradas en la Figura 3.3.1_48.

K. OTROS REDUCTORES DE VELOCIDAD

Existen otros elementos que sirven como reductores de velocidad provisionales, tales como lazos y cadenas. Dichos elementos no deberán tener un ancho superior a 5 cm. Además, se deberán utilizar con precaución y aplicando normas especiales de seguridad, ya que se trata de elementos no fijados a la plataforma vial, que podrían ser eventualmente la causa de accidentes.

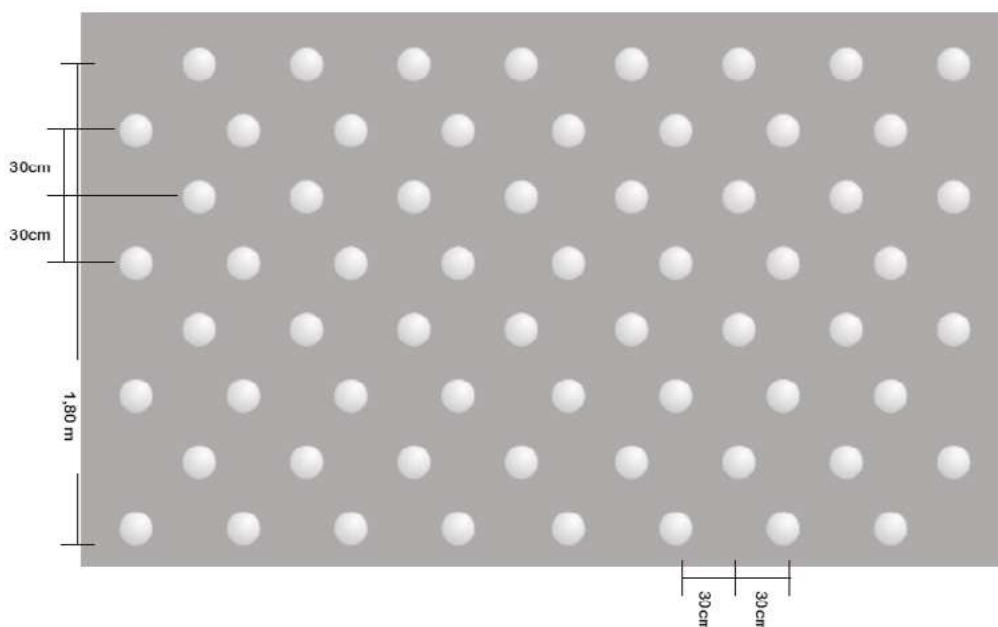


Figura 3.3.1_48. DISEÑO DE UNA BANDA ALERTADORA CONSTRUIDA CON ESTOPEROLES CERÁMICOS

L. BORDES ALERTADORES

El borde alertador consiste en una línea dentada que produce un efecto sonoro y vibratorio dentro del vehículo, cuando éste traspasa dicha línea. Se instala normalmente inmediatamente después de la línea de borde de la calzada, unos centímetros dentro de la banquina o del área sobre la que se desea alertar al conductor que no ingrese. El diseño considera sectores elevados de demarcación cuya altura varía entre 8 mm y 15 mm, con largo entre 10 cm y 25 cm, y separación de 50 cm a 70 cm. Ver Figura 3.3.1_50.

Dimensiones en milímetros

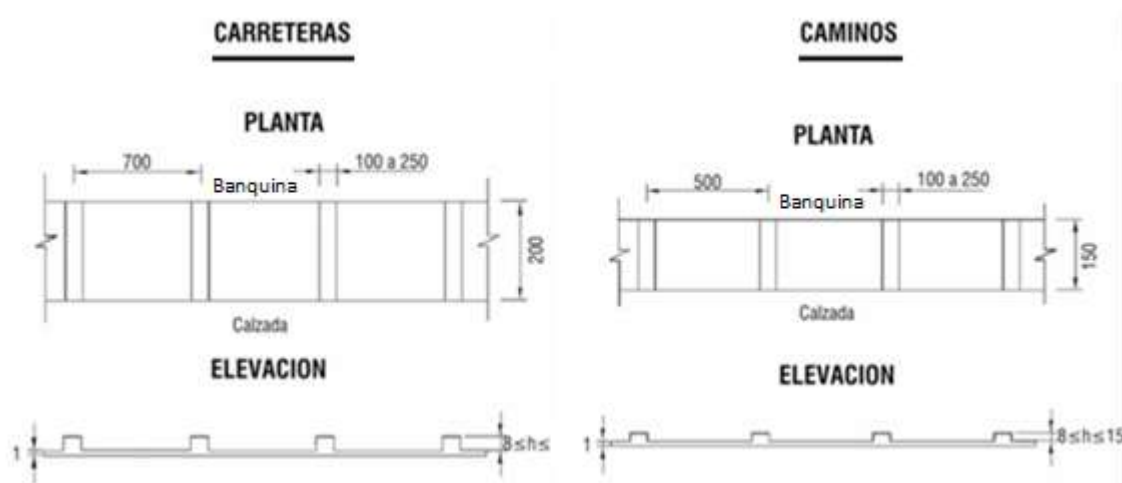


Figura 3.3.1_49. BORDE ALERTADOR

M. FRANJAS SONORAS

Estos dispositivos consisten en rebajes transversales que se ejecutan en banquetas pavimentadas, lo que produce un efecto sonoro y vibratorio dentro del vehículo, advirtiendo al conductor que está abandonando la calzada y debe efectuar maniobras de control.

Estos rebajes tienen una profundidad de 2,5 cm y ancho de 5 cm, y deben ejecutarse transversalmente a la banquina en una longitud de 90 cm, separados 20 cm entre sí. Ver Figura 3.3.1_51.

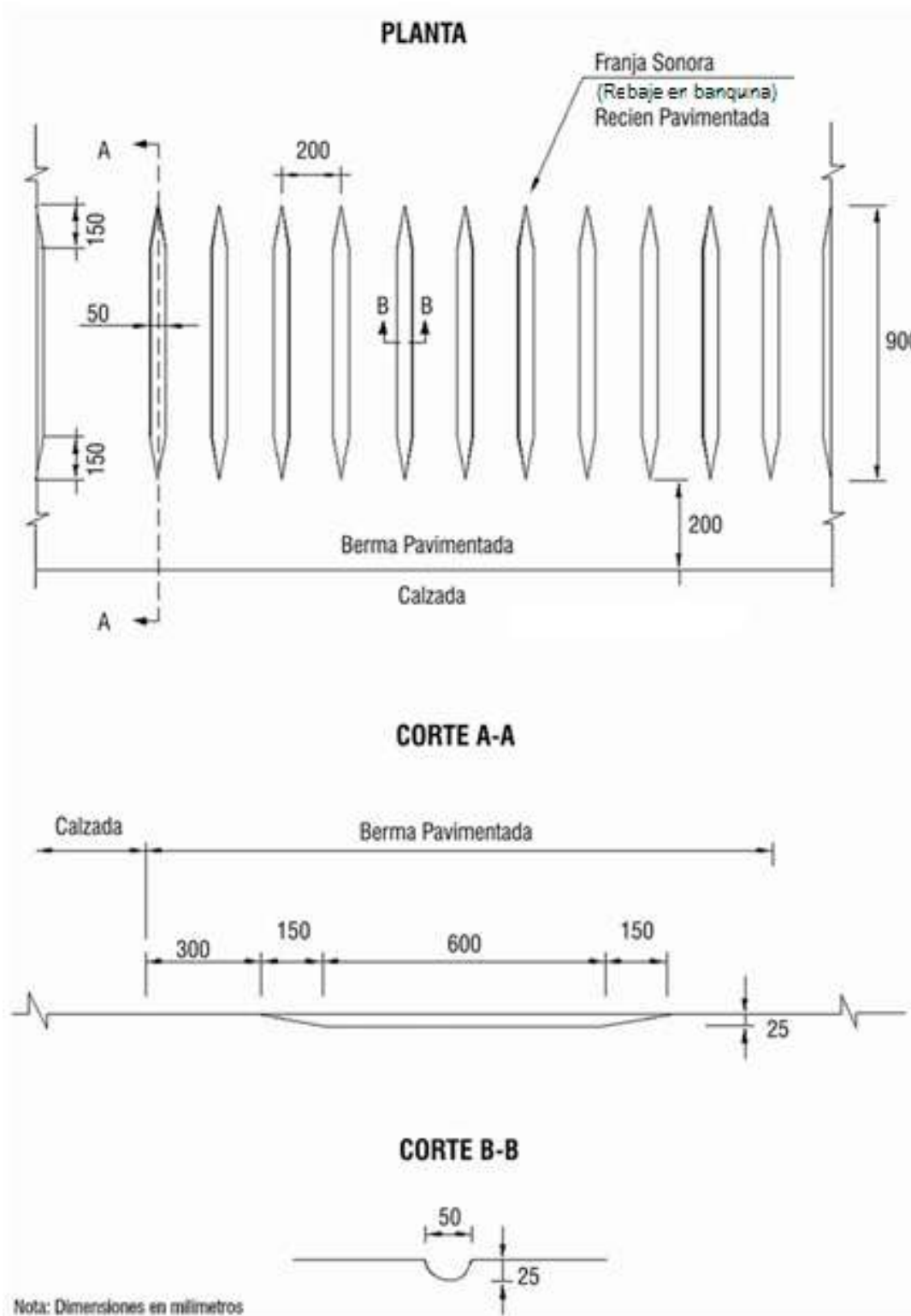


Figura 3.3.1_50.FRANJAS SONORAS

3.3.1.3.8.DELINEADORES DE PISO

A. TACHAS

- **Generalidades**

Si la señalización horizontal se aplica y se mantiene en forma apropiada, es fácilmente visible durante el día y cuando se reflectorizan con esferas de vidrio, es igualmente efectiva y visible durante la noche, en tiempo seco. Sin embargo, en condiciones de lluvia la demarcación se

cubre de una película de agua, las esferas no reflejan la luz en forma apropiada y la línea de demarcación deja de ser visible para los usuarios de las vías.

Los dispositivos más efectivos para mejorar la visibilidad de la demarcación en circunstancias de humedad del pavimento son las tachas reflectivas.

Este tipo de señalización consiste en la instalación de cuerpos sólidos de superficie lisa, blancas o de color, que tienen incorporados materiales reflectivos. Sirven generalmente como complemento de las marcas de pintura en el pavimento y son de gran utilidad para la separación de las vías de circulación, delineación de carriles y señalización de obstáculos.

- **Función**

- Complementar las líneas pintadas sobre el pavimento, guiando al conductor cuando llueve y pierde de vista la línea canalizadora. Así se evita la invasión involuntaria de otros carriles por distracción o fatiga del conductor. Se usan en la línea central para vías de doble sentido, y en línea de carriles para la circulación del tránsito en el mismo sentido y en línea de borde de pavimento.
- Indican el sentido de circulación. Mostrando su cara reflectiva al tránsito que viene en la dirección correcta. Son mono direccionales cuando hay circulación en un solo sentido y bidireccionales cuando hay circulación en ambos sentidos.
- Previenen sobre los peligros que pueden ofrecer curvas fuertes, curvas y contracurvas, en zonas montañosas, intersecciones peligrosas, zonas de adelantamiento prohibido y otras características que impliquen riesgos.
- Sirven para demarcar acceso a zonas de reducción o aumento en el número de carriles.
- Sirven para demarcar porciones de pavimento designadas para ser compartidas con otros usuarios de la vía, como cruces peatonales, carriles para bicicletas e islas dentro de la calzada.
- Identifican ciertas características de las calzadas como rampas de salida de las vías. En éstas se colocan en la punta de las bifurcaciones.

- **Criterios de aplicación**

Se sugieren los siguientes criterios para el diseño e instalación de las tachas reflectivas:

- Seleccionar la vía a ser demarcada, basándose en la frecuencia de los accidentes que han sucedido en horas nocturnas y en condiciones climáticas adversas (lluvia), o bien basándose en otros criterios establecidos que resulten aceptables.
- Disponer las tachas reflectivas en lugares peligrosos conocidos, tales como intersecciones con señales de PARE y cruces a nivel con ferrocarril.
- Disponer tachas reflectivas en curvas.
- Relacionar sitios peligrosos consecutivos de modo tal que se pueda preparar un solo diseño para todos ellos, por ejemplo: una vía en curva puede conectarse con tachas reflectivas a una intersección o a un puente angosto.
- Revisión de las tachas reflectivas instaladas para ver si es necesario agregar otras adicionales, con el fin de aplicar plenamente criterios básicos.

- **Ubicación lateral**

Las tachas reflectivas se instalarán al lado izquierdo de las líneas que van a complementar, a una distancia de 5 cm, a excepción de las líneas de borde de pavimento, cuando existe banquina pavimentada, ya que pueden colocarse del lado derecho de las líneas.

Cuando existan dos líneas continuas de adelantamiento prohibido se ubicarán en el centro de las dos líneas.

- **Tipos, colores, formas y tamaños**

Existen tres grupos de tachas reflectivas en cuanto al material de fabricación:

- de cerámica,
- de materiales plásticos, y
- metálicas.

Los colores más comunes son:

- blanco,
- amarillo,
- rojo.

Sin embargo, para casos especiales pueden usarse tachas azules, para aproximaciones a hospitales, clínicas y centros de atención médica, donde se ubican sobre las líneas de borde de pavimento.

Existen diferentes formas de tachas reflectivas: redondas, cuadradas, rectangulares y ovaladas, con superficie convexa o piramidal, pero en cualquier caso se deberán escoger las de superficie lisa y cuya protuberancia no tenga aristas muy pronunciadas, para que prolongue la duración del dispositivo adherido al pavimento y el impacto de las ruedas de los vehículos no sea excesivamente fuerte. Ver Figura 3.3.1_52.

El área de cada cara reflectiva debe ser mínimo de 20 centímetros cuadrados y la base debe tener un área mínima de 75 centímetros cuadrados para garantizar su adherencia al pavimento y prolongar su vida útil. La altura no debe ser mayor de 2,5 cm.

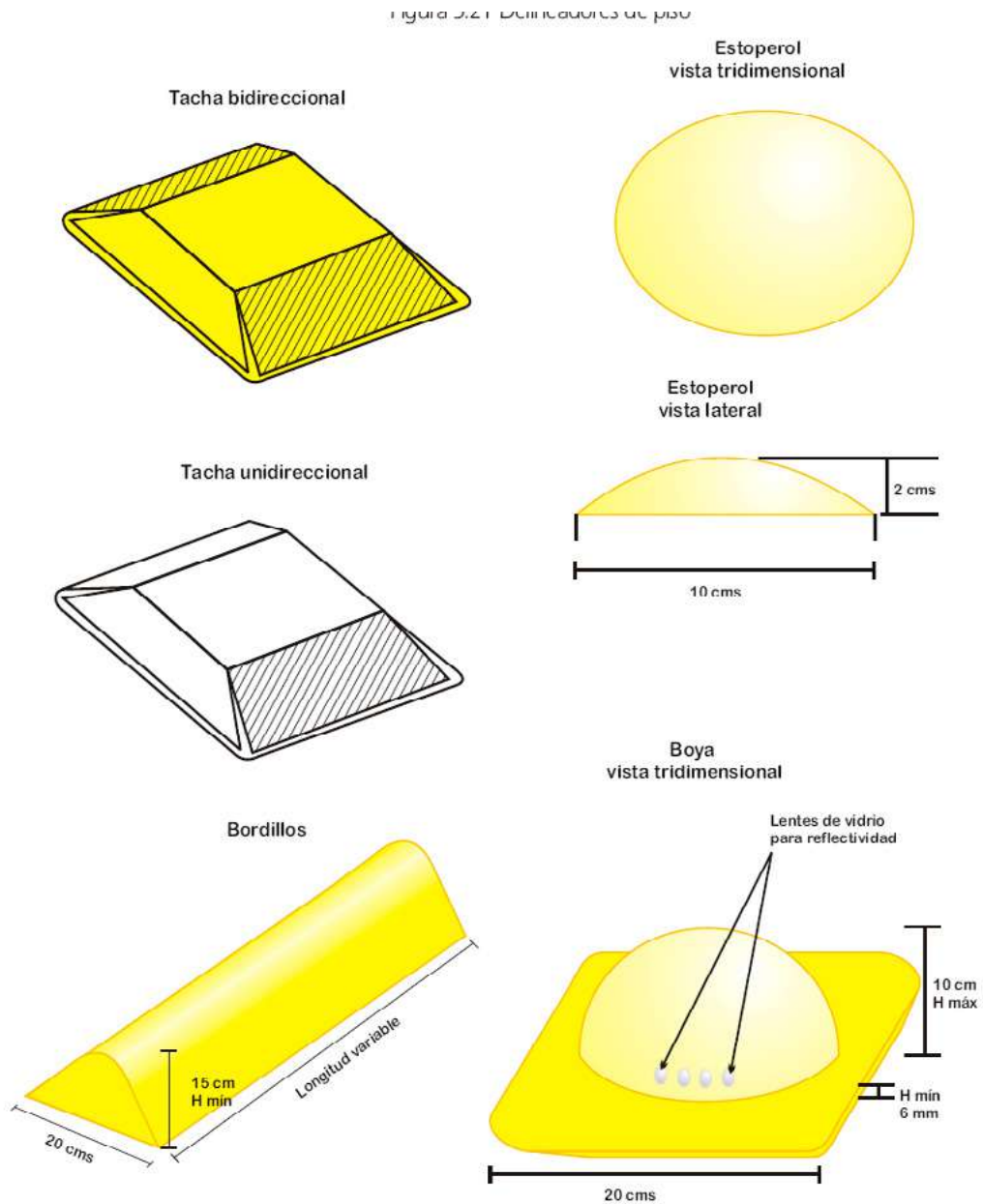


Figura 3.3.1_51. DELINEADORES DE PISO

- **Distribución de acuerdo a colores y funciones**
 - **Distribución en marcas longitudinales**

Serán distribuidas de acuerdo a lo indicado en la Tabla 3.3.1_12, a continuación.

Tabla 3.3.1_12. UBICACIÓN DE TACHAS REFLECTIVAS EN MARCAS LONGITUDINALES

TIPO DE MARCA	UBICACIÓN	CARA REFLECTIVA
Líneas centrales segmentadas amarillas	En el centro de la línea, cada dos espacios	Bidireccional
Líneas de carril	En el centro de la línea, cada dos espacios	Monodireccional
Líneas de canalización	Cada 6 m	Monodireccional

Líneas de borde de pavimento	Cada 24 m	Monodireccional
Líneas de transición en el ancho del pavimento	Cada 8 m	Monodireccional o Bidireccional
Líneas de aproximación a obstrucciones centrales con tránsito en un solo sentido	Cada 6 m	Monodireccional
Líneas de aproximación a obstrucciones centrales con tránsito en ambos sentidos	Cada 6 m	Bidireccional
Líneas para carriles de contraflujo	Cada 3 m	Bidireccional

Nota.- Los colores de las tachas reflectivas deberán ser los mismos que las demarcaciones que están complementando.

- **Distribución en islas y obstáculos**

En una vía rápida, antes de llegar a una bifurcación central, en la línea canalizadora que llegue al vértice de la isla divisoria, se colocarán tachas o boyas reflectivas amarillas a lo largo de la longitud de la aguja, a una distancia de 3 m entre cada una. Los bordes laterales de la isla se marcarán igualmente con tachas reflectivas, colocadas en intervalos de 3 m.

- **Distribución en estacionamientos**

Se utilizarán tachas reflectivas de color blanco. La distribución y el espaciamiento deberá ser establecido cuidadosamente, de forma de no causar desorientación o confusiones a los conductores.

- **En curvas peligrosas y tramos de alto riesgo de accidentes**

En estos sitios se instalarán tachas reflectivas en la línea central, con una separación de 6 m y en la línea de borde pavimento cada 12m.

• **Adhesivos**

Para adherir las tachas reflectivas al pavimento se tendrán en cuenta las especificaciones técnicas establecidas en el Capítulo 114 de la presente Guía. En los casos en que la superficie del pavimento sea de hormigón o en asfalto desgastado con agregados expuestos o deficiencia de ligante, es recomendable utilizar pegante epóxico de dos o más componentes.

B. ESTOPEROLES Y BOYAS

El estoperol es un dispositivo en forma de botón, fabricado en materiales cerámicos o de caucho prensado y esmaltado, lo cual permite obtener un producto duro de superficie brillante, con una alta resistencia mecánica al impacto y al desgaste por fricción. También pueden ser fabricados en materiales metálicos.

Los estoperoles deberán cumplir las mismas pruebas de resistencia a la tensión y a la compresión fijadas para las tachas reflectivas en la especificación técnica correspondiente.

La forma del estoperol es la de una sección de esfera (o domo), con una base plana de 10 cm de diámetro y una altura de 2 cm en la parte más alta del plano perpendicular a la base. Serán de color blanco o amarillo.

Su uso puede ser como marcador, en el sentido paralelo a la circulación del tránsito, en cuyo caso se colocan sobre las líneas de demarcación, cumpliendo la función de avisar al conductor

que está haciendo un cambio de carril. También se utilizan como reductores de velocidad, en la construcción de bandas sonoras, como se explica en la sección 109.07.10.

Por su forma pueden ser visibles en condiciones atmosféricas adversas, ya que su esmalte refleja la luz en horas de oscuridad.

Para la adherencia de los estoperoles y las boyas al pavimento, se utilizan los mismos productos que para las tachas reflectivas. Las características y dimensiones de estos dispositivos se observan en la Figura 3.3.1_ 52.

Las boyas son elementos fabricados en materiales metálicos o en resina poliéster maciza de color amarillo porcelanizado, de alta resistencia al impacto, que tienen en su cara frontal lentes reflectantes de la luz y que se utilizan como dispositivos canalizadores del tránsito, especialmente para demarcar islas o bordillos. En ningún caso podrán ser utilizados como reductores de velocidad.

C. TACHONES Y BORDILLOS

Los tachones son dispositivos sólidos fabricados en resina poliéster maciza de color amarillo porcelanizado, de alta resistencia al impacto, que se anclan al piso mediante dos (2) espigas de varilla de acero corrugado de 16 mm (5/8") y 12 cm de longitud. Se utilizan para separar carriles de circulación en un mismo sentido, principalmente cuando se tienen carriles exclusivos para el transporte público.

La parte superior del tachón estará formada por una superficie curva con forma de joroba, que une las dos caras frontales que tienen dos tipos de inclinación, una de menor ángulo en el plano vertical (mayor drasticidad) que se coloca adyacente al flujo de tránsito de los vehículos de transporte público y la de mayor ángulo que se ubica lindando con el carril de tránsito destinado a vehículos particulares. Todos los bordes que unen las caras del tachón serán redondeadas.

Su altura será de 8 cm, el ancho de 15 cm y el largo de 40 cm. El área de contacto con la superficie del pavimento será como mínimo de 600 cm². Las características geométricas del tachón se muestran en la Figura 3.3.1_ 53.

La base del tachón deberá estar libre de lustre o sustancias que pudieran reducir su ligadura con el adhesivo. Esta deberá ser plana.

Se deberá utilizar únicamente pegante epóxico de dos (2) o más componentes.

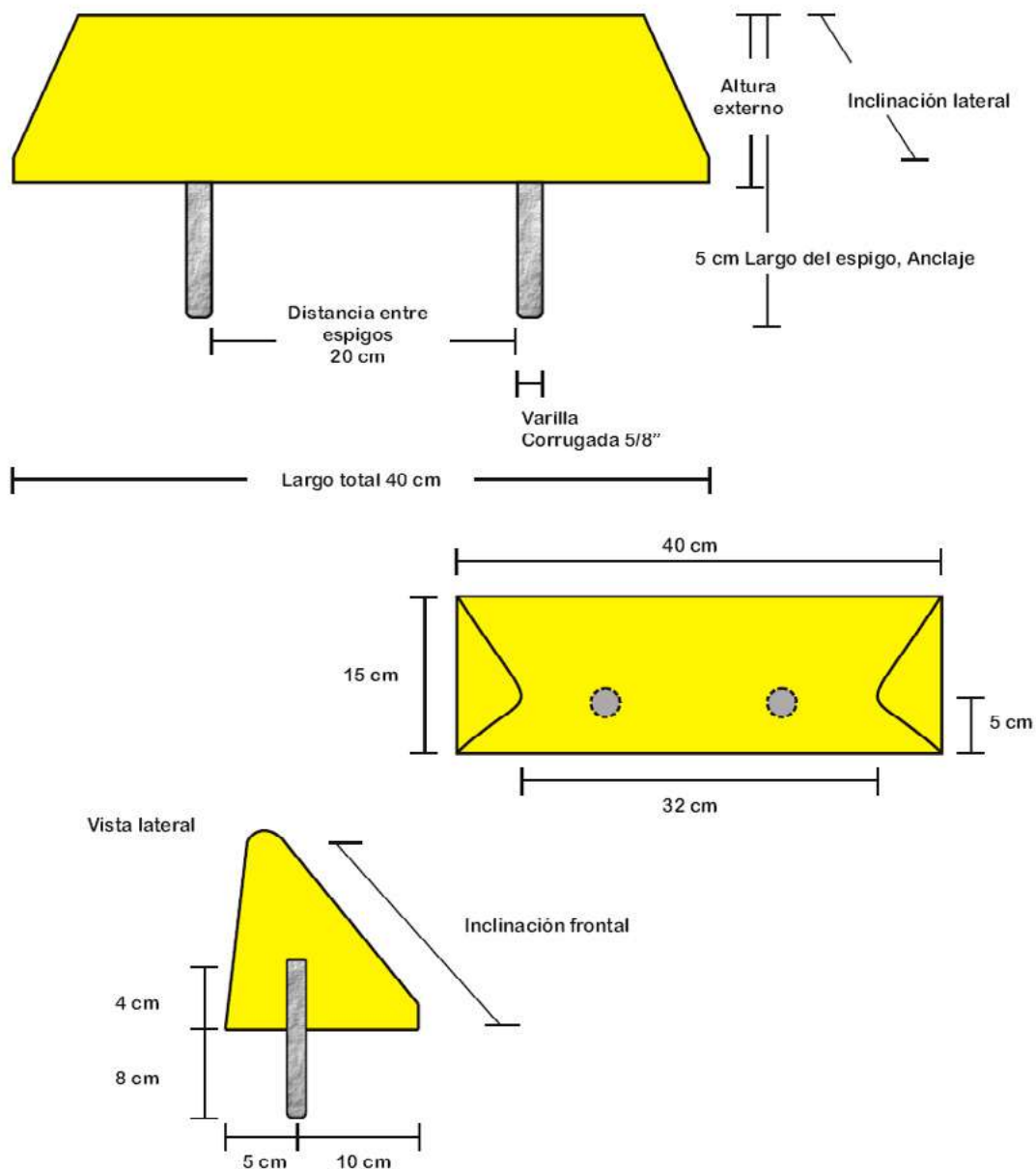


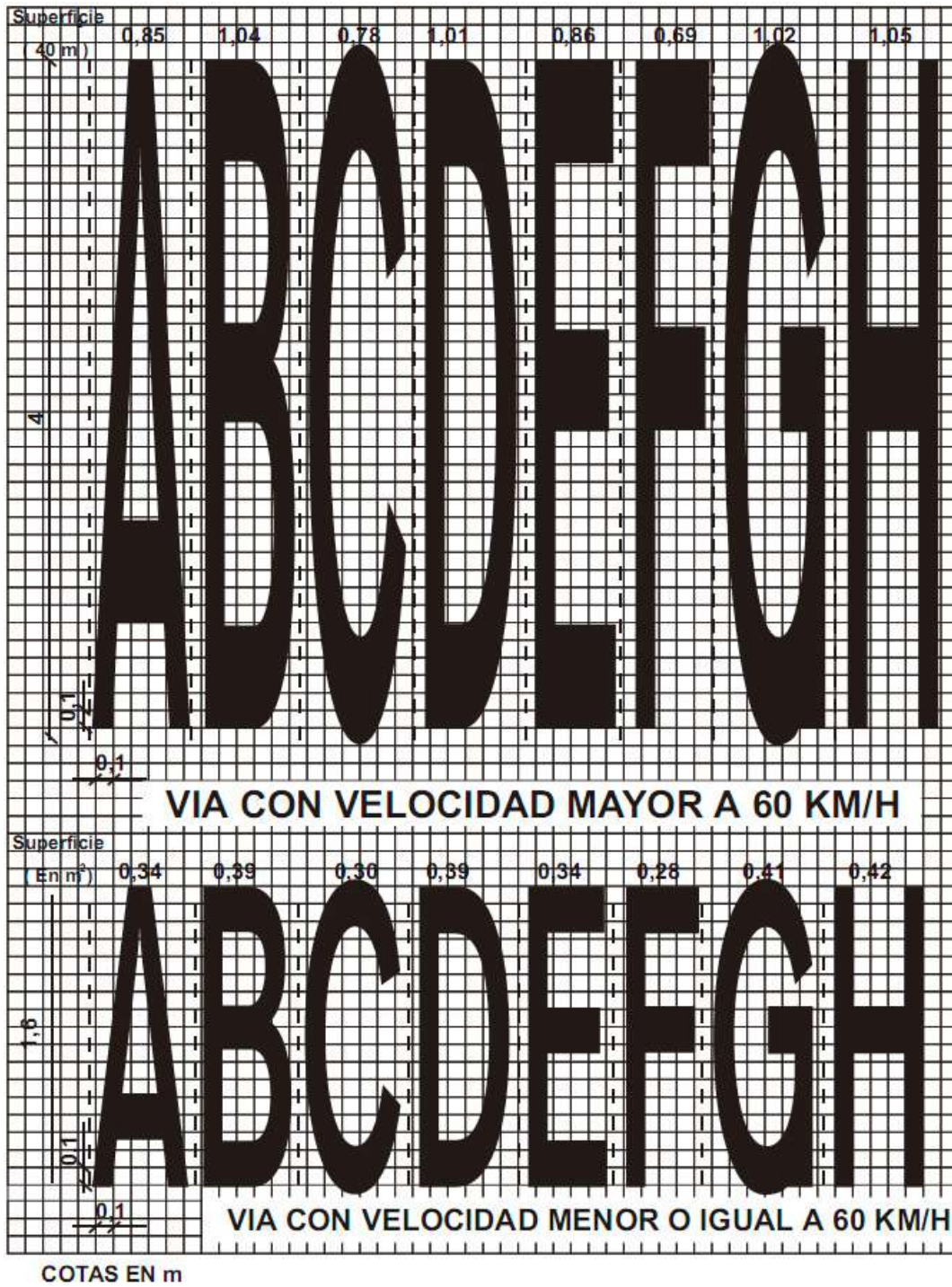
Figura 3.3.1_52. TACHONES

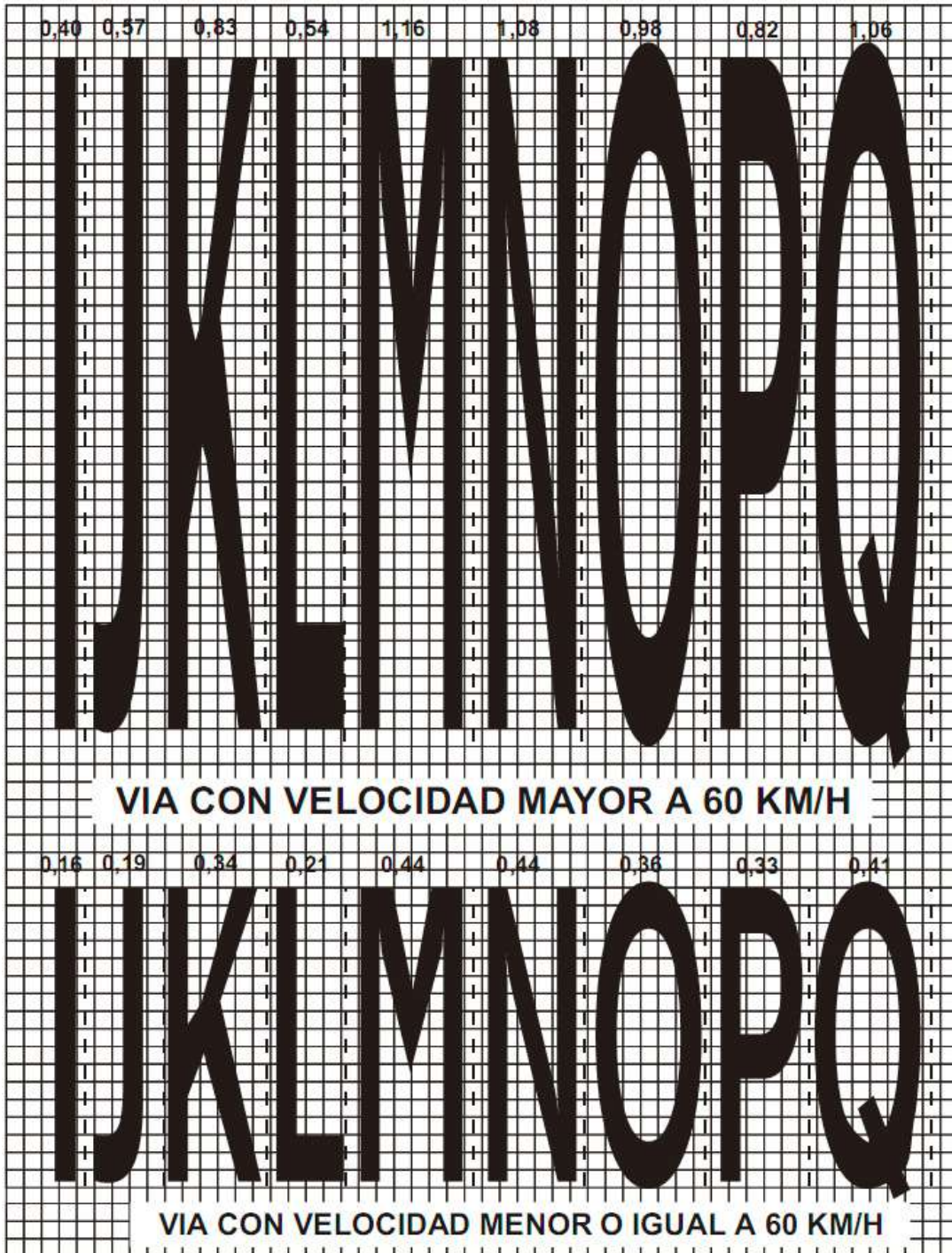
Los bordillos son elementos fabricados en concreto de resistencia mínima de 175 kg/cm², con refuerzo en varilla de acero de 12 mm (1/2") y que se anclan al piso mediante dos espigas en varilla de acero corrugado de 16 mm (5/8"). Se utilizarán principalmente como topes en zonas de estacionamiento, para separación de calzadas de circulación o carriles exclusivos para el transporte público, para demarcar sardineles o islas, etc.

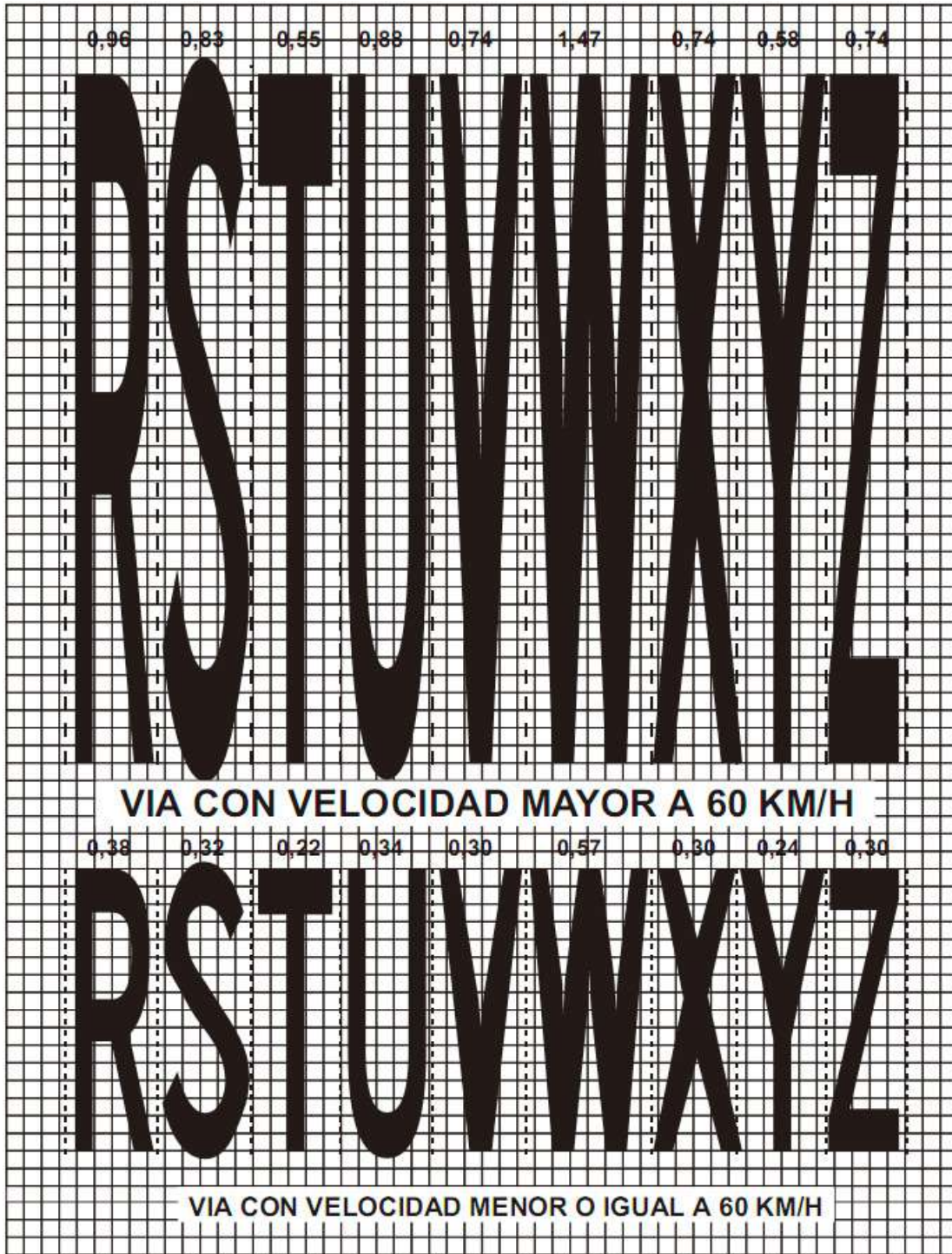
Su adherencia al piso puede realizarse con pegante epóxico de dos o más componentes. Sus características y dimensiones se muestran en la Figura 3.3.1_52.

3.3.1.3.9. ALFABETOS PARA SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL

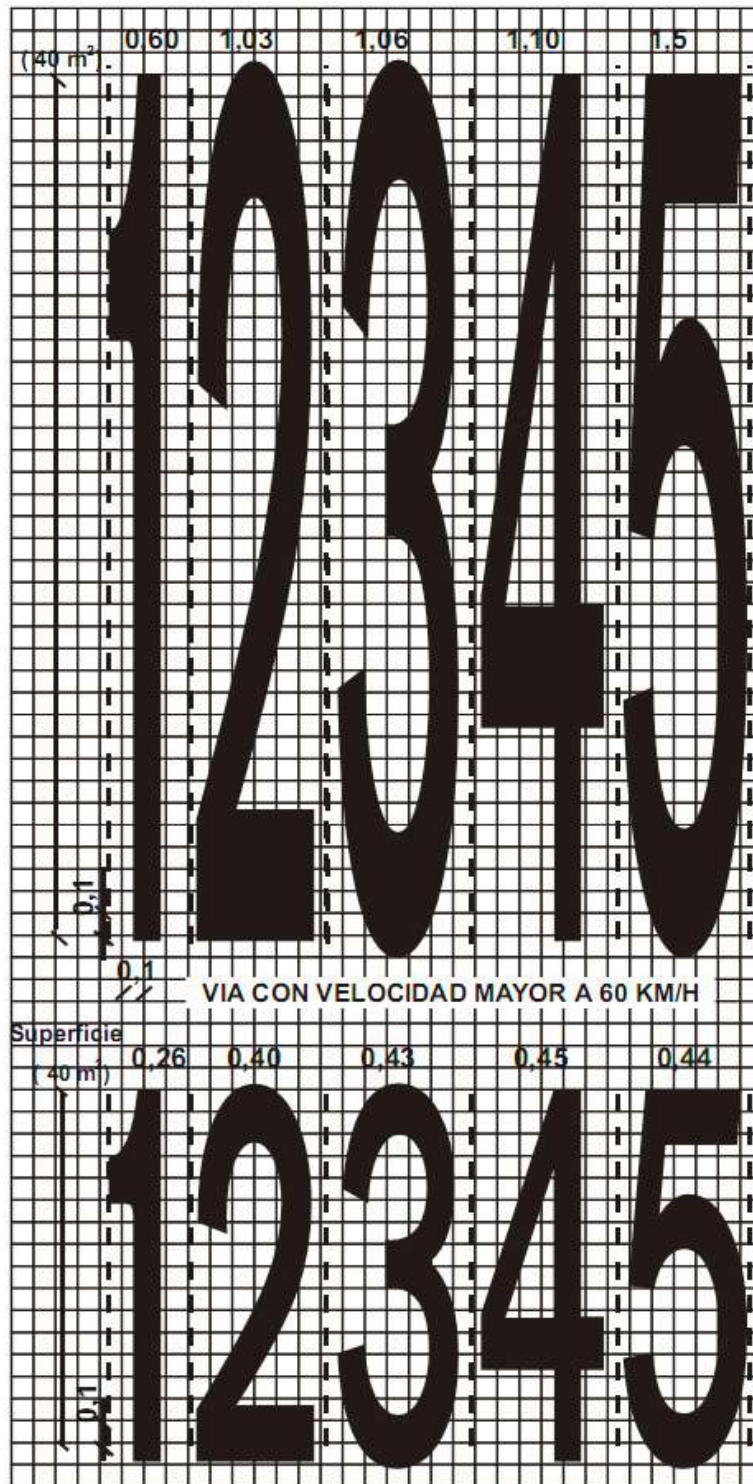
A. LETRAS

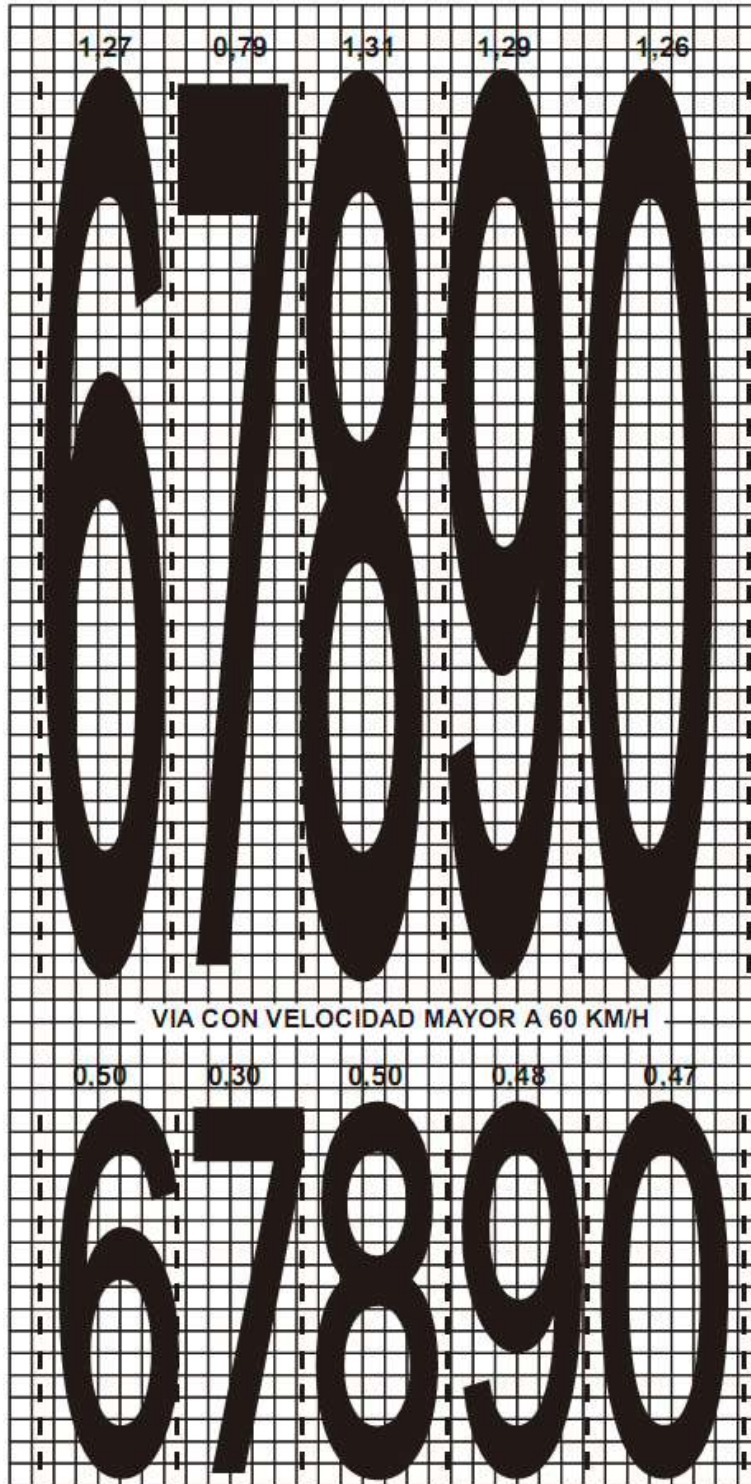






B. NÚMEROS





CAPITULO 3.3.2

DISEÑO DE SEÑALIZACIÓN VERTICAL

SECCION 3.3.2.1.

ASPECTOS GENERALES

3.3.2.1.1. CONCEPTO

Los criterios generales a considerar para el diseño de obras de señalización comprenden la descripción, significado y ubicación de los dispositivos de seguridad y control del tránsito, y la consecuente reglamentación de las especificaciones técnicas y normalización de materiales y tecnologías de construcción y colocación, como también los elementos que hacen a la calidad y seguridad de la circulación vial.

Dicho señalamiento brinda información a través de una forma convenida y unívoca de comunicación, destinada a transmitir al usuario de la vía pública órdenes, advertencias, indicaciones u orientaciones, mediante un lenguaje que debe ser común y uniforme en todo el país, según principios internacionales.

Las señalizaciones ya existentes que difieran de las especificadas deberán ser sustituidas con el fin de mantener el criterio de unicidad, como así también, aquellas que por deterioro o vencimiento del período de vida útil deban ser renovadas.

3.3.2.1.2. COMPETENCIA

El MOPC, es el ente nacional regulador responsable de elaborar, divulgar, unificar y reglamentar el sistema de dispositivos de seguridad vial, referidos a señalización vertical, horizontal, transitoria, semaforización y especificaciones técnicas referidas a los materiales y calidades mínimas exigibles.

El señalamiento lo realiza o autoriza el organismo nacional, departamental o municipal responsable de la estructura vial, siendo también de su competencia colocar o exigir la señal de advertencia en todo riesgo más o menos permanente. Los que sean transitorios deben ser eliminados por la autoridad que primero intervenga, caso contrario debe señalizarlos o exigir que se lo haga, con intervención policial cuando corresponda.

Todo dato que deba transmitirse al usuario de la vía a efectos de la circulación y seguridad, se hará solo mediante este sistema, no pudiéndose utilizar símbolos o señales no contemplados en el mismo. En caso que sean necesarias señales no incluidas en el presente documento, dicha aplicación deberá hacerse bajo la responsabilidad del organismo responsable, tomando en consideración simbología internacionalmente aceptada. Con el fin que la presente Guía sea mejorada y actualizada de forma permanente, las adiciones de nuevas señales serán comunicadas de forma oficial al MOPC de forma que la Guía pueda ser actualizada periódicamente.

Todo cartel, propaganda o leyenda sobre la vía pública, que no se ajuste al presente, debe ser removido, sin perjuicio de las sanciones que puedan corresponder. Las autorizaciones al respecto, para ser válidas, deben tener en forma visible, la constancia del permiso de la autoridad del tránsito local.

3.3.2.1.3. OBLIGATORIEDAD

El significado de la señalización así como las indicaciones que este material establece, se presumen conocidas por todos los usuarios de la vía pública, no existiendo esta presunción respecto de las disposiciones locales accesorias y las que crean excepción a una norma general, por lo que deben enunciarse conforme al presente.

Las órdenes transmitidas a través de este sistema de señalización vial, son obligatorias para el usuario al que están destinadas, constituyendo contravención su falta de cumplimiento, en tanto y en cuanto aquellas se ajusten al presente.

3.3.2.1.4. FUNCIÓN

Es función de los dispositivos para la regulación del tránsito indicar a los usuarios las precauciones que deben tener en cuenta, las limitaciones que gobiernan el tramo de circulación y las informaciones estrictamente necesarias, dadas las condiciones específicas de la vía.

La velocidad en las vías modernas, al mismo tiempo que el continuo crecimiento del volumen de vehículos que circulan por ellas, son factores que sumados al acelerado cambio en la forma de vida, crean situaciones conflictivas en determinados tramos de las vías, en las cuales es preciso prevenir, reglamentar e informar a los usuarios, por intermedio de las señales de tránsito, sobre la manera correcta de circular con el fin de aumentar la eficiencia, la seguridad y la comodidad de las vías, así como proporcionar una circulación más ágil. Éstas deben ser de fácil interpretación, suministrando a los conductores y peatones los mensajes claves, sin ambigüedades.

3.3.2.1.5. VISIBILIDAD

Para garantizar la visibilidad de las señales y lograr la misma forma y color tanto en el día como en la noche, los dispositivos para la regulación del tránsito deben ser elaborados preferiblemente con materiales reflectivos o estar convenientemente iluminados. La reflectividad se consigue fabricando los dispositivos con materiales adecuados que reflejen las luces de los vehículos, sin deslumbrar al conductor.

3.3.2.1.6. USO

Con el fin de garantizar la efectividad de los dispositivos para el control del tránsito, es de relevante importancia elaborar siempre un estudio minucioso que permita establecer el mejor uso y ubicación de las señales evitando inconvenientes por su mala utilización, además de facilitar la comprensión de las señales y el acatamiento por parte de los usuarios.

La utilización de símbolos y pictogramas, así como de leyendas, letras, palabras y separaciones entre ellas, debe ajustarse a las orientaciones descritas en este documento. La uniformidad en el diseño y en la colocación de los dispositivos para la regulación del tránsito, debe mantenerse siempre.

Los dispositivos para la regulación del tránsito, y en especial las señales verticales, no deberán ir acompañados por mensajes publicitarios, dado que le resta efectividad a la señal, convirtiéndose en distractor e incrementando el riesgo de accidentes.

3.3.2.1.7. CONSERVACIÓN

Todas las señales que regulen el tránsito, deben permanecer en su correcta posición, limpias y legibles durante el tiempo que estén en la vía. Los programas de conservación deben incluir el reemplazo de los dispositivos defectuosos, el retiro de los que no cumplan con el objeto para el cual fueron diseñados (debido a que han cesado las condiciones que obligaron a su instalación) y un mantenimiento rutinario de limpieza.

3.3.2.1.8. CONSTRUCCIÓN

Los dispositivos regulados por el presente deben estar contruidos, instalados y mantenidos según las normas de diseño y de calidad mínima aquí exigidas y las contenidas en las especificaciones técnicas generales.

Todo proveedor o constructor de material y tecnología para señalamiento debe dar garantía de que se cumplan los niveles mínimos de calidad legal o los que contractualmente se especifiquen por arriba de éstos.

3.3.2.1.9. DELETABILIDAD

Se entiende por deletabilizar, hacer que una cosa pierda o disminuya su condición de peligrosa o que resulte inocua.

Todo elemento constitutivo de la señal o dispositivo debe estar fuera de la calzada y banquetas, salvo imposibilidad de hecho. Aquellos que constituyan riesgo a la circulación, deberán tener un sistema que evite eventuales impactos o que, de producirse, no sean de magnitud.

Del mismo modo se debe impedir la colocación de señales no autorizadas, de elementos que las perturben o deterioren o de publicidad en infracción.

Cuando deba hacerse uso de la fuerza para impedir un acto o retirar un elemento, se recurrirá a la autoridad policial próxima, quien removerá de inmediato el material que cause peligro a la circulación, sin perjuicio de otras medidas que correspondan.

SECCION 3.3.2.2.

SEÑALIZACIÓN VERTICAL

3.3.2.2.1. CONFORMACIÓN FÍSICA

A. PLACA

A.1. FORMA

La placa debe mantenerse rígida y ser resistente a las inclemencias climáticas del lugar, presentando un adecuado comportamiento frente a la corrosión en las condiciones de servicio; su perfil y tamaño varían con las dimensiones que determinan las especificaciones de diseño.

A.2. REVESTIMIENTO

Las placas de las señales verticales serán elaboradas en lámina de acero galvanizado, aluminio o poliéster reforzado con fibra de vidrio, de acuerdo con las especificaciones fijadas en la presente Guía.

La placa podrá ser pintada (sólo para placas de material no reflectivo), de láminas reflectivas o con iluminación externa o interna. En las vías pavimentadas o mejoradas las señales deben ser de láminas reflectivas.

En las vías, multicarriles y en los puntos o tramos que por su trazado o características ofrezcan un alto riesgo (curvas, puentes, rotondas, cruces con vías férreas, caminos, peatones o escolares, accesos a vías pavimentadas, presencia de obstáculos, o ante la proximidad de cualquier otro peligro grave para la circulación), las señales deben ser de alta reflectividad. En los mismos casos, también las aéreas, las ubicadas sobre la izquierda de caminos de doble mano sin separador central y en zona urbana, cuando la iluminación artificial disminuya las condiciones de contraste o visibilidad adecuadas.

Las señales de estacionamiento y de parada del servicio de transporte urbano, pueden ser pintadas si se determina que no se utilice material reflectivo. Las de nomenclatura urbana deben ser, por lo menos su escritura y la flecha direccional, de lámina reflectiva.

La Dirección de Vialidad debe fiscalizar la correcta visibilidad de las señales, tanto de día y de noche, como bajo condiciones climáticas adversas.

Las señales en su reverso deben estar pintadas con pintura mate (sin brillo) de color gris o verde cemento cuando por las características del material de la placa puedan encandilar al ser iluminadas. Con el fin de poder advertir la presencia de una señal vertical por quienes se acercan por detrás de ellas en horas de oscuridad, deben tener elementos retrorreflectivos (un rectángulo retrorreflectivo de color rojo, de tamaño mínimo 5 x 10 cm como mínimo). La Dirección de Vialidad, además, puede inscribir su nombre, símbolo y/o código de inventario vial, acompañado del rótulo "NO MOLESTAR" y una leyenda referida a las disposiciones legales aplicables en caso de destrucción o robo de la señal.

Las dimensiones de los tableros de las señales verticales son las indicadas en la Tabla 3.3.2_1. Se escogerá el tamaño del tablero en función del tipo de infraestructura sobre la cual se instale y la velocidad de los vehículos en la vía.

B. SOPORTE

Elemento o estructura de material deletabilizado que debe encontrarse fuera de la calzada, en lo posible también fuera de la banquina, y cuya función es sostener las señales viales, debiendo estar afirmado de manera tal que el viento o inclemencias climáticas no modifiquen la posición de las mismas. Debe estar protegido adecuadamente utilizando galvanizado y/o pinturas que aseguren la durabilidad del mismo.

Los postes de las señales serán fabricados en ángulo de acero, de acuerdo con las especificaciones fijadas en esta Guía. También pueden ser fabricados en tubo galvanizado de 2" de diámetro y 2 mm de espesor. Otros materiales (postes de hormigón prefabricado, madera u otros materiales) sólo podrán ser autorizados por el MOPC después de una solicitud escrita del organismo responsable del señalamiento, acompañando la solicitud con un estudio técnico, y las garantías y certificaciones del fabricante, referidas a las dimensiones, características de idoneidad y durabilidad de los materiales propuestos. Las dimensiones de éstos, de acuerdo con los diferentes tipos de señales se indican en la Tabla 3.3.2_2 y la Figura 3.3.2_1.

Tabla 3.3.2_1. DIMENSIONES DE LOS TABLEROS DE LAS SEÑALES VERTICALES (DIMENSIONES EN cm)

Tipo de señal	Vías urbanas principales o de menor jerarquía y carreteras con ancho de corona menor de 6 m	Vías urbanas de jerarquía superior a las principales carreteras con ancho de corona entre 6 y 9 m	Autopistas y carreteras con ancho de corona entre 9 y 12 m	Carreteras con cuatro o más carriles con o sin separador
Preventivas	Cuadrado de 60 x 60 cm	Cuadrado de 75 x 75 cm	Cuadrado de 90 x 90 cm	Cuadrado de 120 x 120 cm
Preventiva P-64 (Flecha direccional)	Rectángulo de 75 x 25 cm	Rectángulo de 90 x 30 cm	Rectángulo de 112,5 x 37,5 cm	Rectángulo de 150 x 50 cm
Reglamentarias	Círculo de 60 cm de diámetro	Círculo de 75 cm de diámetro	Círculo de 90 cm de diámetro	Círculo de 120 cm de diámetro
Reglamentaria R-01 (Pare)	Octágono con altura de 60 cm	Octágono con altura de 75 cm	Octágono con altura de 90 cm	Octágono con altura de 120 cm
Reglamentaria R-02 (Ceda el paso)	Triángulo equilátero 75 cm de lado	Triángulo equilátero 90 cm de lado	Triángulo equilátero 120 cm de lado	Triángulo equilátero 150 cm de lado
Informativas	Rectángulo de 50 x 60 cm	Rectángulo de 62,50 x 75 cm	Rectángulo de 75 x 90 cm	Rectángulo de 100 x 120 cm
Informativas de identificación	Escudos de 60 cm de altura y 60 cm de ancho	Escudos de 75 cm de altura y 75 cm de ancho	Escudos de 90 cm de altura y 90 cm de ancho	Escudos de 120 cm de altura y 120 cm de ancho

Informativas de destino y de información en ruta	Rectángulo ancho y altura dependen del texto	Rectángulo ancho y altura dependen del texto	Rectángulo ancho y altura dependen del texto	Rectángulo ancho y altura dependen del texto
Informativas turísticas (sin flechas ni leyendas)	Cuadrado de 60 x 60 cm	Cuadrado de 75 x 75 cm	Cuadrado de 90 x 90 cm	Cuadrado de 120 x 120 cm

Notas:

1. En zonas históricas donde el ancho de las aceras sea menor a 1m, se puede variar el tamaño de las señales.
2. Para fines de cálculo, se toman como referencia las dimensiones de la señal de 60 cm. Las señales de 75 cm se elaboran ampliando 1,25 veces las dimensiones de la señal de 60 cm, las de 90 cm ampliando 1,5 veces y las de 120 cm, ampliándola dos veces.
3. En caso que el proyectista desee utilizar señales reglamentarias en placa rectangular, dispone de las siguientes opciones:

OPCIÓN 1: Utilizar placas rectangulares de ancho igual a la señal circular (60, 75, 90 y 120 cm), y altura igual a 1,50 veces la base del rectángulo (ejemplo: para un ancho de placa de 60 cm la altura será 90 cm). Al aplicar esta opción, para el pintado de los pictogramas (orla roja y pictograma negro), aplicará un factor de reducción igual a 0,83 a todas las dimensiones de las señales reglamentarias circulares.

OPCIÓN 2: Utilizar placas rectangulares de ancho igual a 1,20 veces el ancho de la señal circular (ejemplo: para una señal circular de 90 cm, el ancho de la placa rectangular correspondiente será 108 cm), y altura igual a 1,50 veces la base del rectángulo (ejemplo: para un ancho de placa de 108 cm, la altura será de 162 cm). Al aplicar esta opción, para el pintado de los pictogramas (orla roja y pictograma negro), se mantendrán sin reducciones las dimensiones de las señales circulares.

4. En caso que el proyectista desee utilizar flechas o leyendas en las señales turísticas, puede utilizar el formato de las señales informativas, adaptando el tamaño del pictograma a las dimensiones del cuadrado inserto, que en este caso tendrá fondo azul y pictograma blanco. Los tamaños de la flecha y textos serán los establecidos para señales informativas.

Tabla 3.3.2_2. DIMENSIONES DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN EL POSTE DE SOPORTE DE LOS TABLEROS DE LAS SEÑALES VERTICALES (m)

TIPO DE SEÑAL	DIMENSIONES INTERNAS EN SOPORTES Y TABLEROS, DE ACUERDO CON LA Figura 3.3.2_2.											
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
P o R	280,0	5,0	26,5	26,5	5,0	2,0	24,5	3,0	54,0	15,0		60,0
I (gral. y serv.)	270,0	5,0	26,5	21,5	5,0	2,0	24,5	3,0	54,0	15,0	50,0	60,0
I (ident. Y turist.)	270,0	5,0	26,5	26,5	5,0	2,0	24,5	3,0	54,0	15,0		60,0
Delineador	240,0	5,0	26,5	21,5	5,0	2,0	24,5	3,0	54,0	15,0	50,0	60,0

P o R	290,0	5,0	34,0	34,0	5,0	3,0	31,0	4,0	67,0	15,0		75,0
I	275,0	5,0	34,0	26,5	5,0	3,0	31,0	4,0	67,0	15,0	60,0	75,0
I (ident. Y turist.)	275,0	5,0	34,0	34,0	5,0	3,0	31,0	4,0	67,0	15,0		75,0
Delineador	245,0	5,0	34,0	26,5	5,0	3,0	31,0	4,0	67,0	15,0	60,0	75,0
P o R	300,0	5,0	41,5	41,5	5,0	4,0	37,5	5,0	80,0	15,0		90,0
I	285,0	5,0	41,5	32,5	5,0	4,0	37,5	5,0	80,0	15,0	72,0	90,0
I (ident. Y turist.)	285,0	5,0	41,5	41,5	5,0	4,0	37,5	5,0	80,0	15,0		90,0
Delineador	255,0	5,0	41,5	32,5	5,0	4,0	37,5	5,0	80,0	15,0	72,0	90,0
P o R	320,0	5,0	56,5	55,9	6,25	5,0	51,5	6,0	108,0	15,0		120,0
I	300,0	5,0	56,5	45,9	6,25	5,0	51,5	6,0	108,0	15,0	100,0	120,0
I (ident. Y turist.)	300,0	5,0	56,5	55,9	6,25	5,0	51,5	6,0	108,0	15,0		120,0
Delineador	270,0	5,0	56,5	45,9	6,25	5,0	51,5	6,0	108,0	15,0	100,0	120,0

Notas:

1. El poste (a,c) y los brazos del soporte (d) no deberán tener traslapos ni añadiduras. Ver Figura 3.3.2_1.
2. Todo elemento soldado al poste, deberá estar apoyado en sus dos caras.
3. En señales dobles se adosará en la parte superior del poste una cruceta, sin añadiduras, cuyo elemento vertical deberá tener una longitud que garantice una separación adecuada entre señales.
4. El calibre mínimo del ángulo correspondiente al elemento vertical del poste (letras a y c) será de 1/4 de pulgada (6 mm). Para los elementos horizontales (letras d y j) será de 1/8 de pulgada (3 mm).
5. En zona urbana la longitud correspondiente a la letra "a" será aumentada en 20 cm.

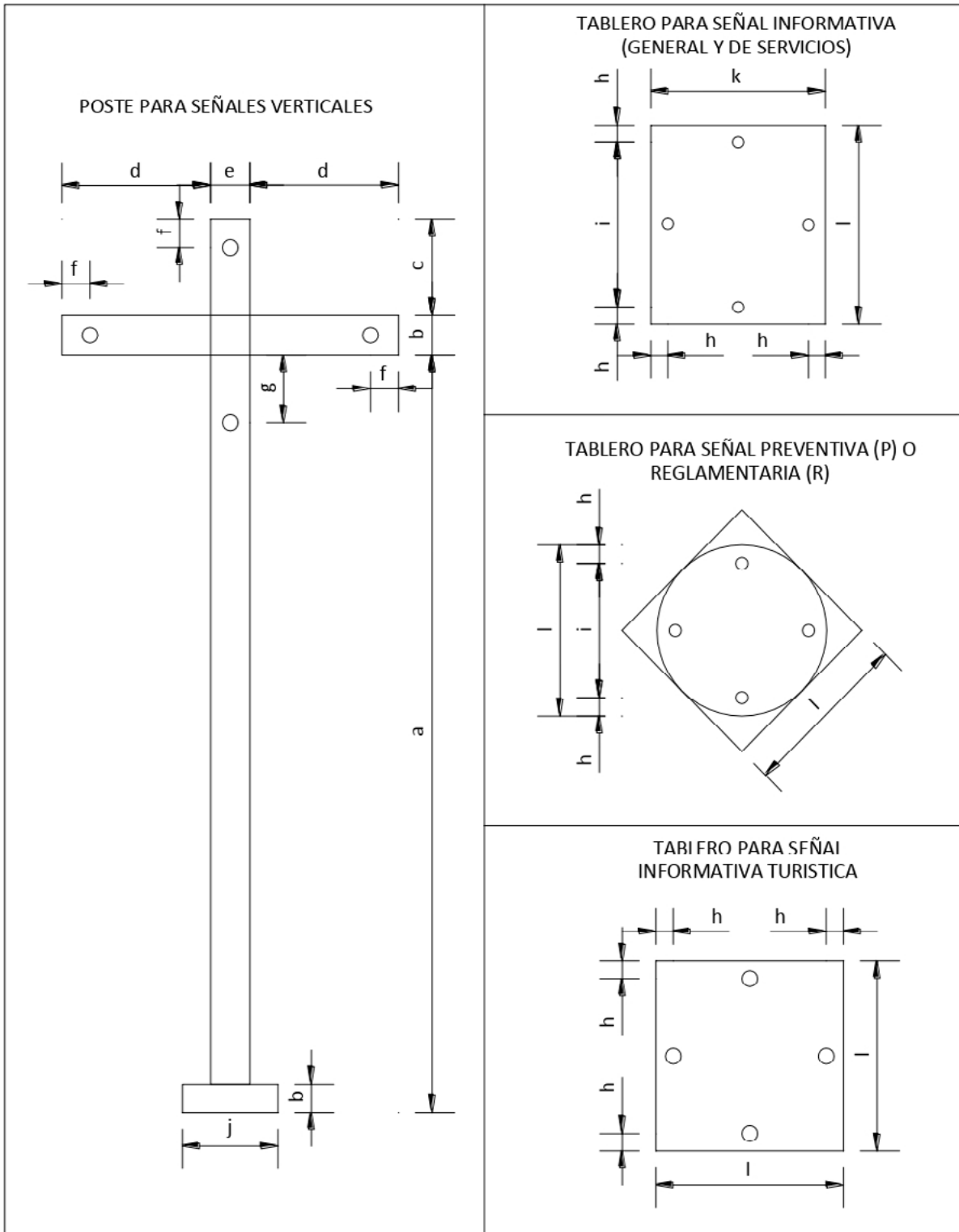


Figura 3.3.2_1. DIMENSIONES INTERNAS DE POSTES Y TABLEROS, DE ACUERDO CON LA Tabla 3.3.2_2

C.COLORES

Los que se utilizarán para las placas son, BLANCO, NEGRO, AMARILLO, ROJO, AZUL, VERDE y NARANJA, conforme a las especificaciones de cada grupo de señales.

D.TEXTOS

Deberán ser breves y concisos, permitiendo al conductor observar y comprender la totalidad del mensaje con un golpe de vista.

3.3.2.2.2. SIGNIFICADO

Transmiten órdenes, advertencias sobre variantes o riesgos de la vía o proporcionan información útil al usuario de la vía pública, según la categoría a la que pertenezca la señal.

3.3.2.2.3. UBICACIÓN

En general, se colocan sobre un soporte al costado derecho de la vía (eventualmente al izquierdo), variando la distancia al objeto, a la calzada y su altura, según sea zona urbana o rural. Tendrán una pequeña inclinación respecto a la perpendicular al eje de calzada (ángulo externo). También pueden ser aéreas, elevadas sobre la calzada mediante pórticos, columnas o cables de acero.

La ubicación de una señal vertical corresponde a un tema de gran relevancia, considerando que de esto dependerá la visibilidad adecuada y la reacción oportuna de los diferentes usuarios de una vía.

Como criterio general, toda señalización de tránsito deberá instalarse dentro del cono visual del usuario de la vía, de manera que atraiga su atención y facilite su interpretación, tomando en cuenta la velocidad del vehículo, en el caso de los conductores.

No obstante lo anterior, los postes y otros elementos estructurales de las señales de tránsito, pueden representar un peligro para los usuarios en caso de ser impactados. Por lo tanto, las señales deben instalarse alejadas de la calzada y construirse de tal forma que opongan la menor resistencia en caso de accidentes.

En general, se deberán analizar las siguientes condiciones para la correcta instalación de una señal vertical:

- Distancia entre la señal y la situación que generó su instalación (ubicación longitudinal).
- Distancia entre la señal y el borde de la calzada (ubicación transversal).
- Altura de ubicación de la placa de la señal.
- Orientación de la placa de la señal.
- Distancia mínima entre señales.

3.3.2.2.4. LEYENDAS ACLARATORIAS

Las señales preventivas pueden llevar una leyenda aclaratoria de su significado en letras negras sobre la misma placa o en otra rectangular colocada debajo, de color blanco. Las señales reglamentarias pueden ser construidas sobre una placa rectangular con el fin de incluir leyendas aclaratorias de su significado. En las informativas con símbolos turísticos, de servicios, etc., el texto irá en letras blancas sobre fondo azul.

3.3.2.2.5. USO DE LAS SEÑALES

Toda señal colocada, deberá cumplir con el propósito específico prescrito en esta Guía. Antes que una vía sea abierta al tránsito, deberán instalarse todas las señales que sean necesarias.

El uso de las señales debe estar apoyado en estudios realizados por profesionales con experiencia en el campo de la Ingeniería de Tránsito.

Debe tenerse cuidado de no instalar un número excesivo de señales preventivas y reglamentarias en un espacio reducido, ya que esto puede ocasionar contaminación visual y la pérdida de efectividad de las mismas. Por otra parte, es conveniente que se usen con frecuencia las señales informativas de identificación y de destino, con el fin de que los usuarios de la vía conozcan siempre su ubicación y rumbo.

Es necesario tener en cuenta que las condiciones urbanas muchas veces difieren de las condiciones rurales.

3.3.2.2.6. REQUISITOS QUE DEBEN CUMPLIR LAS SEÑALES

Todos los símbolos deberán ser iguales a los que se presentan en esta Guía, la uniformidad en el diseño y en la colocación de las señales debe conservarse siempre. Las condiciones idénticas deberán siempre anunciarse con el mismo tipo de señal, independientemente de dónde ocurran. No obstante, el juicio del ingeniero es esencial para el uso adecuado de las señales, igual que con los otros dispositivos que sea necesario instalar para la regulación del tránsito.

3.3.2.2.7. ESTADO Y CONSERVACIÓN

Todas las señales deben permanecer en sus posiciones correctas, limpias y legibles en todo tiempo; se deben reemplazar aquellas que por la actuación de agentes externos que las deterioren, no cumplan el objetivo para el cual fueron diseñadas e instaladas.

Dentro del programa de mantenimiento se deben reemplazar las señales defectuosas, las que por cualquier causa no permanezcan en su sitio, y retirar las que no cumplan una función específica porque han cesado las condiciones que obligaron a instalarlas.

3.3.2.2.8. VISIBILIDAD

Las señales que se instalen deberán ser legibles para los usuarios y su ubicación debe ser acorde con lo establecido en esta Guía, para permitir una pronta y adecuada reacción del conductor aun cuando éste se acerque a la señal a alta velocidad. Esto implica que los dispositivos cuenten con buena visibilidad, tamaño de letras adecuado, leyenda corta, símbolos, formas y materiales acordes con lo aquí especificado.

SECCION 3.3.2.3.

UBICACIÓN Y REQUERIMIENTOS

3.3.2.3.1. UBICACIÓN LATERAL

Todas las señales se colocarán al lado derecho de la vía, teniendo en cuenta el sentido de circulación del tránsito, de forma tal que el plano frontal de la señal y el eje de la vía formen un ángulo comprendido entre 90 y 93 grados sexagesimales, con el fin de permitir una óptima visibilidad al usuario. No obstante, y con el fin de complementar la señalización, en vías multicarriles se podrá colocar en los dos lados de la vía; además, de no existir completa visibilidad del lado derecho es permitido colocar una señal adicional a la izquierda.

En carreteras, la distancia de la señal medida desde su extremo interior hasta el borde del pavimento, deberá estar comprendida entre 1,80 m y 3,60 m. En las zonas urbanas serán instaladas de tal forma que la distancia de la señal medida desde su extremo más sobresaliente hasta el borde de la acera no sea menor de 0,30 m.

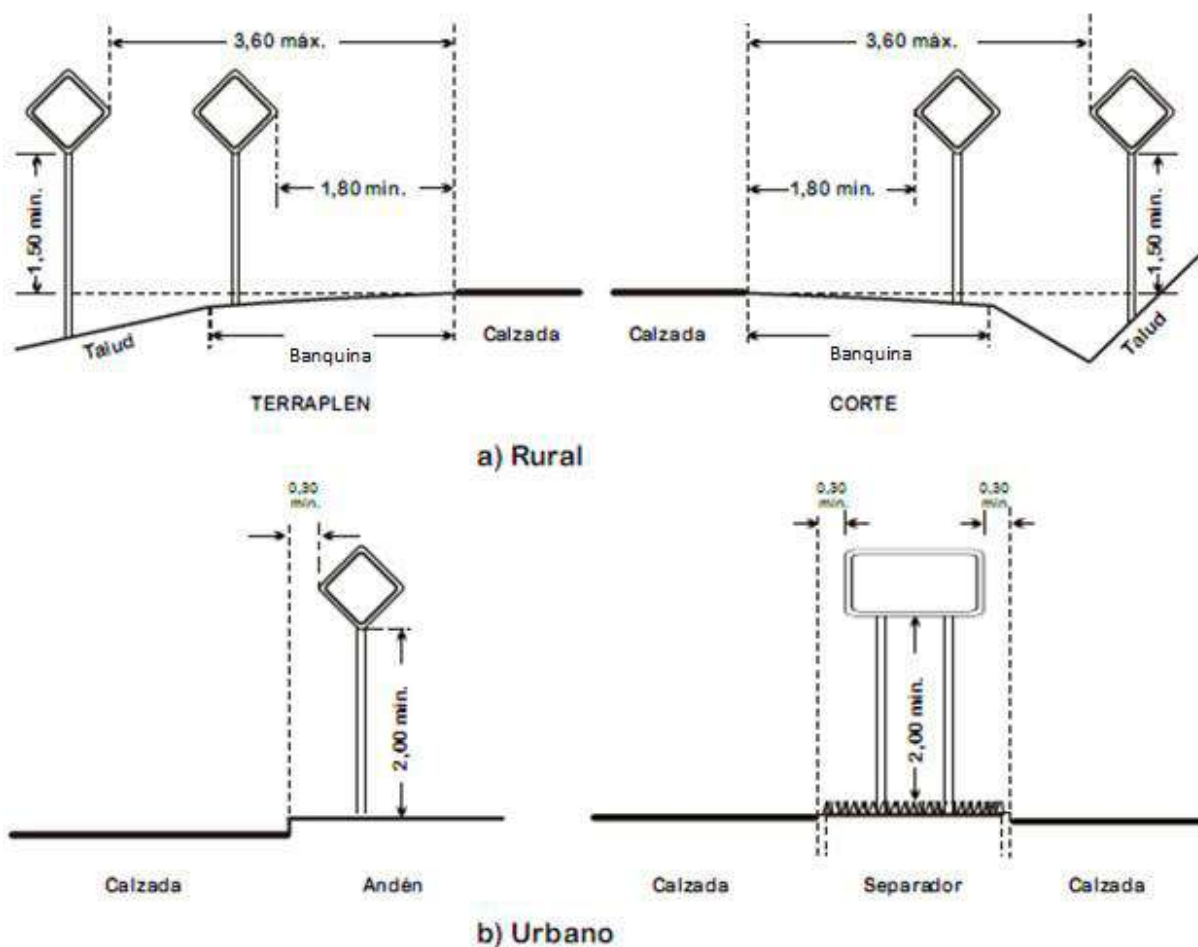
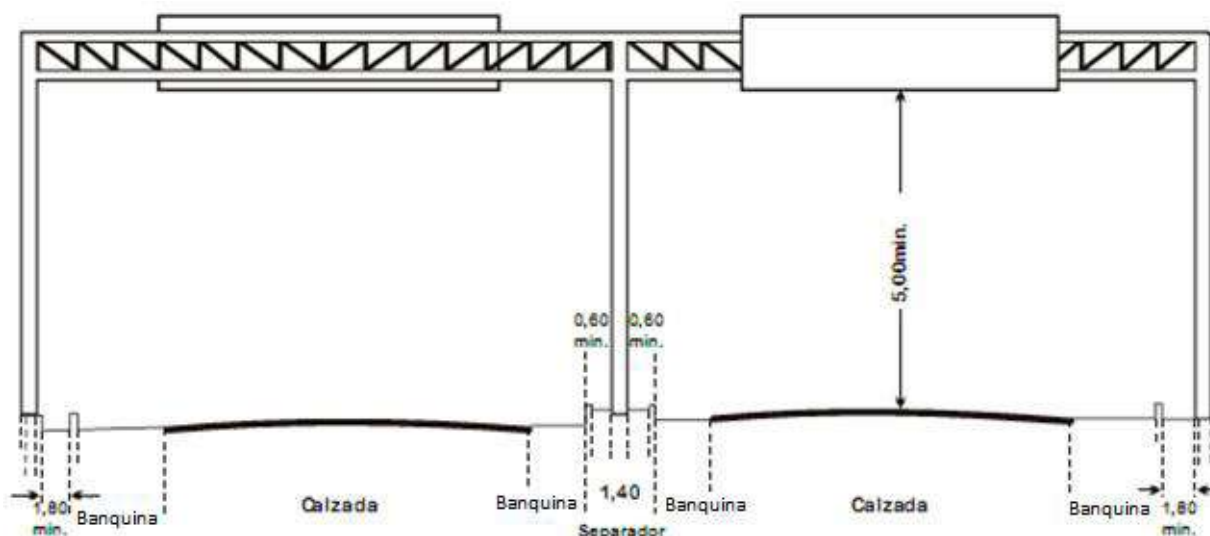


Figura 3.3.2_2. UBICACIÓN LATERAL DE LAS SEÑALES VERTICALES

Para las señales elevadas los soportes verticales que sostienen la señal, se instalarán a una distancia mínima desde el borde exterior de la banquina, o de la cara exterior del bordillo, en el caso de existir éste, de 1,80 m en zonas urbanas y de 2,20 m en carretera. Cuando se proyecten soportes verticales intermedios, estos pueden localizarse en un separador siempre y cuando su ancho sea suficiente para que el soporte vertical deje distancias laterales no menores de 0,60 m.



c) Suburbano

Figura 3.3.2_3. UBICACIÓN DE LAS SEÑALES ELEVADAS

Tabla 3.3.2_3. UBICACIÓN LATERAL DE SEÑALES VERTICALES (DISTANCIA Y ALTURA)

TIPO DE VÍA	DISTANCIA LATERAL	ALTURA	
	(m)	(m)	
	MÍNIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
Carreteras pavimentadas	2,0	1,5	2,2
Carreteras ripiadas	1,5	1,5	2,2
Vías urbanas	0,3	2,0	2,2

La distancia lateral corresponde a la distancia medida desde el borde exterior de la calzada hasta el canto interior de la señal vertical. Del mismo modo, la altura se define como la distancia entre la rasante al nivel del borde exterior de la calzada y el canto o tangente al punto inferior de la señal.

3.3.2.3.2. UBICACIÓN LONGITUDINAL

La ubicación de una señal debe garantizar que un usuario que se desplaza a la velocidad máxima que permite la vía, será capaz de interpretar y comprender el mensaje que se le está transmitiendo, con el tiempo suficiente para efectuar las acciones que se requieran para una eficiente y segura operación.

En general, una señal deberá cumplir los siguientes objetivos:

- Indicar el inicio o término de una restricción o autorización. En estos casos, la señal se instalará en el lugar específico donde ocurre la situación señalizada.
- Advertir o informar sobre condiciones de la vía o respecto a acciones que se deben o se pueden realizar más adelante.

- Informar con respecto a orientación geográfica y características socio-culturales que pudieran encontrarse aledañas o cercanas a la vía. Entre estas últimas, se pueden mencionar señales con información turística, cultural, de servicios, etc.

Las distancias longitudinales correspondientes a la instalación de señales, serán definidas caso a caso cuando se aborde la función de cada una, esto debido a que se deben aplicar diferentes criterios de ubicación de acuerdo a su utilidad.

En lo que se refiere a la separación que debe respetarse entre cada tipo de señal, en el sentido longitudinal, es decir, paralelo al eje de la vía, en la Tabla 3.3.2_4 se consignan distancias mínimas absolutas de separación entre diferentes tipos de señales, con la finalidad que el conductor del vehículo cuente con el tiempo suficiente para efectuar las maniobras adecuadas. La distancia mínima absoluta, corresponde a la distancia mínima de separación, que no debe ser sobrepasada y que se utiliza en condiciones de restricción de espacio. En cambio, para una situación no restrictiva, podrá utilizar una distancia mínima recomendada, igual a 1,20 veces la mínima absoluta. Distancias menores a la mínima absoluta, motivadas por condiciones particulares de la vía, deberán ser justificadas técnicamente y propuestas al Fiscal para su evaluación.

Tabla 3.3.2_4. DISTANCIA MÍNIMA ENTRE SEÑALES VERTICALES

ORDEN EN QUE EL CONDUCTOR VERÁ LAS SEÑALES	VELOCIDAD (km/h)			
	120 – 110	100 – 90	80 – 60	50 – 30
Reglamentaria ó Preventiva → Reglamentaria ó Preventiva	50	50	30	20
Reglamentaria o Preventiva → Informativa	90	80	60	40
Informativa → Reglamentaria ó Preventiva	60	50	40	30
Informativa → Informativa	110	90	70	50

En la sección correspondiente a cada una de las clases de señales verticales, se definen los criterios para la colocación de éstas a lo largo de la vía.

En condiciones especiales, cuando la instalación de una señal vertical coincida con el emplazamiento de otra señal vertical o donde no exista la distancia suficiente que permita colocar dos señales verticales individuales separadas, se podrán adosar dos tableros de señales verticales en un solo poste. En este caso, la distancia mínima será el equivalente, en metros (m), a la velocidad de operación de la vía en kilómetros por hora (km/h), por ejemplo: distancia 30 m velocidad de operación 30 km/h, distancia 80 m velocidad de operación 80 km/h. Ver Tabla 3.3.2_5.

Tabla 3.3.2_5. DISTANCIA MÍNIMA PARA LA COLOCACIÓN DE SEÑALES DOBLES, CON BASE EN LA VELOCIDAD DE OPERACIÓN DE LA VÍA

Velocidad de operación de la vía en Km/h	Distancia mínima para la colocación de señales dobles, en m
30	30
40	40
50	50
60	60
80	80

3.3.2.3.3. ALTURA

La altura de la señal, medida desde el extremo inferior del tablero hasta el nivel de la superficie de rodadura no debe ser menor de 1,50 m, para aquellas que se instalen en el área rural.

En áreas urbanas, la altura de la señal medida desde su extremo inferior hasta la cota del borde de la acera no debe ser menor de 2,00 m. Las señales elevadas se colocarán sobre estructuras adecuadas en forma tal que presenten una altura libre mínima de 5,00 m., sobre el punto más alto de la rasante de la vía. Ver Figuras 3.3.2_2 y 3.3.2_3 Ver Tabla 3.3.2_3.

3.3.2.3.4. ORIENTACIÓN

Considerando que una lámina retrorreflectante, al ser iluminada por los focos de un vehículo, podría devolver demasiada luz al conductor, ocasionando encandilamiento o dificultades para una adecuada comprensión del mensaje de la señal, se deberá instalar la placa de manera tal, que ésta y una línea paralela al eje de la calzada, formen un ángulo levemente superior a los 90° (ángulo recto), recomendándose un valor de 93°. Ver Figura 3.3.2_4.

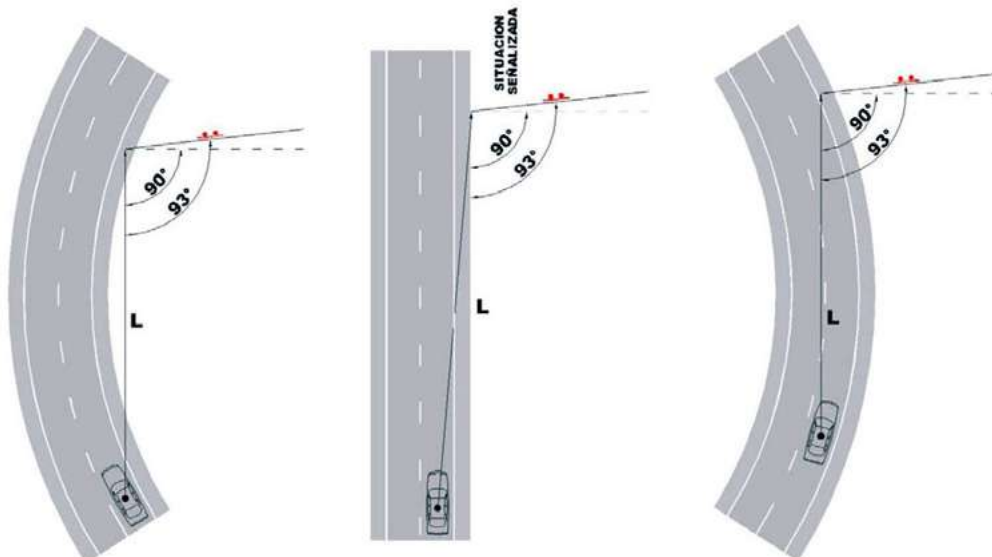
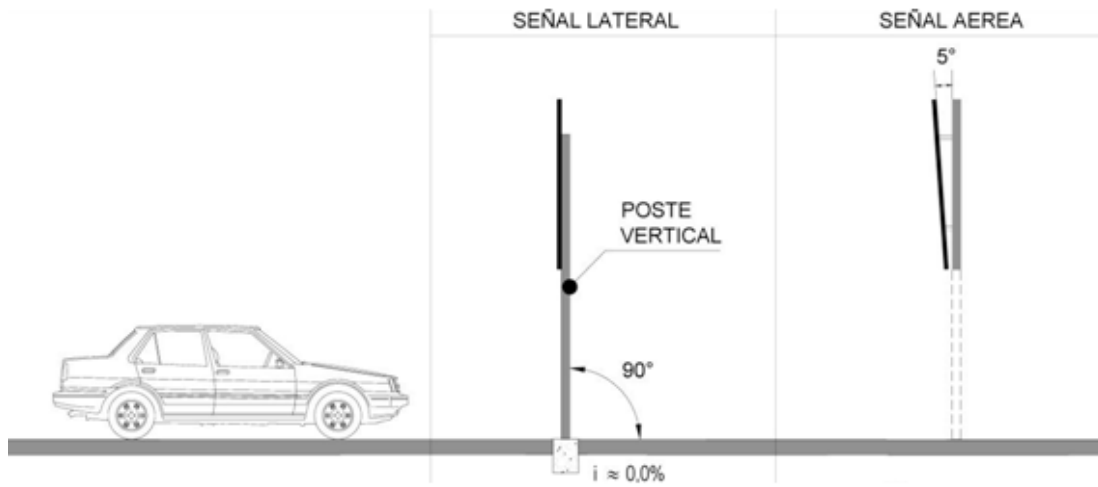


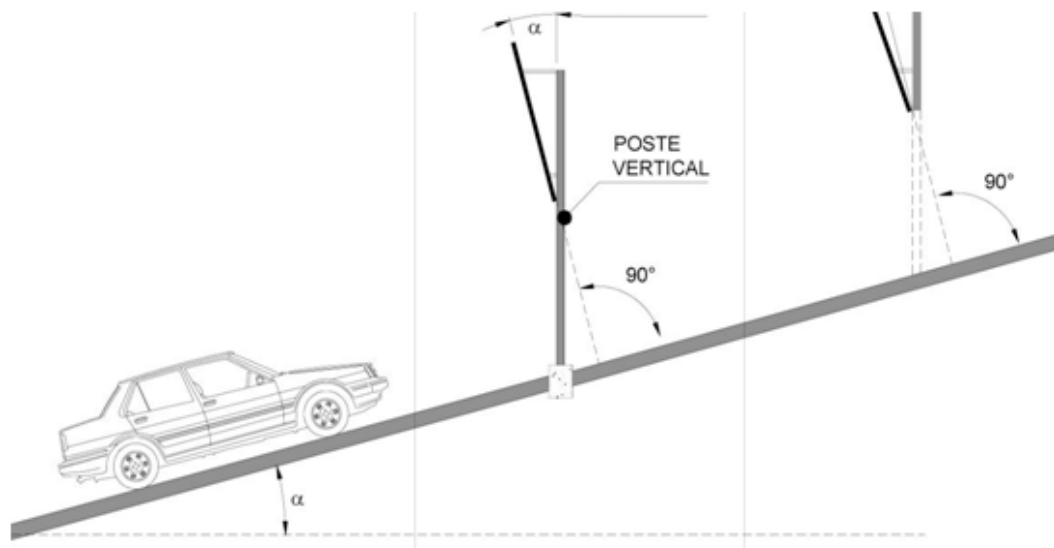
Figura 3.3.2_4. ORIENTACIÓN DE LAS SEÑALES (VISTA EN PLANTA)

Por otro lado, se debe considerar la orientación de la señal desde una perspectiva vertical. Ver Figura 3.3.2_5.

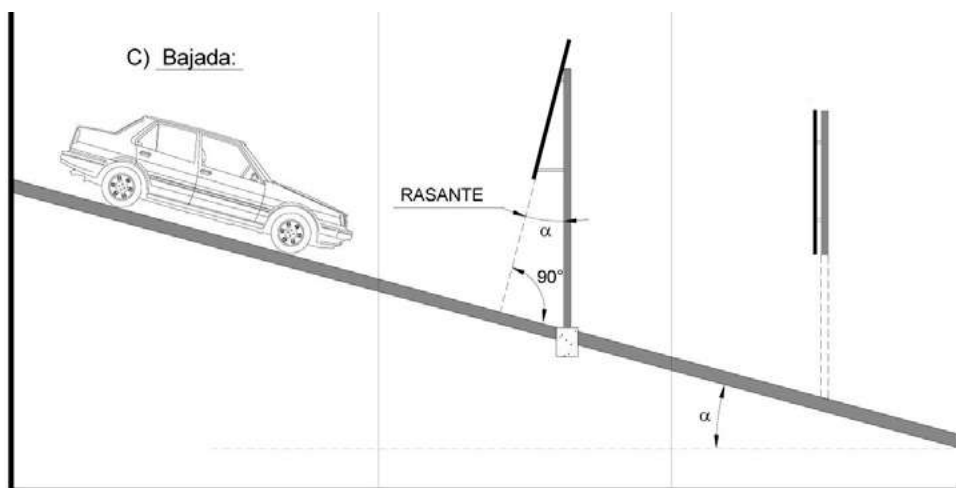
Los criterios anteriores son válidos para todas las señales verticales, incluyendo señales tipo mapa y elevadas.



a) RASANTE HORIZONTAL



b) SUBIDA



c) BAJADA

Figura 3.3.2_5. ORIENTACIÓN DE LAS SEÑALES (PERFIL LONGITUDINAL)

3.3.2.3.5. COLOR Y RETRORREFLECTANCIA

Las señales que se instalen deberán ser visibles para los usuarios y su ubicación de acuerdo con lo establecido en el presente documento, con el fin de permitir que se produzca una pronta y adecuada reacción, aún cuando el usuario se acerque a la señal a alta velocidad.

Los dispositivos deben cumplir con las siguientes características:

- Buena visibilidad.
- Tamaño de letras adecuado.
- Leyenda corta.
- Símbolos y leyendas acordes.
- Formas acordes con lo especificado en la presente Guía.

A. COLORES:

Las señales verticales se deben construir con los colores especificados para cada una de ellas. Los colores se definirán sobre la base de coordenadas cromáticas y deben estar dentro de los polígonos correspondientes, formados por cuatro vértices definidos por la CIE (Comisión Internacional d'Éclairage), especificados en el Diagrama Cromático CIE 1931. Ver Figura 3.3.2_6 Ver Tabla 3.3.2_6.

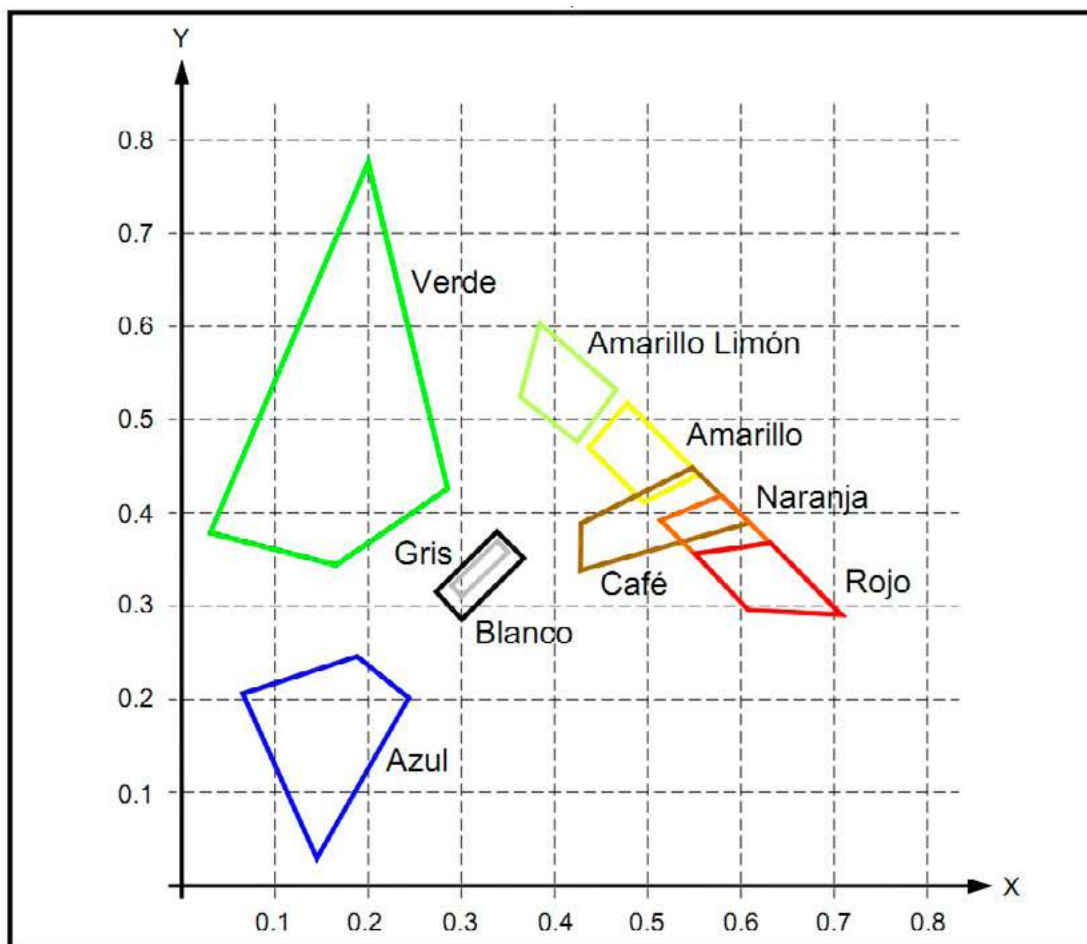


Figura 3.3.2_6. DIAGRAMA CROMÁTICO CIE 1931 PARA SEÑALES VERTICALES

Tabla 3.3.2_6. COORDENADAS CROMÁTICAS PARA COLORES EN SEÑALES VERTICALES

COLOR	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
BLANCO	0,303	0,287	0,368	0,353	0,340	0,380	0,274	0,316
AMARILLO	0,498	0,412	0,557	0,442	0,479	0,520	0,438	0,472
NARANJA	0,550	0,360	0,630	0,370	0,581	0,418	0,516	0,394
ROJO	0,613	0,297	0,708	0,292	0,636	0,364	0,558	0,352
AZUL	0,066	0,208	0,190	0,247	0,244	0,202	0,144	0,030
CAFÉ	0,430	0,340	0,610	0,390	0,550	0,450	0,430	0,390
VERDE	0,030	0,380	0,166	0,346	0,286	0,428	0,201	0,776
GRIS	0,350	0,360	0,300	0,310	0,290	0,320	0,340	0,370
AMARILLO LIMÓN FLUORESCENTE	0,387	0,610	0,460	0,540	0,438	0,508	0,376	0,568
AMARILLO FLUORESCENTE	0,521	0,424	0,557	0,442	0,479	0,520	0,454	0,491
NARANJA FLUORESCENTE	0,595	0,351	0,645	0,355	0,583	0,416	0,542	0,403

B. RETRORREFLECTANCIA

Es uno de los parámetros más importantes de una señal vertical, ya que ésta debe ser visualizada tanto de día como de noche.

En períodos nocturnos, la lámina retrorreflectiva constituyente de la señal permite que tenga la propiedad de devolver parte de la luz a su fuente de origen, por lo tanto, al ser iluminada por los faros del vehículo, puedan ser apreciados por los conductores con mayor claridad.

Este fenómeno se logra debido a la utilización de elementos retrorreflectivos que forman parte de la señal, que están compuestos por esferas microscópicas o elementos prismáticos microscópicos de vidrio, encargados de reflejar una porción de la luz recibida a la fuente emisora.

Los términos técnicos que permiten interpretar de mejor manera los requerimientos que debe exigirse a una lámina retrorreflectiva son los siguientes:

Ángulo de entrada: Corresponde al ángulo formado entre un rayo de luz sobre una superficie retrorreflectante y una línea perpendicular a esa misma superficie. Ver Figura 3.3.2_7. En general, para interpretar este parámetro, según lo indicado en la Norma ASTM D 4956, se utilizan ángulos de -4° y 30° , medidos siempre en relación con el ángulo de observación; lo que permite definir niveles de retrorreflexión asociados a los distintos tipos de figuras. Este factor resulta de gran relevancia, ya que a medida que aumenta el ángulo de entrada, disminuye drásticamente el nivel de retrorreflexión de la señal. Si esto se aplica a una situación de la vía, a medida que se aleja la ubicación lateral de la señal, con respecto a la pista de circulación, menor será su visibilidad.

Ángulo de Observación: Corresponde al ángulo formado por el rayo de luz emitido por los focos del vehículo sobre una superficie retrorreflectiva y el rayo de luz retrorreflejado a los ojos del observador. Ver Figura 3.3.2_7. Los elementos retrorreflectivos devuelven la luz en la forma de un cono muy pequeño, presentando una visibilidad menor a medida que aumenta el ángulo de observación. Por lo tanto, a medida que la separación entre los focos de un móvil y los ojos de un conductor sea mayor, la visibilidad de la señal será menos efectiva, lo que sucede a menudo en vehículos de carga. Para efectos de medir los niveles de retrorreflexión según la Norma ASTM D 4956, se utilizan valores de $0,2^\circ$, $0,5^\circ$ y $1,0^\circ$, los que siempre son analizados con el ángulo de entrada.

Como complemento a lo anterior, se puede definir la retrorreflexión como la cantidad de luz reflejada por un material retrorreflectante, la que se mide en candelas (reflejadas) por lux por metro cuadrado ($cd/lx \cdot m^2$).

La ubicación de la señal incide directamente en su visibilidad, por lo tanto, en el caso de señales instaladas al costado izquierdo de la vía o aéreas sobre la calzada, deberá asegurarse que cuenten con el espacio suficiente para ser divisadas con la mayor facilidad posible. En estos casos, como resultado de los niveles de retrorreflexión mínimos exigidos en este numeral, los cuales superan a la normativa vigente, no será necesario aumentar este parámetro. No obstante, se recomienda que las señales sobre la calzada (aéreas) cuenten con iluminación propia.

Todos los elementos de una señal vertical, es decir, fondo, caracteres, orlas, símbolo, leyendas y pictogramas, con la sola excepción de aquellos de color negro, deberán estar compuestos de un material retrorreflectante, cuya exigencia se indica en este capítulo.

Por otro lado, en zonas en que se presenten condiciones climáticas habituales de visibilidad adversa (día o noche), como por ejemplo neblina, se podrá utilizar señales verticales de niveles retrorreflectantes superiores a las indicadas y/ o fluorescentes, con la finalidad de mejorar la capacidad de ser percibidas por el usuario.

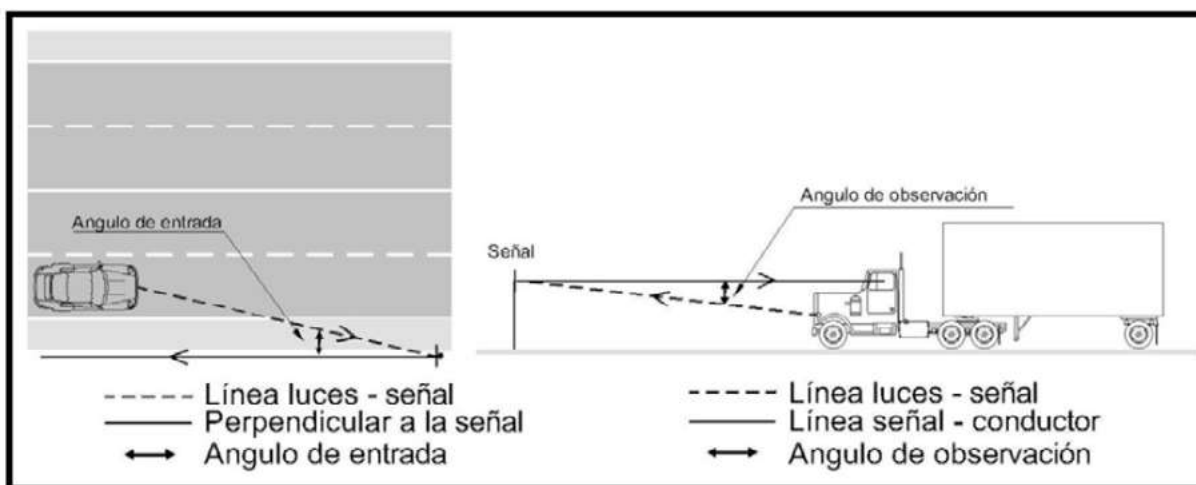


Figura 3.3.2_7. ÁNGULO DE ENTRADA Y OBSERVACIÓN

B.1. Señales verticales nuevas convencionales:

Para señales verticales convencionales nuevas, todos los elementos, tales como: fondo, caracteres, orlas, símbolos, leyendas, pictogramas, deberán cumplir con los valores de intensidad retrorreflectiva mínima desde el nivel Tipo IV indicadas en la Norma ASTM D4956 y del Tipo XI indicadas en la Norma ASTM D4956 vigente, las clasificaciones de las láminas deberán ser definidas por el proyecto en base al desempeño requerido para cada caso particular y condición de visibilidad establecida como criterio adoptado por el proyectista para cada tipo de clasificación funcional de caminos y carreteras respectivamente. En ningún caso se permitirá que en una misma placa de señal vertical nueva convencional se combinen dos tipos diferentes de láminas retrorreflectivas.

De acuerdo a las exigencias del párrafo anterior para cada categoría funcional de carreteras se deberá cumplir:

TIPO DE LAMINA	APLICACIÓN PARA CARRETERAS DE ACUERDO A SU FUNCIONALIDAD
TIPO XI ASTM D4956	AUTOPISTA - MULTICARRILES - 2 CARRILES BI DIRECCIONALES - SEÑALIZACIÓN PARA PORTICOS
TIPO IV ASTM D4956	COLECTOR Ó PRINCIPAL - LOCAL - EN DESARROLLO

En el caso de señales verticales nuevas, la retrorreflexión será medida previa a la instalación definitiva de ellas. Se analizará una muestra equivalente a $3 \cdot N^{1/2}$, considerando N como el número total de señales, con un mínimo de diez (10) unidades. Si el número es menor a diez (10) unidades, se deben ensayar todas. Esta muestra será seleccionada por el Fiscal o por quien éste designe. Será necesario que el 100% de la muestra cumpla con los valores indicados en la Tabla 3.3.2_7 para láminas TIPO XI ASTM D4956, y la Tabla 3.3.2_8 para láminas TIPO IV ASTM D4956, con una variación máxima de -5% atribuible a transporte y manipulación, para que sean aceptadas como válidas. En caso contrario, es decir, si alguna de las señales no cumpliera con el nivel de retrorreflexión especificado, se procederá a medir el total de las señales consideradas para La vía, pudiéndose instalar solamente aquellas que hubieren cumplido con los valores predefinidos.

Tabla 3.3.2_7. NIVELES MÍNIMOS DE RETRORREFLEXIÓN PARA SEÑALES VERTICALES NUEVAS TIPO XI (*) [$cd \cdot (lx) - 1 \cdot m - 2$]

ANGULO		COLOR									
Entrada	Observación	Blanco	Amari- llo	Naranja	Verde	Rojo	Azul	Marrón	Fluorescentes		
									Limón	Amari- llo	Naranja
0.1° B	-4°	830	620	290	83	125	37	25	660	500	250
0.1° B	+30°	325	245	115	33	50	15	10	260	200	100
0.2°	-4°	580	435	200	58	87	26	17	460	350	175
0.2°	+30°	220	165	77	22	33	10	7	180	130	66
0.5°	-4°	420	315	150	42	63	19	13	340	250	125
0.5°	+30°	150	110	53	15	23	7	5	120	90	45
1.0°	-4°	120	90	42	12	18	5	4	86	72	36
1.0°	+30°	45	34	16	5	7	2	1	36	27	14

Nota: (*) Los valores indicados corresponden a niveles de retrorreflexión definidos como Tipo XI en la Norma ASTM D-4956. Se aceptará una variación de -5% en los valores indicados en la tabla, atribuible a transporte y manipulación.

Para señalizaciones correspondientes a carteles en pórticos de carreteras, serán utilizadas láminas TIPO XI ASTM D4956 exclusivamente.-

Tabla 3.3.2_8. NIVELES MÍNIMOS DE RETRORREFLEXIÓN PARA SEÑALES VERTICALES NUEVAS TIPO IV (*) [$cd*(lx)-1*m-2$]

ANGULO		COLOR									
Entrada	Observación	Blanco	Amarillo	Naranja	Verde	Rojo	Azul	Marrón	Fluorescentes		
									Limón	Amarillo	Naranja
0.1° B	-4°	500	380	200	70	90	42	25	400	300	150
0.1° B	+30°	240	175	94	32	42	20	12	185	140	70
0.2°	-4°	360	270	145	50	65	30	18	290	220	105
0.2°	+30°	170	135	68	25	30	14	8.5	135	100	50
0.5°	-4°	150	110	60	21	27	13	7.5	120	90	45
0.5°	+30°	72	54	28	10	13	6	3.5	55	40	22

Nota.- (*) Los valores indicados corresponden a niveles de retrorreflexión definidos como Tipo

III en la Norma ASTM D-4956. Se aceptará una variación de -5% en los valores indicados en la tabla, atribuible a transporte y manipulación.

En caso de la señalización vertical del Tipo XI en uso, es decir, instalada en la vía, se deberá cumplir en todo momento con un nivel de retrorreflexión mínima que se indica en la Tabla 3.3.2_7.

B.2. Visibilidad diurna de las señales

En lo que respecta a la visibilidad diurna de las señales, las laminas retrorreflectivas que se utilicen para la confección de señales verticales, deberán cumplir con los requisitos establecidos en la Norma ASTM D4956 vigente, es términos de “Factor de Luminancia”.

El Factor de Luminancia expresado en porcentaje (%) se define como la relación entre la luminancia de un cuerpo y la de un difusor reflectante perfecto iluminado de la misma manera; representa la mayor claridad o luminosidad de un color, y es 100% para el blanco perfecto y 0% para el negro absoluto. La luminancia corresponde a la luz emitida desde una superficie retrorreflectante o iluminada que el usuario “realmente observa” y se mide en candelas sobre metro cuadrado ($Cd*m-2$).

La tabla 3.3.2_9 indica los valores del Factor de Luminancia diurna en términos de porcentaje (%) para las láminas TIPO IV y TIPO XI de la Norma ASTM D4956 vigente.

Tabla 3.3.2_9. FACTOR DE LUMINANCIA (%)

Factor de Luminancia %	Color									
	Blanco	Amarillo	Naranja	Verde	Rojo	Azul	Marrón	Fluorescentes		
								Limón	Amarillo	Naranja
Mínimo	27	15	10	3	2.5	1	1	60	40	20
Máximo	---	45	30	12	12	10	9	---	---	---

Nota: El Factor de Luminancia corresponde al valor “Y” entregado por un espectrocolorímetro, multiplicado por 100.-

SECCION 3.3.2.4. | CLASIFICACIÓN DE SEÑALES VERTICALES

De acuerdo con la función que cumplen, las señales verticales se

- clasifican en:
- **Señales Preventivas**
 - **Señales Reglamentarias**
 - **Señales Informativas**

3.3.2.4.1. SEÑALES PREVENTIVAS



Tienen por objeto advertir al usuario de la vía la existencia de una condición peligrosa y la naturaleza de ésta. Se identifican con el código P.

A. CONFORMACIÓN FÍSICA

La placa es siempre rígida, con las variantes que se dan a continuación y el símbolo utilizado es negro, salvo los casos especiales que se indican.

- Señal Genérica
- Cuadrado colocado con una diagonal en vertical, de entre 0,6 m y 1,2 m de lado, de color amarillo con una línea negra perimetral.
- Señal de Máximo Peligro Triángulo equilátero, de 0,6 m a 1,2 m de lado, con la base hacia abajo, de color blanco con una orla roja.
- Señales Especiales tienen formas variadas y son la cruz de San Andrés, los paneles de aproximación o delineadores y las flechas direccionales.

B. SIGNIFICADO

Advierten la proximidad de una circunstancia o variación de la normalidad de la vía que puede resultar sorpresiva o peligrosa a la circulación. No imparten directivas, pero ante una advertencia se debe adoptar una actitud o conducta adecuada.

C. UBICACIÓN

La señal deberá ser colocada antes del riesgo a prevenir, a una distancia tal del objeto al que hace referencia, de modo que el vehículo de mayor velocidad pueda detenerse totalmente antes del mismo (aunque la detención no sea necesaria para superarlo).

D. COLORES

Los colores utilizados en estas señales son, en general, fondo amarillo con vivos negros. Las excepciones a esta regla son:

- a) Semáforo (amarillo, negro, rojo y verde)
- b) Prevención de pare (amarillo, negro, rojo y blanco) –
- c) Prevención de ceda el paso (amarillo, negro, rojo y blanco)
- d) Paso a nivel (blanco y negro)

E. LOCALIZACIÓN

Las señales preventivas deben ubicarse con la debida anticipación, de tal manera que los conductores tengan el tiempo adecuado para percibir, identificar, tomar la decisión y ejecutar con seguridad la maniobra que la situación requiere. Este tiempo puede variar de 3 segundos, como en el caso de las señales preventivas más sencillas, CURVA PRONUNCIADA DERECHA (P-04) o PENDIENTE FUERTE DE BAJADA (P-46), hasta 10 segundos en el caso de señales de advertencia de situaciones complejas como CRUCES o BIFURCACIONES (P-13 a P-19).

Por lo tanto, la distancia requerida entre la señal y la situación que advierte queda determinada por la velocidad máxima de la vía y el tiempo a que se refiere el párrafo anterior (distancia = tiempo x velocidad máxima), no pudiendo ser dicha distancia menor a 50 m. Estas pueden ser ajustadas, hasta en un 20%, dependiendo de factores tales como: geometría de la vía, accesos, visibilidad, tránsito y otros.

En el caso especial de las señales que advierten sobre restricciones en la vía, que afectan sólo a ciertos vehículos, ellas deben ubicarse antes del empalme con la ruta alternativa que evita la restricción o antes del lugar donde un vehículo afectado por la limitación pueda virar en “U”. Dicha ruta alternativa debe contar con señalización informativa que permita a los conductores retomar la vía original sin dificultad. En la Figura 3.3.2_ 8 se esquematiza esta situación.

Cuando la distancia entre la señal de advertencia y el inicio de la condición peligrosa es superior a 300 m, se debe agregar a la señal una placa adicional que indique tal distancia. Si dicha distancia es menor a un kilómetro, la indicación se da en múltiplos de 100 m y si es mayor, se redondea a kilómetros enteros.

Para determinar la separación con otras señales, se deberá considerar lo indicado en el numeral 3.3.2.3.2 de la Sección 3.3.2.3. Deberán ser colocadas antes del riesgo a prevenir. En vías arterias urbanas, o de jerarquía inferior, se ubicarán a una distancia que podrá variar entre 60 y 80 m. Para el caso de vías rurales, o urbanas de jerarquía superior a las arterias urbanas, las señales preventivas se colocarán de acuerdo con la velocidad de operación del sector, así:

Tabla 3.3.2_10. DISTANCIAS PARA LA UBICACIÓN DE LAS SEÑALES PREVENTIVAS EN VÍAS RURALES O EN VÍAS URBANAS DE JERARQUÍA SUPERIOR A LAS ARTERIAS URBANAS

VELOCIDAD DE OPERACIÓN (Km/h)	Distancia (m)
40	50
60	90

80	120
100	150
Mas de 100	No menos de 250

Nota: para velocidades intermedias, se interpolan las distancias correspondientes.

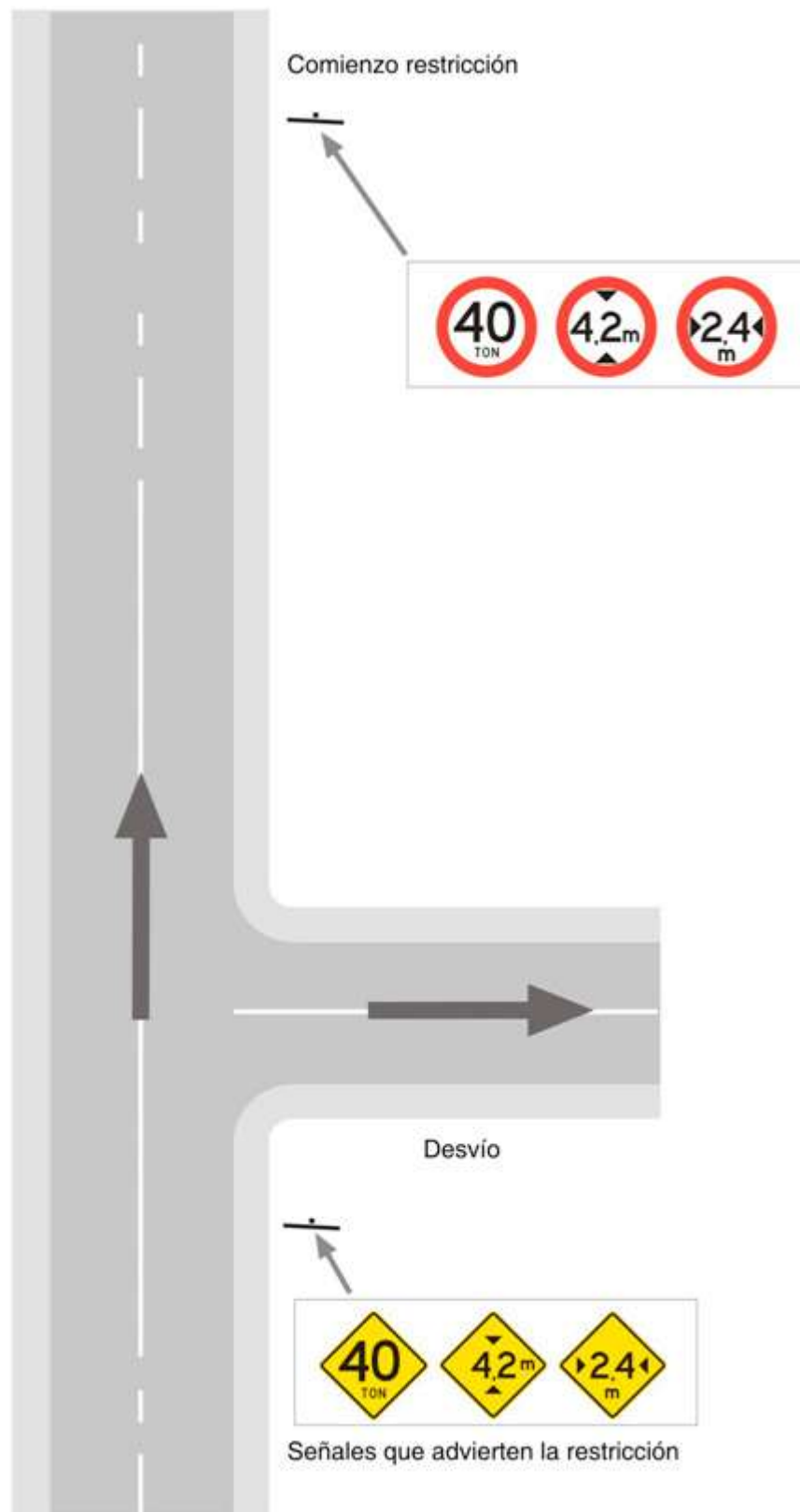


Figura 3.3.2_8. UBICACIÓN DE SEÑALES PREVENTIVAS DE RESTRICCIÓN

Flecha direccional (Señal P-64), debe ser instalada enfrentada a la trayectoria de aproximación en tangente, tal como lo ilustra en la Figura 3.3.2_9.

Figura 2.3 Diagrama de ubicación de la señal SP-40

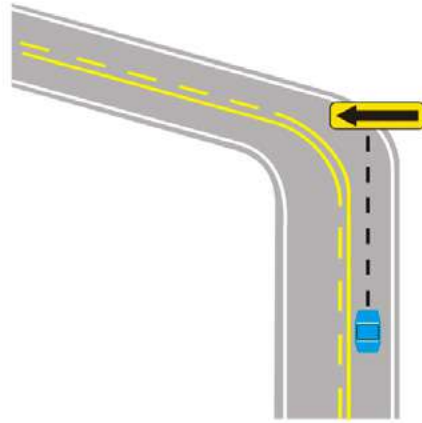

















Figura 3.3.2_9. DIAGRAMA DE UBICACIÓN DE LA SEÑAL P -64

F. CLASIFICACIÓN DE LAS SEÑALES PREVENTIVAS				
CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA				
P-01	P-02	P-03	P-04	P-05
Curva peligrosa a la izquierda	Curva peligrosa a la derecha	Curva pronunciada a la izquierda	Curva pronunciada a la derecha	Curva y contra curva peligrosa a la izquierda
P-06	P-07	P-08	P-09	P-10
Curva y contra curva peligrosa a la derecha	Camino sinuoso a la izquierda	Camino sinuoso a la derecha	Curva en "U" izquierda	Curva en "U" derecha
P-11	P-12	P-13	P-14	P-15
Curva en "S" a la izquierda	Curva en "S" a la derecha	Intersección de vías	Vía lateral a la izquierda	Vía lateral a la derecha











				
P-16	P-17	P-18	P-19	P-20
Bifurcación en "T"	Bifurcación en "Y"	Bifurcación izquierda	Bifurcación derecha	Rotonda
				
P-21	P-22	P-23	P-24	P-25
Incorporación de tránsito lateral (izquierda)	Incorporación de tránsito lateral (derecha)	Superficie irregular	Lomada (Resalto)	Badén
				
P-26	P-27	P-28	P-29	P-30
Reducción asimétrica de la calzada (izquierda)	Reducción asimétrica de la calzada (derecha)	Reducción simétrica de la calzada	Ensanche simétrico de la calzada	Ensanche asimétrico de la calzada (izquierda)

				
P-31	P-32	P-33	P-34	P-35
Ensanche asimétrico de la calzada (derecha)	Puente angosto	Peso máximo total permitido	Circulación en dos sentidos	Zona de derrumbe
				
P-36	P-37	P-38	P-39	P-40
Inicio de separador (dos sentidos)	Inicio de vía con separador (un sentido)	Fin de vía con separador (dos sentidos)	Fin de vía con separador (un sentido)	Altura limitada

P-41 Ancho limitado	P-42 Fin del pavimento	P-43 Bifurcación Escalonada Izquierda	P-44 Bifurcación Escalonada Derecha	P-45 Proyección de Piedras
P-46 Pendiente fuerte de bajada	P-47 Pendiente fuerte de subida	P-48 Túnel	P-49 Cruce ferroviario a nivel sin barreras	P-50 Paso ferroviario a nivel (Cruz de San Andrés)

POSIBILIDAD DE RIESGO EVENTUAL

P-51 Trabajos en la vía	P-52 Maquinaria en la vía	P-53 Maquinaria agrícola en la vía	P-54 Peatones en la vía	P-55 Ciclistas
P-56 Zona escolar	P-57 Animales en la vía pública	P-58 Calzada resbaladiza	P-59 Niños jugando	P-61 Zona urbana
P-60 Riesgo de accidente	P-62 Animales salvajes			

ANTICIPO DE DISPOSITIVOS DE CONTROL DE TRÁNSITO				
				
P-63 Semáforo	P-64 Flecha direccional	P-65 Doble flecha direccional	P-66 Tres carriles (uno en contraflujo)	P-67 Tres carriles (dos en contraflujo)
				
P-68 Barrera	P-69 Parada obligatoria al frente		P-70 Ceda el Paso	

G. ADVERTENCIA SOBRE CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA

G.1. Características Específicas:

Se utiliza la conformación básica de Señales Verticales Preventivas.

G.2. Conformación Física:

La placa es siempre rígida, con las variantes que se dan a continuación y el símbolo utilizado es negro, salvo los casos especiales que se indican.

G.3. Señal genérica:

Cuadrado colocado con una diagonal en vertical, de entre 0,6m y 1,2 m de lado, de color amarillo con una línea negra perimetral.



	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
	P-01 CURVA PELIGROSA A LA IZQUIERDA
P-02	CURVA PELIGROSA A LA DERECHA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Flecha curvada en color negro en ángulo de 90° y el mismo sentido que la curva señalizada.	Se utiliza para advertir a los conductores la proximidad de una curva pronunciada y peligrosa en la dirección de la flecha.	La señal debe estar a una distancia tal del objeto al que hace referencia, de modo que el vehículo de mayor velocidad pueda detenerse totalmente antes del mismo (aunque la detención no sea necesaria para superarlo).

OBSERVACIONES
<p>Se utiliza exclusivamente para velocidades de diseño inferiores a 50 km/h.</p> <p>Debe ser complementada con la señal reglamentaria R-08, indicativa del límite máximo de velocidad de la curva.</p>

P-03



P-04



CLASIFICACIÓN

P-03	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
P-03	CURVA PRONUNCIADA A LA IZQUIERDA
P-04	CURVA PRONUNCIADA A LA DERECHA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Flecha curvada en color negro con el mismo ángulo y sentido que la curva señalizada.</p>	<p>Indica la proximidad de una curva en la dirección de la flecha, cuya velocidad máxima es menor que la velocidad máxima de operación en el resto de la vía, o cuando $v = \text{vel. máx}$ y existen limitaciones de visibilidad u otras complicaciones de operación.</p>	<p>La señal debe estar a una distancia tal del objeto al que hace referencia, de modo que el vehículo de mayor velocidad pueda detenerse totalmente antes del mismo (aunque la detención no sea necesaria para superarlo).</p>

OBSERVACIONES

Utilizar sólo en curvas con velocidad de diseño sea igual o superior a 50 km/h.

P-05



P-06



CLASIFICACIÓN

SEÑALES PREVENTIVAS

CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA

**CURVA Y CONTRA CURVA PELIGROSAS A LA IZQUIERDA
 CURVA Y CONTRA CURVA PELIGROSAS A LA DERECHA**

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Flecha curvada en color negro con el mismo ángulo y sentido que la curva señalizada (curva y contra curva peligrosas, en "S", etc.).	Curva y contra curva: Advierte la posibilidad de un tramo con DOS (2) curvas en sentido contrario separadas por una tangente.	La señal debe estar a una distancia tal del objeto al que hace referencia, de modo que el vehículo de mayor velocidad pueda detenerse totalmente antes del mismo (aunque la detención no sea necesaria para superarlo).
OBSERVACIONES		
Se utiliza exclusivamente para velocidades de diseño inferiores a 50 km/h.		
Debe ser complementada con la señal reglamentaria R-08, indicativa del límite máximo de velocidad de la curva.		



CLASIFICACIÓN	
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
P-07	CAMINO SINUOSO A LA IZQUIERDA
P-08	CAMINO SINUOSO A LA DERECHA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Flecha en color negro en forma sinuosa.	Se utiliza para advertir la proximidad de TRES (3) o más curvas sucesivas de sentidos opuestos y cuya velocidad de diseño es menor que la velocidad máxima o de operación de la vía, y siempre que la distancia entre el fin de una curva y el inicio de la siguiente sea menor	Antes del comienzo de la variación

OBSERVACIONES

Debe ser complementada con la señal reglamentaria R-08, indicativa del límite máximo de velocidad de la curva.

En el caso que el tramo con pista sinuosa se prolongue por más de un kilómetro, esta señal debe asociarse con una señal complementaria de advertencia, en el mismo soporte, con una leyenda "EN LOS PRÓXIMOS..." que señale la extensión del tramo.



CLASIFICACIÓN	
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
P-09	CURVA EN "U" IZQUIERDA
P-10	CURVA EN "U" DERECHA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Flecha en color negro en forma e "U".	Se utiliza para advertir la proximidad de una curva cerrada de aproximadamente 180º en el camino.	La señal debe estar a una distancia tal del objeto al que hace referencia, de modo que el vehículo de mayor velocidad pueda detenerse totalmente antes del mismo (aunque la detención no sea necesaria para superarlo).

OBSERVACIONES
<p>Se utiliza exclusivamente para velocidades de diseño inferiores a 50 km/h.</p> <p>Debe ser complementada con la señal reglamentaria R-08, indicativa del límite máximo de velocidad de la curva.</p>



CLASIFICACIÓN	
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
P-11	CURVA EN "S" IZQUIERDA
P-12	CURVA EN "S" DERECHA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Flecha curvada en color negro con el mismo ángulo y sentido que la curva señalizada (curva y contra curva pronunciada, en "S", etc.)	Curva pronunciada en "S": Se utiliza para advertir la proximidad de un tramo con DOS (2) curvas de sentido contrario separadas por una tangente de longitud menor a 80 m.	La señal debe estar a una distancia tal del objeto al que hace referencia, de modo que el vehículo de mayor velocidad pueda detenerse totalmente antes del mismo (aunque la detención no sea necesaria para superarlo).

OBSERVACIONES
Debe ser complementada con la señal reglamentaria R-08, indicativa del límite máximo de velocidad de la curva más restrictiva.



P-13	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
	INTERSECCIÓN DE VÍAS

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Cruz con travesaños iguales o de distinto espesor.	Indica intersección a nivel de vías de circulación, con las siguientes características: Intersección de caminos: 1) Disimilar importancia cuando los travesaños son iguales, 2) y mayor o menor, según la diferencia de espesor que tengan.	Con suficiente antelación a intersecciones.

OBSERVACIONES
En caso de una intersección entre vías de diferentes categorías, el grosor de línea correspondiente a la vía de categoría menor será el 60% del grosor de línea de la vía principal.



CLASIFICACIÓN	
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
P-14	VÍA LATERAL A LA IZQUIERDA
P-15	VÍA LATERAL A LA DERECHA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Rectángulo con otro/s lateral/es perpendicular/es de similar o distinto ancho, opuestos o no	Indica empalme de vías de circulación, con las siguientes características: 2 Empalme/s o vía/s lateral/es: De similar o distinta importancia, perpendicular, sucesivas o no, según sea el espesor, ángulo y ubicación de las transversales.	La señal debe estar a una distancia tal del objeto al que hace referencia, de modo que el vehículo de mayor velocidad pueda detenerse totalmente antes del mismo (aunque la detención no sea necesaria para superarlo).

OBSERVACIONES
En caso de una intersección entre vías de diferentes categorías, el grosor de línea correspondiente a la vía de categoría menor será el 60% del grosor de línea de la vía principal.



P-16	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
	BIFURCACIÓN EN "T"

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Rectángulo con uno o dos laterales en ángulos diversos o no, de igual espesor (forma de "T" oparecido).	Indica empalme con vías de circulación no canalizada, con las siguientes características: Bifurcación: Indica que la vía se divide en los sentidos indicados en la figura. El ángulo entre vías no es necesariamente 90°.	Con suficiente antelación a cruces.

OBSERVACIONES
<p>No debe utilizarse cuando existan islas de canalización ni en accesos donde el tránsito puede detenerse antes de entrar a la intersección.</p> <p>En caso de una intersección entre vías de diferentes categorías, el grosor de línea correspondiente a la vía de categoría menor será el 60% del grosor de línea de la vía principal.</p>



P-17	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
	BIFURCACIÓN EN "Y"

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Rectángulo con uno o dos laterales en ángulos diversos o no, de igual espesor (forma de "T" oparecido).	Indica empalme de vías de circulación, con las siguientes características: Bifurcación: Indica que la vía se divide en forma de "Y" no canalizada en los sentidos indicados en la figura. El ángulo entre vías no es necesariamente 90°.	Con suficiente antelación a cruces

OBSERVACIONES
<p>No debe utilizarse cuando existan islas de canalización ni en accesos donde el tránsito puede detenerse antes de entrar a la intersección.</p> <p>En caso de una intersección entre vías de diferentes categorías, el grosor de línea correspondiente a la vía de categoría menor será el 60% del grosor de línea de la vía principal.</p>



CLASIFICACIÓN	
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
P-18	BIFURCACIÓN IZQUIERDA
P-19	BIFURCACIÓN DERECHA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Rectángulo con otro lateral en ángulo de 45° de similar o distinto ancho, opuestos o no.	Esta señal se usa para indicar al usuario de una vía principal de la existencia de una bifurcación oblicua a nivel, con una vía secundaria a la derecha o la izquierda, alertándolo de posibles maniobras provenientes de la propia operación del tráfico en la bifurcación.	La señal debe ubicarse con suficiente antelación a la bifurcación.

OBSERVACIONES
En caso de una intersección entre vías de diferentes categorías, el grosor de línea correspondiente a la vía de categoría menor será el 60% del grosor de línea de la vía principal.



	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
P-20	ROTONDA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Círculo conformado por tres flechas sucesivas indicando sentido de giro contrario al de las agujas del reloj.</p>	<p>Proximidad de una Intersección tipo rotonda. Se circula por ella dejando la parte central (no necesariamente redonda) a la izquierda. La prioridad está definida para los vehículos que circulan en la rotonda</p>	<p>La señal debe estar a una distancia tal del objeto al que hace referencia, de modo que el vehículo de mayor velocidad pueda detenerse totalmente antes del mismo(aunque la detención no sea necesaria para superarlo).</p>

OBSERVACIONES
<p>La rotonda puede estar simplemente “dibujada” por demarcación horizontal.</p>



CLASIFICACIÓN	
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
P-21	INCORPORACIÓN DE TRÁNSITO LATERAL (IZQUIERDA)
P-22	INCORPORACIÓN DE TRÁNSITO LATERAL (DERECHA)



CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Rectángulo vertical, con un brazo lateral de menor espesor en ángulo de CUARENTA Y CINCO GRADOS (45°) según sentido de incorporación del tránsito.	Advierte la proximidad de una confluencia de izquierda o de derecha por donde se incorpora una corriente de tránsito en el mismo sentido.	La señal debe estar a una distancia tal del objeto al que hace referencia, de modo que el vehículo de mayor velocidad pueda detenerse totalmente antes del mismo (aunque la detención no sea necesaria para superarlo).

OBSERVACIONES
Esta señal también debe ser colocada en la vía que se incorpora, toda vez que esa maniobra se vuelve inesperada por la gran extensión o visibilidad insuficiente de la vía.



P-23	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
	SUPERFICIE IRREGULAR

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Figura básica de un rectángulo, simbolizando un perfil de calzada, visto lateralmente, con superficie visiblemente alterada (elevaciones, depresiones, puntas). Especies de este género son las señales de: Calzada irregular: Advierte la proximidad de un tramo de vía peligroso por sucesión de irregularidades en su superficie.	Que la superficie de la calzada tiene irregularidades que pueden provocar modificaciones en las condiciones normales de marcha.	La señal debe estar a una distancia tal del objeto al que hace referencia, de modo que el vehículo de mayor velocidad pueda detenerse totalmente antes del mismo (aunque la detención no sea necesaria para superarlo).

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES



P-24	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
	LOMADA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Figura básica de un rectángulo, simbolizando un perfil de calzada, visto lateralmente, con superficie visiblemente alterada (elevación). Especies de este género son las señales de:</p> <p>Resalto o Lomada: Indica la proximidad de una saliente en el perfil del camino.</p>	<p>Que la superficie de la calzada tiene una loma o resalto de un reductor de velocidad en la superficie de la calzada.</p>	<p>La señal debe estar a una distancia tal del objeto al que hace referencia, de modo que el vehículo de mayor velocidad pueda detenerse totalmente antes del mismo (aunque la detención no sea necesaria para superarlo).</p>

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES



P-25	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
	BADÉN

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Figura básica de un rectángulo, simbolizando un perfil de calzada, visto lateralmente, con superficie visiblemente alterada (depresión). Especies de este género son las señales de:</p> <p>Badén: Indica la proximidad de una depresión en la vía.</p>	<p>Que la superficie de la calzada presenta una irregularidad física cóncava que puede provocar modificaciones en las condiciones normales de marcha.</p>	<p>La señal debe estar a una distancia tal del objeto al que hace referencia, de modo que el vehículo de mayor velocidad pueda detenerse totalmente antes del mismo (aunque la detención no sea necesaria para superarlo).</p>

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES



CLASIFICACIÓN	
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
P-26	REDUCCIÓN ASIMÉTRICA DE LA CALZADA (IZQUIERDA)
P-27	REDUCCIÓN ASIMÉTRICA DE LA CALZADA (DERECHA)

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Dos líneas paralelas que se quiebran. Puede ser una sola la que se aproxima del lado que ello ocurre en el camino.	La vía se estrecha más adelante, en forma asimétrica, según lo indique la figura. Generalmente ocurre al término de una tercera faja (cuando la pista derecha se estrecha) o supresión de la pista izquierda, o simplemente un estrechamiento de la calzada cuando la vía es de sentido único.	La señal debe estar colocada en el lado correspondiente al estrechamiento.

OBSERVACIONES
Estas señales son normalmente complementadas con una adecuada señalización horizontal.



	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
P-28	REDUCCIÓN SIMÉTRICA DE LA CALZADA (EN LAS DOS MANOS)

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Dos líneas paralelas que se quiebran, aproximándose en la parte superior.	La vía se estrecha más adelante, en forma simétrica conservando el mismo eje. La reducción puede ser del número de carriles o simplemente de las dimensiones de la calzada.	La señal debe estar a una distancia tal del objeto al que hace referencia, de modo que el vehículo de mayor velocidad pueda detenerse totalmente antes del mismo (aunque la detención no sea necesaria para superarlo).

OBSERVACIONES
Esta señal debe ser precedida, cuando el caso requiera, de una señal reglamentaria de disminución de velocidad (señal R-08) a un valor compatible a la operación en la faja estrecha de la vía y por la implantación de delineadores a lo largo del estrechamiento y adecuada señalización horizontal.



	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
P-29	ENSANCHE SIMÉTRICO DE LA CALZADA (EN LAS DOS MANOS)

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Dos líneas paralelas que se quiebran, alejándose en la parte superior.	La vía se ensancha más adelante, en forma simétrica conservando el mismo eje. El ensanchamiento puede ser del número de carriles o simplemente de las dimensiones de la calzada.	La señal debe estar a una distancia tal del objeto al que hace referencia, de modo que el vehículo de mayor velocidad pueda detenerse totalmente antes del mismo (aunque la detención no sea necesaria para superarlo).

OBSERVACIONES
Esta señal debe ser precedida por la implantación de delineadores a lo largo del ensanchamiento y adecuada señalización horizontal.



CLASIFICACIÓN	
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
P-30	ENSANCHE ASIMÉTRICO DE LA CALZADA (IZQUIERDA)
P-31	ENSANCHE ASIMÉTRICO DE LA CALZADA (DERECHA)

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Dos líneas paralelas que se quiebran. Una sola se aleja del lado que ello ocurre en el camino.	La vía se ensancha más adelante, en forma asimétrica, según lo indique la figura, con un desplazamiento del eje hacia el lado del ensanchamiento. El ensanchamiento puede ser del número de carriles o simplemente de las dimensiones de la calzada.	La señal debe estar a una distancia tal del objeto al que hace referencia, de modo que permita advertir al conductor la proximidad del ensanche

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES



	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
P-32	PUENTE ANGOSTO

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Representación de las barandas mediante una especie de corchetes de escritura, en sentido inverso a como se los utiliza en la misma	Presencia sobre la calzada de un puente, alcantarilla u obra de características similares de menor ancho que el resto de la vía.	La señal debe estar a una distancia tal del objeto al que hace referencia, de modo que el vehículo de mayor velocidad pueda detenerse totalmente antes del mismo (aunque la detención no sea necesaria para superarlo).

OBSERVACIONES
Esta señal debe ser complementada con la señal reglamentaria R-11 y por delineadores en la cabecera de la obra y adecuada señalización horizontal. Cuando hay restricción de visibilidad, se debe colocar una señal de refuerzo rectangular con la leyenda "Puente estrecho a ... m"



P-33	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
	PESO MÁXIMO TOTAL PERMITIDO

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Un número con la expresión “Ton” debajo en letra minúscula tipo imprenta (toneladas).	<p>Peso Limitado:</p> <p>Se utilizará para advertir la proximidad de una estructura con límite de peso permitido para el vehículo.</p>	La señal debe estar a una distancia tal del objeto al que hace referencia, de manera que permita al conductor una alternativa de desvío.

OBSERVACIONES
Estas indicaciones corresponden cuando existen vehículos de peso superior al máximo admitido para la estructura señalizada.



P-34	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
	CIRCULACIÓN EN DOS SENTIDOS

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Flechas negras verticales paralelas, la izquierda descendente y la derecha ascendente.	Indica al conductor que transita por una vía unidireccional que se aproxima a un tramo de la vía en el cual la circulación es bidireccional.	Al comienzo y hasta QUINCE METROS (15 m) antes de la zona de doble mano.

OBSERVACIONES
La señal similar reglamentaria R-06 se coloca cuando una misma calzada se convierte en doble mano



P-35	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
	ZONA DE DERRUMBE

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Perfil de calzada y de un acantilado en su costado derecho, vistos en corte transversal, del que se desprenden partes que caen sobre la figura posterior de un automóvil.</p>	<p>Que de la elevación próxima a la ruta, aunque no tenga la inclinación del dibujo, pueden desprenderse rocas o partes que caen o ruedan sobre la calzada.</p> <p>Los derrumbes pueden provenir de ambos costados o de uno solo (izquierdo o derecho).</p>	<p>La señal debe estar a una distancia tal del objeto al que hace referencia, de modo que el vehículo de mayor velocidad pueda detenerse totalmente antes del mismo (aunque la detención no sea necesaria para superarlo).</p>

OBSERVACIONES
<p>La señal zona de derrumbe debe ir asociada con una señal complementaria de advertencia, en el mismo soporte, donde la leyenda En los Próximos Km indique la extensión de la zona de riesgo, cuando esta sea superior a un kilómetro.</p>



P- A



	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
P-36	INICIO DE SEPARADOR (DOS SENTIDOS)
P-37	INICIO DE VÍA CON SEPARADOR (UN SENTIDO)

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Dos flechas marcando el sentido de dirección y en el medio un dibujo representativo del obstáculo o isleta.	Principio de calzada dividida: Indica la división física conservando los sentidos de circulación indicados en la señal. Fin de calzada dividida: Indica la finalización del separador físico.	La señal debe estar a una distancia tal del objeto al que hace referencia, de modo que el vehículo de mayor velocidad pueda detenerse totalmente antes del mismo (aunque la detención no sea necesaria para superarlo).

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES



	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
P-38	FIN DE VÍA CON SEPARADOR (DOS SENTIDOS)
P-39	FIN DE VÍA CON SEPARADOR (UN SENTIDO)

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Dos flechas marcando el sentido de dirección y en el medio un dibujo representativo del obstáculo o isleta.	Principio de calzada dividida: Indica la división física conservando los sentidos de circulación indicados en la señal. Fin de calzada dividida: Indica la finalización del separador físico.	La señal debe estar a una distancia tal del objeto al que hace referencia, de modo que el vehículo de mayor velocidad pueda detenerse totalmente antes del mismo (aunque la detención no sea necesaria para superarlo).

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES



	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
P-40	ALTURA LIMITADA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Dos triángulos equiláteros, a modo de cabeza de flecha, apuntándose	<p>Altura limitada:</p> <p>Se utilizará para advertir la proximidad de una estructura elevada, túnel, paso a desnivel u otra y el límite de altura permitido para el vehículo</p>	Esta señal debe ser colocada antes de una bifurcación, acceso o retorno, situados al inicio del tramo con restricción, para advertir maniobras de desvío o vuelta a los vehículos afectados.

OBSERVACIONES
Estas indicaciones corresponden cuando existen vehículos de altura superior al máximo admitido. Se recomienda colocar esta señal también en las vías secundarias, antes del ramal de acceso de las mismas a la carretera principal donde existe la restricción.



	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
P-41	ANCHO LIMITADO

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Dos triángulos equiláteros, a modo de cabeza de flecha, apuntándose.	Se usa para advertir la proximidad de una restricción de ancho que puede afectar a ciertos vehículos. Utilizada generalmente para el pasaje por puentes, viaductos, túneles, alcantarillas u otras que signifiquen una limitación del ancho de la vía.	Esta señal debe ser colocada antes de una bifurcación, acceso o retorno, situados al inicio del tramo con restricción, para advertir maniobras de desvío o vuelta a los vehículos afectados.

OBSERVACIONES
Se recomienda colocar esta señal también en las vías secundarias, antes del ramal de acceso de las mismas a la carretera principal donde existe la restricción.



P-42	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
FIN DEL PAVIMENTO	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Figura en color negro simbolizando esquemáticamente una calzada que termina seguida de puntos de dimensiones diferentes que simbolizan un camino no pavimentado	Fin del pavimento seguido posteriormente por camino empedrado y/o de tierra.	La señal debe estar a una distancia tal del objeto al que hace referencia, de modo que el vehículo de mayor velocidad pueda detenerse totalmente antes del mismo (aunque la detención no sea necesaria para superarlo).

OBSERVACIONES
La señal FIN DEL PAVIMENTO debe ir complementada con una señal complementaria de advertencia, en el mismo soporte, con la leyenda Fin del Pavimento a... m



	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
	P-43 BIFURCACIÓN ESCALONADA IZQUIERDA
P-44 BIFURCACIÓN ESCALONADA DERECHA	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Rectángulo vertical, con un brazo perpendicular en la parte superior derecha (o izquierda) y un brazo perpendicular en la parte inferior en el lado opuesto, según sentido de la bifurcación del tránsito.	Advierte la proximidad de empalmes o rutas secundarias que no están alineadas, con un desfase menor de 30 m entre ellas.	La señal debe estar a una distancia tal del primer empalme al que hace referencia, de modo que el vehículo de mayor velocidad pueda detenerse totalmente antes del mismo (aunque la detención no sea necesaria para superarlo).

OBSERVACIONES
Esta señal debe ser usada cuando los vehículos de una vía secundaria que van a la otra vía secundaria realizan una maniobra en "S" sobre la vía principal.



P-45	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
	PROYECCIÓN DE PIEDRAS

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Perfil de automóvil visto de atrás, y dibujos figurando proyección de piedras hacia el lado derecho del vehículo.</p>	<p>Advierte al conductor proximidad a un tramo de la vía en el cual el material superficial está suelto o existen piedras sobre la calzada, que podrían ser proyectadas por el paso del vehículo.</p>	<p>La señal debe estar a una distancia tal del sitio de riesgo (por lo general 150 m) al que hace referencia, de modo que el vehículo de mayor velocidad pueda detenerse totalmente antes del mismo (aunque la detención no sea necesaria para superarlo).</p>

OBSERVACIONES
<p>Esta señal debe ir asociada con una señal complementaria de advertencia, en el mismo soporte, donde la leyenda "EN LOS PRÓXIMOS...KM" indique la extensión de la zona de riesgo, cuando esta fuera superior a un kilómetro.</p> <p>Deberá complementarse con la señal reglamentaria R-08 de velocidad máxima.</p>



P-46	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
	PENDIENTE FUERTE DE BAJADA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Esquema de superficie de calzada vista lateralmente, con perfil lateral de vehículo sobre ella, sobre un plano inclinado de bajada.</p>	<p>Advierte la proximidad de una pendiente fuerte de bajada. Se debe instalar cuando el tramo con pendiente igual o exceda la longitud "A" mostrada en la Tabla 3.3.2_11. Cuando exceda la longitud "B", es recomendable el uso de señales especiales que incorporen la leyenda "ENGANCHE".</p>	<p>Esta señal debe ser colocada 150 m antes del inicio del trecho y estar asociada con una señal complementaria de Advertencia, en el mismo soporte, donde la leyenda EN LOS PRÓXIMOS ... KM señale la extensión de la zona de riesgo, cuando esta fuera superior a un kilómetro.</p>

OBSERVACIONES
<p>Cuando se trata de pendientes de bajada, esta señal puede ser de gran eficacia si se instala también en áreas de descanso ubicadas poco antes de las bajadas. En estas áreas se puede entregar información adicional sobre rampas de emergencia, si las hubiere, y estrategias de conducción que evitan el recalentamiento de los frenos.</p>

Tabla 3.3.2_11. SEÑALIZACIÓN DE PENDIENTES FUERTES

PENDIENTE (%)	LONGITUD "A" (m)	LONGITUD "B" (m)
6%	$L \geq 500$	$L \geq 2.000$
7%	$L \geq 300$	$L \geq 1.200$
8%	$L \geq 200$	$L \geq 800$
9%	$L \geq 150$	$L \geq 600$
10%	$L \geq 130$	$L \geq 520$
11% o más	$L \geq 120$	$L \geq 480$



P-47	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
	PENDIENTE FUERTE DE SUBIDA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Esquema de superficie de calzada vista lateralmente, con perfil lateral de vehículo sobre ella, sobre un plano inclinado de bajada.</p>	<p>Advierte la proximidad de una pendiente fuerte de subida. Se debe instalar cuando el tramo con pendiente igual o exceda la longitud "A" mostrada en la Tabla 3.3.2_11. Cuando exceda la longitud "B", es recomendable el uso de señales especiales que incorporen la leyenda "ENGANCHE".</p>	<p>Esta señal debe ser colocada 150 m antes del inicio del trecho y estar asociada con una señal complementaria de Advertencia, en el mismo soporte, donde la leyenda EN LOS PRÓXIMOS ... KM señale la extensión de la zona de riesgo, cuando esta fuera superior a un kilómetro.</p>

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES.



P-48	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
TÚNEL	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Esquema de un portal de túnel visto de frente.	Advierte la proximidad de un túnel donde no es permitido adelantar a otro vehículo.	La señal debe estar a una distancia tal del primer empalme al que hace referencia, de modo que el vehículo de mayor velocidad pueda detenerse totalmente antes del mismo (aunque la detención no sea necesaria para superarlo).

OBSERVACIONES
Deberá complementarse con las señales reglamentarias R-18 (obligación de circular con las luces bajas del vehículo), R-08 (velocidad máxima) y R-37 (prohibido adelantar).



P-49	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
	CRUCE FERROVIARIO A NIVEL SIN BARRERAS

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Esquema de una cruz atravesada por una línea delgada con transversales espaciadas uniformemente.	Advierte la proximidad de un cruce ferroviario a nivel, en explotación, no provisto de barreras.	La señal debe estar a una distancia tal del primer empalme al que hace referencia, de modo que el vehículo de mayor velocidad pueda detenerse totalmente antes del mismo (aunque la detención no sea necesaria para superarlo).

OBSERVACIONES
Deberá complementarse con la señal reglamentaria R-01 (Pare), y la señal preventiva P-50 (Cruz de San Andrés).



	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
P-50	PASO FERROVIARIO A NIVEL (CRUZ DE SAN ANDRÉS)

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Esquema de una cruz atravesada por una línea delgada con transversales espaciadas uniformemente.	Indica para cada acceso, el lugar donde se ubica el cruce con la vía férrea.	Debe ser instalada lo más cerca posible del cruce con la vía férrea.

OBSERVACIONES
<p>En cruces con más de una línea férrea se debe agregar una placa con la leyenda "X VÍAS" para indicar cuántas existen. En el caso particular de esta señal, su cara posterior también debe ser retrorreflectante, ya que en condiciones de visibilidad reducida, por ejemplo en la noche, al pasar un tren, dicha cara es vista en forma intermitente al ser alumbrada por las luces del vehículo.</p> <p>Es complementaria a las señales P-49 (Cruce ferroviario a nivel sin barreras) u otras de cruce ferroviario con barreras.</p>

H. POSIBILIDAD DE RIESGO EVENTUAL

H.1. Características Específicas:

Se utiliza la conformación básica de Señales Verticales Preventivas.

H.2. Conformación Física:

La placa es siempre rígida, con las variantes que se dan a continuación y el símbolo utilizado es negro, salvo los casos especiales que se indican.

H.3. Señal genérica:

Cuadrado colocado con una diagonal en vertical, de entre 0,6 m y 1,2 m de lado, de color amarillo con una línea negra perimetral.



P-51	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	POSIBILIDAD DE RIESGO EVENTUAL
	TRABAJOS EN LA VÍA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Silueta orientada a la izquierda de una persona trabajando con una pala.	Proximidad de una zona de trabajos en la vía	Antes del inicio de la zona referenciada.

OBSERVACIONES
Corresponde a la señal PT-01, y debe ser de color amarillo e instalada de acuerdo a lo indicado en el capítulo de señalización transitoria.



P-52	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	POSIBILIDAD DE RIESGO EVENTUAL
	MAQUINARIA EN LA VÍA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Silueta orientada a la izquierda de maquinaria de construcción (cargador frontal).	Proximidad de un tramo de la vía utilizado frecuentemente por maquinaria de construcción que circula a baja velocidad, con el consiguiente riesgo de colisión.	Antes del inicio de la zona referenciada.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES.



P-53	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	POSIBILIDAD DE RIESGO EVENTUAL
	MAQUINARIA AGRÍCOLA EN LA VÍA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Silueta orientada a la izquierda de maquinaria agrícola (tractor, etc.)	Proximidad de un tramo de la vía utilizado frecuentemente por maquinaria agrícola.	Antes del inicio de la zona referenciada.

OBSERVACIONES
Su instalación no debe entenderse como una autorización tácita para el tránsito de esta clase de vehículos, sino como una advertencia de un posible riesgo.

P-



P-54	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	POSIBILIDAD DE RIESGO EVENTUAL
	PEATONES EN LA VÍA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Silueta en color negro de un hombre.	Indica la proximidad a lugares frecuentados por peatones que caminan sobre la calzada o la cruzan a nivel en un sitio determinado.	En las vías de zonas aledañas a sitios frecuentados por peatones.

OBSERVACIONES
En zonas urbanas la señal se utilizará únicamente cuando la seguridad de los peatones lo justifique. Deberá complementarse con la señal reglamentaria R-08 de velocidad máxima.



P-55	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	POSIBILIDAD DE RIESGO EVENTUAL
	CICLISTAS

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Silueta de una bicicleta.	Advierte a los conductores la proximidad de un tramo de vía utilizado frecuentemente por ciclistas.	Al inicio de la zona de desarrollo de las actividades, debiendo repetirse cuando la misma es extensa.

OBSERVACIONES
También puede ser utilizada para advertir la proximidad de una intersección con una ciclo vía, en cuyo caso deberá ser complementada con una placa informativa adicional con la leyenda "CRUCE CICLOVÍA", ubicada inmediatamente debajo de la señal.



P-56	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	POSIBILIDAD DE RIESGO EVENTUAL
	ZONA ESCOLAR

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Silueta en color negro de escolares caminando, con un cuadernillo en la mano.	Advierte la posible presencia de escolares en la vía. Debe ubicarse en la proximidad de recintos escolares.	En las vías de zonas aledañas a recintos escolares.

OBSERVACIONES
Sólo deberá ser instalada en vías donde la velocidad máxima es menor o igual a 50 km/h. De lo contrario, la velocidad deberá ser previamente reducida, modificando el diseño de la vía e instalando la señal reglamentaria R-08 (Velocidad máxima). Solo después de realizado lo anterior se puede instalar la señal P-56.

P-



CLASIFICACIÓN	SEÑALES PREVENTIVAS
	POSIBILIDAD DE RIESGO EVENTUAL
	P-57 ANIMALES EN LA VÍA PÚBLICA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Silueta de una vaca u otro animal identificable.	Advierte al conductor la posibilidad de tránsito de animales de crianza sobre la vía.	Al inicio de la zona donde se constata la frecuente presencia de animales en la vía, debiendo repetirse cuando la misma es extensa.

OBSERVACIONES
Su instalación no deberá entenderse como una autorización tácita para que el ganado sea movilizado transitando por la vía.



CLASIFICACIÓN	SEÑALES PREVENTIVAS
	POSIBILIDAD DE RIESGO EVENTUAL
	P-58 CALZADA RESBALADIZA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Esquema de superficie de calzada vista lateralmente, con perfil posterior de vehículo sobre ella, inclinado respecto de la horizontal, y dos huellas sinuosas de patinazos sobre la calzada.	En la zona la calzada puede tener la superficie suelta o mojada, causando pérdida de adherencia con las ruedas y la pérdida de control por parte del conductor.	Esta señal debe ser colocada 150 m antes del inicio del trecho y estar asociada con una señal complementaria de Advertencia, en el mismo soporte, donde la leyenda EN LOS PRÓXIMOS... KM señale la extensión de la zona de riesgo, cuando esta fuera superior a un kilómetro.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES



CLASIFICACIÓN	SEÑALES PREVENTIVAS
	POSIBILIDAD DE RIESGO EVENTUAL
	P-59 NIÑOS JUGANDO

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Silueta en color negro de un niño jugando a la pelota.	Advierte la posible presencia de niños jugando en la vía o en sus proximidades	Debe ser colocada antes del lugar en que se encuentra el área de recreación.

OBSERVACIONES
Debe instalarse con extrema cautela, teniendo presente que la seguridad de los niños no puede garantizarse solamente con señales. Es necesario prever otras medidas complementarias.



CLASIFICACIÓN	SEÑALES PREVENTIVAS
	POSIBILIDAD DE RIESGO EVENTUAL
	P-60 RIESGO DE ACCIDENTES
	P-60 RIESGO DE ACCIDENTES

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Palabra "PELIGRO" en letras de color negro. La señal alterna consiste en un pictograma con dos vehículos chocando.	Advierte peligro de accidente en sectores donde ocurren frecuentemente.	Debe ser colocada antes del lugar de riesgo.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES



P-61	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	POSIBILIDAD DE RIESGO EVENTUAL
	ZONA URBANA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Palabra "ZONA URBANA" en letras de color negro.	Advierte la proximidad de ingreso a una zona urbana.	Debe ser colocada antes del lugar de riesgo

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES



P-62	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	POSIBILIDAD DE RIESGO EVENTUAL
	ANIMALES SALVAJES

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Silueta de un venado saltando	Advierte la proximidad de ingreso a una zona donde existe fauna salvaje que eventualmente cruza la vía.	Debe ser colocada antes del lugar de riesgo.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES

I. ANTICIPO DE DISPOSITIVOS DE CONTROL DE TRÁNSITO

1.1. Características específicas:

Se utiliza la conformación básica de Señales Verticales Preventivas.

1.2. Conformación física:

La placa es siempre rígida, con las variantes que se dan a continuación y el símbolo utilizado es negro, salvo los casos especiales que se indican.

1.3. Señal genérica:

Cuadrado colocado con una diagonal en vertical, de entre 0,6 m y 1,2 m de lado, de color amarillo con una línea negra perimetral.



P-63	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	ANTICIPO DE DISPOSITIVOS DE CONTROL DE TRÁNSITO
	SEMÁFORO

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Figura de semáforo de cuerpo negro, con los tres colores correspondientes de sus luces. Sobre ella puede indicarse la distancia: "a... m" en letras negras.	Advierte la proximidad de una intersección con semaforización, alertando al usuario de la vía de la necesidad de reducir la velocidad y eventualmente detenerse, de manera a disminuir riesgos de accidentes.	En la distancia indicada por la señal. Si no la tiene, en la cuadra previa a la señal referenciada.

OBSERVACIONES
Se instalará en donde no es común encontrar este tipo de dispositivos de regulación de tránsito.

P-64



CLASIFICACIÓN	
SEÑALES PREVENTIVAS	
ANTICIPO DE DISPOSITIVOS DE CONTROL DE TRÁNSITO	
P-64	FLECHA DIRECCIONAL
P-65	DOBLE FLECHA DIRECCIONAL

P-65



CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Rectángulo de color amarillo con una o dos flechas apuntando hacia uno o ambos costados. El campo inferior puede contener un Rectángulo con franjas negras.	Advierte al conductor la dirección en que continúa la circulación.	Antes del tramo donde se establece la restricción.

OBSERVACIONES
Se empleará especialmente cuando las condiciones de visibilidad no permiten percibir con claridad el tramo siguiente de la vía.

P-66



CLASIFICACIÓN	
SEÑALES PREVENTIVAS	
CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA	
P-66	TRES CARRILES (UNO EN CONTRAFLUJO)
P-67	TRES CARRILES (DOS EN CONTRAFLUJO)

P-67



CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Rectángulo de color amarillo con tres flechas, dos apuntando hacia arriba y una apuntando hacia abajo.	Advierte al conductor la proximidad a un sector de la vía que posee tres carriles, de los que dos serán por derecha en el sentido que se observa en la señal y uno en sentido opuesto.	Antes del tramo donde se establece la restricción.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES



	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	ANTICIPO DE DISPOSITIVOS DE CONTROL DE TRÁNSITO
P-68	BARRERA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Silueta en color negro orientada a la izquierda de auto con marca- ción de barrera.	Advierte la proxi- midad de una intersección con barrera.	Al menos 100 m antes de la señal referen- ciada.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES



	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES PREVENTIVAS
	ANTICIPO DE DISPOSITIVOS DE CONTROL DE TRÁNSITO
P-69	PARADA OBLIGATORIA AL FRENTE
P-69	PARADA OBLIGATORIA AL FRENTE



CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
La señal de parada obligatoria dentro del cuadrado con la diagonal sobre la cual debe figurar la distancia a la que encuentra la misma. La señal alterna consiste de la señal de parada y una flecha negra, sin leyendas.	Esta señal se utiliza para advertir a los usuarios de la vía, la existencia de una señal de parada obligatoria adelante, sobre todo cuando esta no se observa, por restricciones de visibilidad (curvas horizontales, curvas verticales, vegetación etc.)	En la distancia indicada por la señal.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES



CLASIFICACIÓN	SEÑALES PREVENTIVAS
	ANTICIPO DE DISPOSITIVOS DE CONTROL DE TRÁNSITO
	P-70 PROXIMIDAD DE SEÑAL RESTRICTIVA (CEDA EL PASO)

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Representación en menor tamaño de la señal prescriptiva que anticipa, sobre la cual debe figurar la distancia: "a...m" en letras negras: Ver: Señal de "CEDA EL PASO" sin leyenda). La señal alterna consiste de la señal "CEDA EL PASO" y una flecha negra encima, sin leyenda.	Advierte la proximidad de la señal prescriptiva indicada en la figura, sobre todo cuando esta no se observa, por restricciones de visibilidad (curvas horizontales, curvas verticales, vegetación etc.)	En la distancia indicada por la señal. Si no la tiene, al menos 100 m antes de la señal referenciada.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES

3.3.2.4.2. SEÑALES REGLAMENTARIAS



Las señales reglamentarias tienen por objeto indicar a los usuarios de la vía las prohibiciones, restricciones, obligaciones y autorizaciones sobre su uso. Estas señales se identifican con el código R.

A. CONFORMACIÓN FÍSICA

Consiste en una placa circular, cuyas dimensiones deben poseer un diámetro entre 0,6 m y 1,2 m debiendo emplear las de mayor tamaño para aquellas vías de tránsito rápido o de alto volumen vehicular.

Puede utilizarse un rectángulo con su lado menor horizontal, de color blanco con la señal en la parte superior y una leyenda aclaratoria debajo

B. SIGNIFICADO

Transmiten órdenes específicas de cumplimiento obligatorio en el lugar para el cual están destinadas creando excepción a las reglas generales de circulación.

Su transgresión constituye infracción a las normas de tránsito y acarrea las sanciones previstas en la ley.

C. UBICACIÓN

La señal se coloca en un soporte rígido afirmado fuera de la calzada o sobre la pared frentista. También podrán utilizarse otros elementos de la infraestructura vial. Debe estar a una distancia del objeto al que hace referencia, de modo que al ser vista por el conductor de cualquier vehículo, pueda detenerse antes del mismo (aunque la detención no sea necesaria para superarlo).

En arterias urbanas se coloca en general, a la altura del objeto y a no más de quince metros (15 m) del mismo. Cuando se utilizan en zona rural, las distancias de ubicación y el tamaño son las correspondientes a la señalización para este tipo de zona. En el caso de que sean aéreas, se colocarán utilizando pórticos y columnas.

D. COLORES

Fondo color blanco con pictograma negro y rodeado con una orla de color rojo. Puede llevar una leyenda aclaratoria debajo

E. CLASIFICACIÓN DE LAS SEÑALES REGLAMENTARIAS

SEÑALES DE PRIORIDAD



R-01

Pare



R-02

Ceda el paso

SEÑALES DE RESTRICCIÓN



R-03

Dirección obligada



R-04

Giro a la izquierda solamente



R-05

Giro a la derecha solamente



R-06

Doble vía



R-07

Preferencia al sentido contrario



R-09

Peso máximo total permitido



R-10

Altura máxima permitida



R-11

Ancho máximo permitido



R-12

Sentido único de circulación



R-13

Doble sentido de circulación



R-14

Mantenga su derecha



R-15

Camiones a la derecha



R-16

Parada de ómnibus



R-17

Parada de taxis



R-18

Circulación con luces bajas



R-19

Peso máximo por eje



R-21

Control de peso



R-20

Retén



R-22

Permitido estacionar



SEÑALES DE PROHIBICIÓN



R-23

Dirección prohibida



R-24

Contramano



R-25

Prohibido girar a la izquierda



R-26

Prohibido girar a la derecha



R-27

Prohibido girar en "U"



R-28

Prohibido el cambio de calzada



R-29

Circulación prohibida de vehículos automotores



R-30

Prohibido estacionar



R-31

Prohibido estacionar ni detenerse



R-32

Prohibido ascenso y descenso de pasajeros



R-33

Circulación prohibida de peatones



R-34

Circulación prohibida de vehículos pesados



R-35

Circulación prohibida de ciclistas



R-36

Circulación prohibida de vehículos de tracción animal



R-37

Prohibido adelantar



R-38

Prohibido tocar bocina

F. SEÑALES DE PRIORIDAD

F.1. Conformación Física:

Son de características especiales. La señal "PARE" tiene forma octogonal, y la señal "CEDA EL PASO" tiene forma de un triángulo equilátero.

F.2. Significado:

Regulan el derecho preferente de paso en una encrucijada o tramo del camino.

F.3. Ubicación:

Sobre la encrucijada o antes de ella o al inicio del tramo, con la condición de ser visible desde una distancia suficiente como para detener la marcha antes de la bocacalle o el tramo.

F.4. Uso:

En toda intersección que no cuente con semáforos, sin importar el flujo vehicular, se deberá regular la circulación vehicular mediante la colocación de al menos una señal de prioridad CEDA EL PASO (R-02) o PARE (R-01), ubicada de acuerdo a las condiciones de visibilidad en el cruce o empalme.

Se utilizará una señal CEDA EL PASO (R-02) cuando la visibilidad en el cruce o empalme permita al conductor del vehículo que transita por la vía de menor prioridad, distinguir fácilmente cualquier vehículo que circule por la vía principal, disponiendo del tiempo y la distancia necesaria para ceder el paso antes de entrar al cruce o empalme. En caso contrario, se debe emplear la señal PARE (R-01).

El procedimiento para determinar el tipo de control en una intersección regulada por señal de prioridad se describe a continuación y se explica de manera gráfica en la Figura 3.3.2_10:

- Se traza una línea imaginaria "a" de 3,0 m de largo, localizada a lo largo de la línea central de la vía no prioritaria y que se desarrolla a partir de la continuación del borde de calzada de la vía principal.
- Se traza una línea "y", cuya longitud está dada por la Tabla 3.3.2_12, sobre el borde de la calzada de la vía principal, a partir del eje central de la vía no prioritaria y desarrollada en la dirección contraria al tránsito.
- Se ubicará la señal CEDA EL PASO (R-02) cuando desde cualquier punto de la línea "a" se tiene visibilidad no interrumpida sobre la línea "y" en toda su longitud. De lo contrario, se instalará la señal PARE (R-01).
- Si la vía principal es bidireccional con una pista por sentido, el procedimiento indicado debe realizarse separadamente para ambos sentidos, correspondiendo instalar la señal PARE (R-01) si, a lo menos en un sentido, no se cumple con la visibilidad.

Para los casos en que la vía principal sea bidireccional de dos o más pistas, se instalará una señal PARE (R-01) en la o las vías no prioritarias. La instalación de una señal CEDA EL PASO (R-02) o PARE (R-01) deberá complementarse siempre con la respectiva demarcación descrita en los Capítulos 3.3.1.1. al 3.3.1.3.

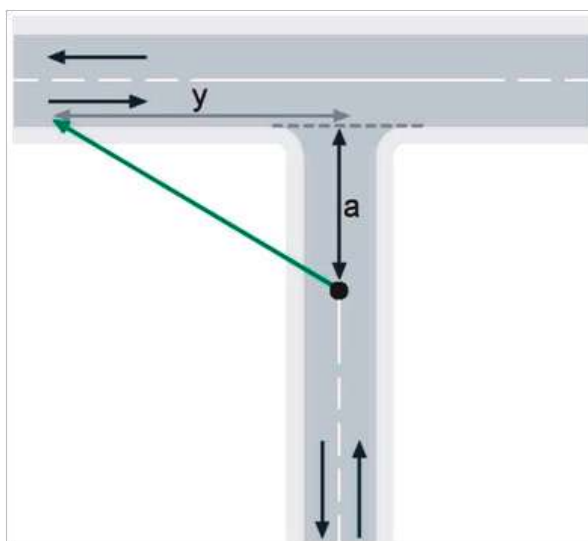


Figura 3.3.2_10. ESQUEMA PARA INSTALACIÓN DE SEÑAL DE PRIORIDAD

Tabla 3.3.2_12. DISTANCIA DE VISIBILIDAD EN INTERSECCIÓN REGULADA POR SEÑAL DE PRIORIDAD

VELOCIDAD MÁXIMA VÍA PRINCIPAL (km/h)	DISTANCIA MÍNIMA DE VISIBILIDAD "y" (m)
> 90	Usar señal PARE (R-01)
90	180
80	140
70	120
60	90
50	70

R-01



R-01	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE PRIORIDAD
PARE	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Octógono regular, con una distancia mínima entre lados paralelos de 0,75 m en color rojo con un ribete blanco periférico en el borde y la palabra "PARE" en color blanco al centro.</p>	<p>Indica la obligación de detener totalmente la marcha antes de la encrucijada, sin invadir la senda peatonal, y recién luego avanzar cuando no lo haga otro vehículo o peatón por la vía transversal. La detención es obligatoria aunque nadie circule por la transversal.</p>	<p>Inmediatamente próxima a la prolongación imaginaria (sobre la acera o más allá de la banquina, según sea el caso), de la línea demarcada, antes de la cual los vehículos deben detenerse. Este sitio de detención debe permitir al conductor buena visibilidad sobre la vía prioritaria para poder reanudar la marcha con seguridad.</p>

OBSERVACIONES
<p>Cuando se trate de una vía unidireccional no prioritaria, de dos o más pistas o cuando la visibilidad de la señal pueda ser obstaculizada, ésta debe ser reforzada, instalándola también al costado izquierdo. Esta señal se instalará además en todos los cruces ferroviarios a nivel. En estos casos, se ubicará inmediatamente antes de la primera vía, a una distancia no menor a 4 m ni mayor a 10 m de ella.</p> <p style="text-align: center;">Se debe complementar con marcas sobre el pavimento.</p> <p style="text-align: center;">(Ver señales Horizontales)</p>

R-02



	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE PRIORIDAD
R-02	PROXIMIDAD DE SEÑAL RESTRICTIVA (CEDA EL PASO)

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Triángulo equi- látero con una dimensión mínima de nueve decimas de metro (0,9 m) de lado, con su lado horizontal en la parte superior, de fondo blanco y borde perimetral de color rojo. En el triángulo debe contener la ins- cripción en letras negras: "CEDA EL PASO".	Indica a los con- ductores que debe "ceder el paso" a los vehículos que circulan por la vía a la cual se apro- ximan, no siendo necesario detener la marcha siempre que se asegure el paso prioritario del que cruza por la vía transversal.	Sobre el cruce o antes del o bien al inicio del tramo, con la con- dición de ser visible desde una distancia suficiente como para detener la marcha antes de la bocacalle o el tramo.

OBSERVACIONES
Instalarla en todos los casos en que la visibilidad no esté limita- da según lo descrito en párrafo 104.02.6 (d). Se debe comple- mentar con marcas sobre el pavimento. (Ver señales Horizonta- les)

G. SEÑALES DE RESTRICCIÓN

G.1. Conformación Física:

La orla es color rojo con símbolo negro sobre un círculo blanco, o símbolo blanco sobre fondo azul.

G.2. Significado:

Indica límites a la circulación en velocidades, pesos, y dimensiones, y límites de uso en los estacionamientos y carriles exclusivos.

G.3. Ubicación:

Al inicio de la restricción, debiendo repetirse periódicamente para tramos extensos y luego de accesos importantes a la vía.

R-03



R-03	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE RESTRICCIÓN
	DIRECCIÓN OBLIGADA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Flecha negra indicando el sentido del tránsito, sobre círculo blanco de borde rojo, contenida en un tablero con las siguientes variantes:</p> <p>(1) Vertical.</p> <p>(2) Apuntando hacia la derecha.</p> <p>(3) Apuntando hacia la izquierda.</p> <p>(4) En una bifurcación, apuntando en el ángulo de la bifurcación.</p>	<p>Indica a los conductores de los vehículos que el único sentido de desplazamiento será el de continuar en el sentido indicado por la flecha al pasar por un entroncamiento.</p>	<p>En zonas urbanas periféricas puede ir directamente adherida o pintada sobre la pared frentista, pudiendo variar su altura según las características de la misma y teniendo en cuenta la visibilidad. En el caso de una vía que se bifurca se coloca la variante cuatro (4), en el ángulo de la bifurcación.</p> <p>En el caso de carriles se coloca esta misma variante al inicio o unos metros antes de donde empieza el carril exclusivo.</p>

OBSERVACIONES
<p>Se puede complementar con marcas sobre el pavimento. (Ver señales Horizontales). Cuando la señal se construye sobre placa rectangular, el texto mínimo de la leyenda aclaratoria será: "DIRECCIÓN OBLIGADA".</p>

R-04



R-05



CLASIFICACIÓN	
	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE RESTRICCIÓN
R-04	GIRO A LA IZQUIERDA SOLAMENTE
R-05	GIRO A LA DERECHA SOLAMENTE

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Flecha con curva en ángulo recto a la derecha o a la izquierda.	Se debe seguir en el sentido de la flecha obligatoriamente.	Antes o sobre el lugar donde se cruzan dos o más calles o caminos.

OBSERVACIONES
<p>Estas señales se pueden complementar con la R-03 “Dirección obligada”.</p> <p>Cuando la señal se construye sobre placa rectangular, el texto mínimo de la leyenda aclaratoria será: “GIRO A LA IZQUIERDA (DERECHA) SOLAMENTE”. Se elegirán los alfabetos adecuados de manera que las palabras “IZQUIERDA” y “DERECHA” sean escritas con letras de altura igual al 60% del tamaño de las demás letras.</p>

R-06



CLASIFICACIÓN	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE RESTRICCIÓN
	R-06 DOBLE VÍA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Dos flechas negras de sentidos opuestos indicando los sentidos del tránsito, sobre círculo blanco de borde rojo	Indica a los conductores que circulan por una vía unidireccional que a partir de la señal se transformará en una vía de dos sentidos.	Al inicio o unos metros antes de donde empieza la circulación en ambos sentidos.

OBSERVACIONES
Se puede complementar con marcas sobre el pavimento. (Ver señales Horizontales). Cuando la señal se construye sobre placa rectangular, el texto mínimo de la leyenda aclaratoria será: "DOBLE CIRCULACIÓN"

R-07



CLASIFICACIÓN	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE RESTRICCIÓN
	R-07 DOBLE VÍA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Dos flechas negras de sentidos opuestos indicando los sentidos del tránsito, sobre círculo blanco de borde rojo. La flecha izquierda es más gruesa que la otra.	Indica a los conductores que los vehículos que circulan en sentido opuesto tienen prioridad.	Al inicio o unos metros antes de donde empieza la restricción. Se utiliza en puentes estrechos, angostamientos de calzada, caminos de montaña, entre otros lugares.

OBSERVACIONES
Cuando la señal se construye sobre placa rectangular, el texto mínimo de la leyenda aclaratoria será: "PREFERENCIA AL SENTIDO CONTRARIO". En caminos de montaña con calzadas angostas se puede usar la leyenda "PREFERENCIA AL TRÁNSITO QUE SUBE" para asignar el derecho preferente de vía a los vehículos que suben.

R-08



R-08	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE RESTRICCIÓN
R-08	VELOCIDAD MÁXIMA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Figura con el número de la velocidad máxima permitida expresada (en km/h) en el centro.</p>	<p>Es el máximo de velocidad a que se puede circular en el tramo señalado y debe ser observada hasta donde haya necesidad de cambiar ese límite y dar inicio a otra velocidad máxima reglamentaria, establecida por la colocación de una nueva señal</p>	<p>Al inicio de la zona de restricción.</p>

OBSERVACIONES
<p>Si las condiciones de operación se mantienen, la señal de velocidad máxima permitida debe ser repetida en espacios correspondientes a un tiempo de recorrido de 10 a 12 minutos. Puede agregarse una leyenda debajo que diga " VELOCIDAD MÁXIMA"</p>

R-09



R-09	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE RESTRICCIÓN
	PESO MÁXIMO TOTAL PERMITIDO

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Un número con la expresión debajo "Ton" en letra tipo imprenta (Toneladas).	Prohíbe el tránsito de vehículos cuyo peso total, incluida la carga, excede el valor indicado.	Al inicio de la zona de Prohibición, junto a una bifurcación, acceso o retorno, de manera a permitir el desvío o vuelta de los vehículos afectados.

OBSERVACIONES
<p>Esta señal se usa para restringir el cruce de una determinada obra de arte (puente por ejemplo), limitar el paso por pavimentos de poca resistencia o vías de intenso volumen de tránsito. Se recomienda también colocar esta señal en vías secundarias, antes del ramal de acceso de estas a la vía principal donde existe la restricción.</p> <p>Cuando la señal se construye sobre placa rectangular, el texto mínimo de la leyenda aclaratoria será: "PESO MÁXIMO POR VEHÍCULO".</p>

R-10



R-10	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE RESTRICCIÓN
ALTURA MÁXIMA PERMITIDA	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Figura con dos triángulos (a modo de punta de flecha) enfrentados arriba y abajo del interior blanco. Los números de la altura permitida, en metros. Cuando corresponda la expresión decimal, luego de la coma será de menor tamaño que el de la unidad.</p>	<p>Ningún vehículo que sobrepase la dimensión indicada en la señal puede circular por la zona vedada. Esta señal está indicada para lugares de la vía donde haya restricción de altura, como en los pasos bajo puentes, viaductos y pasarelas.</p>	<p>Al inicio de la zona de prohibición, junto a una bifurcación, acceso o retorno, de manera a permitir el desvío o vuelta de los vehículos afectados.</p>

OBSERVACIONES
<p>Se recomienda también colocar esta señal en vías secundarias, antes del ramal de acceso de estas a la vía principal donde existe la restricción. El límite general permitido en alto es de 4,5m, por lo tanto, la señal restrictiva contendrá cifras inferiores. Si se quiere indicar un máximo superior a los legales, debe usarse la señal preventiva correspondiente.</p> <p>Para definir la altura máxima, deberá considerarse el gálibo vertical de la estructura en el punto más desfavorable, menos una holgura de 0,50 metros.</p> <p>Cuando la señal se construye sobre placa rectangular, el texto mínimo de la leyenda aclaratoria será: "ALTURA MÁXIMA".</p>

R-11



CLASIFICACIÓN	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE RESTRICCIÓN
	R-11 ANCHO MÁXIMO PERMITIDO

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Figura con dos triángulos (a modo de punta de flecha) enfrentados a izquierda y derecha del interior blanco. Los números de la altura permitida, en metros. Cuando corresponda la expresión decimal, luego de la coma será de menor tamaño que el de la unidad.</p>	<p>Ningún vehículo que sobrepase la dimensión indicada en la señal puede circular por la zona vedada. Esta señal está indicada para lugares de la vía donde haya restricción de ancho, como en los pasos por túneles, puentes, viaductos y zonas de estrechamiento de la calzada.</p>	<p>Al inicio de la zona de prohibición, junto a una bifurcación, acceso o retorno, de manera a permitir el desvío o vuelta de los vehículos afectados.</p>

OBSERVACIONES
<p>Se recomienda también colocar esta señal en vías secundarias, antes del ramal de acceso de estas a la vía principal donde existe la restricción. El límite general permitido en ancho es de 2,5m, por lo tanto, la señal restrictiva contendrá cifras superiores. Si se quiere indicar un máximo superior a los legales, debe usarse la señal preventiva correspondiente.</p> <p>Para definir el ancho máximo, deberá considerarse el ancho útil de la estructura en el punto más desfavorable, menos una holgura de 1,00 metro. Cuando la señal se construye sobre placa rectangular, el texto mínimo de la leyenda aclaratoria será: "ANCHO MÁXIMO".</p>

R-12



R-12	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE RESTRICCIÓN
SENTIDO ÚNICO DE CIRCULACIÓN	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Flecha indicando el sentido del tránsito, contenida en un tablero con las siguientes variantes: sobre un cuadrado o rectángulo color negro, verde o azul, con el lado mayor horizontal, al igual que la flecha que debe ser de color blanco.</p>	<p>Establece la obligación de circular en el sentido indicado por la flecha.</p>	<p>En zonas urbanas periféricas puede ir directamente adherida o pintada sobre la pared frentista, pudiendo variar su altura según las características de la misma y teniendo en cuenta la visibilidad.</p>

OBSERVACIONES
<p>Ubicación alternativa. Esta señal debe ser colocada paralelamente al eje de la vía de destino, de forma que sólo pueda ser percibida por los vehículos que realizan el giro.</p>

R-13



R-13	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE RESTRICCIÓN
	DOBLE SENTIDO DE CIRCULACIÓN

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Flecha horizontales unidas apuntando en sentido opuesto, indicando ambos sentidos del tránsito, contenida en un tablero con las siguientes variantes: sobre un cuadrado o rectángulo color negro, verde o azul, con el lado mayor horizontal, al igual que la flecha que debe ser de color blanco.</p>	<p>Esta señal se utiliza para indicar a los usuarios del camino, el doble sentido de circulación en la vía a la cual se va a ingresar o interceptar.</p>	<p>En el lugar donde se cruzan dos o más calles o caminos o antes de ella. Tiene que ser visible desde una distancia suficiente para tomar las prevenciones.</p>

OBSERVACIONES
<p>Ubicación alternativa. Utilizadas usualmente en zonas urbanas. Se debe complementar con la señal nombre y numeración de la calle.</p>

R-14



R-14	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE RESTRICCIÓN
MANTENGA SU DERECHA	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Figura de un vehículo liviano visto de atrás, del lado derecho de una flecha horizontal negra.	Indica a los conductores que debe circular por la derecha a fin de dejar libre la o las pistas de la izquierda para facilitar los adelantamientos.	Al comienzo de los tramos en que se determine, debiendo repetirse cuando estos sean extensos.

OBSERVACIONES
Quando la señal se construye sobre placa rectangular, el texto mínimo de la leyenda aclaratoria será: "MANTENGA SU DERECHA"

R-15



R-15	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE RESTRICCIÓN
CAMIONES A LA DERECHA	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Figura de un camión visto de atrás, del lado derecho de un vehículo liviano.	Los vehículos lentos (generalmente ómnibus y camiones) deben circular por el carril extremo derecho.	Al comienzo de los tramos en que se determine, debiendo repetirse cuando estos sean extensos.

OBSERVACIONES
Normalmente indicada en trechos de largas pendientes en pistas dobles de manera a liberar el carril izquierdo para los vehículos más rápidos o en trechos de pista simple con tercera faja.
Quando la señal se construye sobre placa rectangular, el texto mínimo de la leyenda aclaratoria será: "CAMIONES A LA DERECHA".

R-16



R-16	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE RESTRICCIÓN
PARADA DE ÓMNIBUS	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Ómnibus de pasajeros visto desde atrás y pasajeros subiendo	Se emplea para notificar a los conductores de vehículos del transporte público o de cualquier otro tipo de vehículo, los sitios reglamentados por las autoridades de tránsito para el ascenso y descenso de pasajeros	En el mismo sitio donde se aplica la reglamentación.

OBSERVACIONES
Cuando la señal se construye sobre placa rectangular, el texto mínimo de la leyenda aclaratoria será: "PARADA DE ÓMNIBUS".

R-17



R-17	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE RESTRICCIÓN
PARADA DE TAXIS	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Palabra TAXI escrita dentro de círculo rojo	Se emplea para notificar a los conductores de vehículos del transporte público o de cualquier otro tipo de vehículo, los sitios reglamentados por las autoridades de tránsito como parada de taxis.	En el mismo sitio donde se aplica la reglamentación.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES

R-18



R-18	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE RESTRICCIÓN
	CIRCULACION CON LUCES BAJAS

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Dos orlas negras pequeñas asemejando los faros de un automóvil, pintadas de negro en la mitad superior.	Se emplea para indicar a los conductores de vehículos la obligación de circular con luces bajas.	En el mismo sitio donde se aplica la reglamentación.

OBSERVACIONES
<p>Debe utilizarse en la entrada de túneles.</p> <p>Cuando la señal se construye sobre placa rectangular, el texto mínimo de la leyenda aclaratoria será: "CIRCULE CON LUCES BAJAS".</p>

R-19



R-19	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE RESTRICCIÓN

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Una línea negra horizontal, con un círculo pequeño al centro y dos rectángulos pequeños en los extremos, semejando un eje de ruedas de un vehículo. Una flecha pequeña dirigida hacia abajo, por encima del dibujo anterior. Leyenda "X ton" debajo del dibujo anterior, indicando el número máximo de toneladas por eje.</p>	<p>Indica a los conductores de vehículos el peso máximo permitido por eje.</p>	<p>En el mismo sitio donde se aplica la reglamentación.</p>

OBSERVACIONES
<p>Debe utilizarse en tramos donde existen limitaciones de peso por el tipo de pavimento, o en sitios especiales que exigen esta limitación.</p> <p>Cuando la señal se construye sobre placa rectangular, el texto mínimo de la leyenda aclaratoria será: "PESO MÁXIMO POR EJE".</p>

R-20



R-20	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE RESTRICCIÓN
RETÉN	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Una línea negra gruesa horizontal, con los extremos redondeados.	Indica a los conductores de vehículos la presencia de un control de aduana o policial por la vía que circula.	En el mismo sitio donde se aplica la reglamentación.

OBSERVACIONES
Cuando la señal se construye sobre placa rectangular, el texto mínimo de la leyenda aclaratoria será: "RETÉN". En casos específicos, se puede utilizar las siguientes leyendas: "ADUANA" o "CONTROL POLICIAL"

R-21



R-21	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE RESTRICCIÓN
CONTROL DE PESO	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Una silueta lateral de un camión con la cabina al lado izquierdo.	Indica a los conductores de vehículos la presencia de un sistema de control de peso obligatorio.	En el mismo sitio donde se aplica la reglamentación.

OBSERVACIONES
Cuando la señal se construye sobre placa rectangular, el texto mínimo de la leyenda aclaratoria será: "CONTROL DE PESO".

R-22



CLASIFICACIÓN	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE RESTRICCIÓN
	R-22 PERMITIDO ESTACIONAR

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Una letra "E" mayúscula en color negro.	Indica a los conductores un lugar donde está autorizado estacionar.	En el mismo sitio donde se aplica la reglamentación.

OBSERVACIONES
<p>No se debe utilizar para indicar una autorización de estacionamiento que se aplica sólo a ciertos vehículos.</p> <p style="text-align: center;">Se pueden utilizar leyendas aclaratorias adecuadas.</p> <p>Cuando la señal se construye sobre placa rectangular, el texto mínimo de la leyenda aclaratoria será: "ESTACIONAMIENTO". Opcionalmente se puede utilizar la leyenda "PERMITIDO ESTACIONAR"</p>

H. SEÑALES DE PROHIBICIÓN

H.1. Conformación Física:

Círculo de fondo blanco con orla roja perimetral, con una banda cruzada del mismo color y ancho que el borde, en sentido Nor Oeste - Sur Este. En el centro se ubica la figura en color negro.

H.2. Significado:

La figura en color negro simboliza la naturaleza de la prohibición, según se describe en cada caso.

R-23



R-23	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE PROHIBICIÓN
DIRECCIÓN PROHIBIDA	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Una flecha negra que apunta hacia arriba, orla y franja diagonal de color rojo.	Prohíbe la continuación del movimiento directo del flujo vehicular que enfrenta la señal, más allá del lugar en que está instalada.	Se debe ubicar donde el conductor pueda comprender fácilmente cuál es la vía con prohibición de entrar.

OBSERVACIONES
<p>No se debe utilizar para indicar una autorización de estacionamiento que se aplica sólo a ciertos vehículos.</p> <p>Se pueden utilizar leyendas aclaratorias adecuadas.</p> <p>Cuando la señal se construye sobre placa rectangular, el texto mínimo de la leyenda aclaratoria será: "ESTACIONAMIENTO". Opcionalmente se puede utilizar la leyenda "PERMITIDO ESTACIONAR"</p>

R-24



R-24	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE PROHIBICIÓN
CONTRAMANO	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Círculo color rojo con un rectángulo blanco en el centro, con su lado mayor horizontal.	Indica que la vía ante la cual se encuentra tiene sentido de circulación opuesto y por lo tanto, no se puede ingresar.	Lateral o elevada, al inicio del lugar cuya circulación está prohibida. Normalmente debe colocarse sobre el lado derecho de la calzada.

OBSERVACIONES
<p>Aplicar cuando una calle deja de tener un sentido de circulación.</p> <p>Cuando la señal se construye sobre placa rectangular, el texto mínimo de la leyenda aclaratoria será: "NO PASAR".</p>

R-25

R-0



	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE RESTRICCIÓN
R-25	PROHIBIDO GIRAR A LA IZQUIERDA
R-26	PROHIBIDO GIRAR A LA DERECHA

R-26

R-0



CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Flecha de color negro en codo, con la punta orientada hacia la derecha o izquierda, orla y franja diagonal de color rojo.	Prohíbe girar hacia el lado que indica la flecha.	Sobre la encrucijada, con frente a los vehículos que circulan por la mano para la que se prohíbe el giro.

OBSERVACIONES

Si funciona en determinados horarios debe indicárselo con una leyenda complementaria. Cuando la señal se construye sobre placa rectangular, el texto mínimo de la leyenda aclaratoria será:

“NO GIRAR A LA IZQUIERDA (DERECHA)”.

R-27

R-



	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE PROHIBICIÓN
R-27	PROHIBIDO GIRAR EN "U"

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Flecha en color negro en forma de herradura con abertura hacia abajo y la punta en el brazo descendente izquierdo. Orla y franja diagonal de color rojo.	Prohíbe retomar (girar en sentido contrario) sobre una misma vía. Indica al conductor que no puede virar en un ángulo de aprox. 180º.	Normalmente aplicadas en vías multicarril, sobre la encrucijada, con frente a los vehículos que circulan por la mano para la que se prohíbe el giro.

OBSERVACIONES
Se emplea cuando el viraje en "U" puede ocasionar entorpecimiento a los flujos de tránsito, el radio de giro sea pequeño o la maniobra constituya un factor de riesgo. Se podrá indicar que esta restricción está específicamente a usuarios especiales, como por ejemplo buses y camiones, en cuyo caso la señal deberá incluir información aclarativa. Cuando la señal se construye sobre placa rectangular, el texto mínimo de la leyenda aclaratoria será: "NO GIRAR EN U".

R-28



CLASIFICACIÓN	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE PROHIBICIÓN
	R-28 PROHIBIDO EL CAMBIO DE CALZADA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Flecha en “S” invertida en color negro y la punta en el brazo ascendente derecho. Una línea vertical derecho de la misma altura que la flecha y mitad del grosor de la flecha. Orla y franja diagonal de color rojo.</p>	<p>Indica a los conductores que no pueden cambiarse del carril por el cual circulan.</p>	<p>Normalmente aplicadas en vías multicarril, en el sector donde se prohíbe el cambio de carril.</p>

OBSERVACIONES
<p>Se debe usar ocasionalmente y sólo cuando existan razones justificadas.</p> <p>En vías pavimentadas se complementa con línea continua en la calzada. Ver señalización horizontal.</p> <p>Cuando la señal se construye sobre placa rectangular, el texto mínimo de la leyenda aclaratoria será: “NO CAMBIAR DE CARRIL”.</p>

R-29



	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE PROHIBICIÓN
R-29	CIRCULACIÓN PROHIBIDA DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Siluetas de un vehículo liviano visto de frente. Orla y franja diagonal de color rojo.	Indica que no pueden circular vehículos automotores por la vía.	Su uso se restringe a áreas peatonales y a vías de vehículos de tracción animal y/o bicicletas.

OBSERVACIONES
Si la situación así lo requiere, podrá complementarse con una placa adicional señalando el horario y/o días en que la prohibición rige.
Puede ser destinada a otro uso específico; como por ejemplo la leyenda puede decir "NO TRANSITAR POR LA BANQUINA".
Cuando la señal se construye sobre placa rectangular, el texto mínimo de la leyenda aclaratoria será: "NO AUTOMÓVILES".

R-29



	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE PROHIBICIÓN
R-29	CIRCULACIÓN PROHIBIDA DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Siluetas de un vehículo liviano visto de frente. Orla y franja diagonal de color rojo.	Indica que no pueden circular vehículos automotores por la vía.	Su uso se restringe a áreas peatonales y a vías de vehículos de tracción animal y/o bicicletas.

OBSERVACIONES
Si la situación así lo requiere, podrá complementarse con una placa adicional señalando el horario y/o días en que la prohibición rige.
Puede ser destinada a otro uso específico; como por ejemplo la leyenda puede decir "NO TRANSITAR POR LA BANQUINA".
Cuando la señal se construye sobre placa rectangular, el texto mínimo de la leyenda aclaratoria será: "NO AUTOMÓVILES".

R-30



R-30	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE PROHIBICIÓN
	PROHIBIDO ESTACIONAR

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Letra “E” mayúscula tipo imprenta. Cuando la prohibición tiene un límite temporal, debajo de la “E” figura el horario en que rige. Si la prohibición es en un tramo reducido, se coloca la leyenda: “entre discos”, debajo de la “E” o en placa adicional, o también se puede acotar a través de flechas dicho espacio en la misma señal.</p>	<p>Prohíbe el estacionamiento de automotores en forma parcial o total conforme lo determinen las normas particulares en cada caso, en donde por regla general está permitido, en el costado y por toda la extensión de la cuadra en la que está la señal o en espacio comprendido entre dos, cuando es para un tramo reducido. Dichas restricciones estarán indicadas en la misma placa o en una placa adicional.</p>	<p>Desde el inicio de la prohibición (dentro de los primeros TREINTA METROS (30 m) de la cuadra y sobre el costado que se prohíbe. Cuando es “entre discos”, al inicio y al final del tramo donde se halla permitido.</p>

OBSERVACIONES
<p>Se admite la detención para carga y descarga de mercaderías, o ascenso y descenso de pasajeros. Los horarios en los que no esté permitido la carga y reparto se indicarán en una placa adicional. Cuando la señal se construye sobre placa rectangular, el texto mínimo de la leyenda aclaratoria será: “NO ESTACIONAR”.</p>

R-31



R-31	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE PROHIBICIÓN
PROHIBIDO ESTACIONAR NI DETENERSE	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Igual a la señal R-30 con el agregado de otra diagonal perpendicular a la de la figura base (formado una X).	Indica la prohibición absoluta de estacionar o detener el vehículo a partir del lugar donde ella se encuentra.	Desde el inicio de la prohibición (dentro de los primeros TREINTA METROS (30 m) de la cuadra y sobre el costado que se prohíbe. Cuando es "entre discos", al inicio y al final del tramo donde se halla permitido.

OBSERVACIONES
<p>No se admite ni siquiera la detención para ascenso y descenso de pasajeros o carga y descarga de mercaderías. La única detención posible es la que obedece a motivos de la circulación.</p> <p>Cuando la señal se construye sobre placa rectangular, el texto mínimo de la leyenda aclaratoria será: "NO ESTACIONAR NO PARAR".</p>

R-32



CLASIFICACIÓN	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE PROHIBICIÓN
	R-32 PROHIBIDO ASCENSO Y DESCENSO DE PASAJEROS

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Forma circular, fondo blanco, orla y franja diagonal de color rojo y pictograma en negro.	Se utiliza para informar al conductor de la existencia de aquellos lugares cuyo uso como parada de ómnibus o la acción de recoger pasajeros está prohibido.	Se colocará principalmente en el ingreso y salida de puentes o viaductos y cualquier otro sitio donde resulte peligrosa la detención de un vehículo para este efecto.

OBSERVACIONES
<p>Cuando la señal se construye sobre placa rectangular, el texto mínimo de la leyenda aclaratoria será:</p> <p style="text-align: center;">“PROHIBIDO ASCENSO Y DESCENSO DE PASAJEROS”.</p>

R-33



CLASIFICACIÓN	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE PROHIBICIÓN
	R-33 CIRCULACIÓN PROHIBIDA DE PEATONES

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Forma circular, fondo blanco, orla y franja diagonal de color rojo y pictograma en negro.	Indica la prohibición de circulación de peatones.	En el mismo sitio donde se aplica la prohibición.

OBSERVACIONES
<p>Se usa principalmente en zonas rurales.</p> <p>En zonas donde exista simultáneamente congestión vehicular y peatonal, junto con la señal se deben utilizar otros dispositivos que impidan físicamente el paso de peatones a la calzada.</p> <p>Cuando la señal se construye sobre placa rectangular, el texto mínimo de la leyenda aclaratoria será: “NO PEATONES”.</p>

R-34

R-1



	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE PROHIBICIÓN
R-34	CIRCULACIÓN PROHIBIDA DE VEHÍCULOS PESADOS

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Forma circular, fondo blanco, orla y franja diagonal de color rojo y pictograma en negro. Las figuras usuales son, silueta de un camión de color negro, orientada hacia la izquierda, Puede tener hasta tres figuras en cada señal ubicadas en sendos campos. La autoridad de aplicación puede aprobar otros símbolos, a condición de que sean fácilmente interpretables.</p>	<p>La figura simboliza una prohibición para los vehículos indicados en la señal, de circular por la vía sobre la que está colocada la señal, normalmente debido a limitaciones estructurales en Obras de Arte especiales (puentes y viaductos).</p>	<p>Lateral o sobre elevada, al inicio del lugar cuya circulación está prohibida.</p> <p>Usualmente debe colocarse sobre el lado derecho de la calzada.</p>

OBSERVACIONES
<p>En el punto donde se coloca la señal se debe prever una alternativa de desvío para esos vehículos, con las opciones de recorrido debidamente señalizadas. Cuando rige en determinado período debe indicárselo en una leyenda complementaria.</p> <p>Cuando la señal se construye sobre placa rectangular, el texto mínimo de la leyenda aclaratoria será: “NO CAMIONES”.</p>

R-35



R-35	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE PROHIBICIÓN
CIRCULACIÓN PROHIBIDA DE CICLISTAS	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Forma circular, fondo blanco, orla y franja diagonal de color rojo y pictograma en negro.	La figura simboliza una prohibición de circular en bicicleta por la vía sobre la que está colocada la señal.	Lateral o elevada, al inicio del lugar cuya circulación está prohibida. Usualmente debe colocarse sobre el lado derecho de la calzada.

OBSERVACIONES
<p>Se recomienda su uso en vías rápidas o autopistas en donde se dificulte la movilidad de los vehículos y se puedan generar accidentes debido a su presencia. Cuando rige en determinado período debe indicárselo en una leyenda complementaria.</p> <p>Se instalará siempre en los accesos a carretera y túneles.</p> <p>Cuando la señal se construye sobre placa rectangular, el texto mínimo de la leyenda aclaratoria será: "NO CICLISTAS".</p>

R-36

R-



R-36	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE PROHIBICIÓN
	CIRCULACIÓN PROHIBIDA DE VEHÍCULOS DE TRACCIÓN ANIMAL

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Forma circular, fondo blanco, orla y franja diagonal de color rojo y pictograma en negro.	Se utiliza para informar que está prohibida la circulación de toda clase de vehículos de tracción animal (carretas).	Lateral o elevada, al inicio del lugar cuya circulación está prohibida. Usualmente debe colocarse sobre el lado derecho de la calzada.

OBSERVACIONES
<p>Se recomienda su uso en vías rápidas o autopistas en donde se dificulte la movilidad de los vehículos y se puedan generar accidentes debido a su presencia. En zonas donde habitualmente circulan carretas, se debe ubicar siempre en los accesos a carreteras, siendo recomendable también su instalación en túneles, puentes o pasos superiores, y en general en vía con una velocidad máxima > 70 km/h, y en las principales calles y avenidas de zonas urbanas. Cuando la señal se construye sobre placa rectangular, el texto mínimo de la leyenda aclaratoria será:</p> <p style="text-align: center;">“NO CARRETAS”.</p>

R-37

R-



CLASIFICACIÓN	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE PROHIBICIÓN
	R-37 PROHIBIDO ADELANTAR

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Figura de dos (2) automotores vistos desde atrás. Forma circular, fondo blanco, orla y franja diagonal de color rojo y pictograma en negro.	Indica la prohibición de efectuar la maniobra mediante la cual un vehículo se sitúa delante de otro o de otros que le anteceden, ya sea traspasando el eje de la calzada (adelantamiento), o sin traspasar dicho eje (sobrepaso).	Al inicio del tramo en que rige la prohibición. La señal debe colocarse sobre ambos laterales de la vía.

OBSERVACIONES
<p>En segmentos extensos de prohibición continua esta señal debe repetirse cada 500 m. En vías pavimentadas se debe complementar con una línea continua en la calzada, como se establece en el capítulo de Señalización Horizontal. En el caso de adelantamiento, siempre se debe colocar esta señal en ambos lados de la calzada, ya que los conductores podrían verse obstaculizados para apreciar esta señal a distancia en el lado derecho, y además dirigen su visual hacia la izquierda buscando la oportunidad de realizar esta maniobra. Debe instalarse en el lugar preciso donde se inicia esta restricción. Además, se ubicará en todos los accesos a puentes, pasos superiores y túneles con tránsito bidireccional.</p> <p>Cuando la señal se construye sobre placa rectangular, el texto mínimo de la leyenda aclaratoria será: "NO ADELANTAR".</p>

R-38

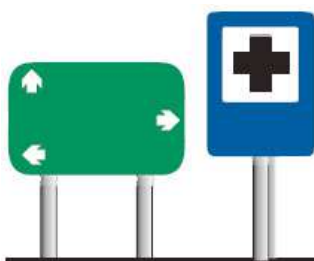


CLASIFICACIÓN	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	SEÑALES DE PROHIBICIÓN
	R-38 PROHIBIDO TOCAR BOCINA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Figura de una bocina vista de lado y apuntando a la izquierda. Forma circular, fondo blanco, orla y franja diagonal de color rojo y pictograma en negro.	Indica la prohibición de aparatos sonoros y/o generar niveles de ruido elevado por medio de aceleraciones bruscas.	Al inicio del tramo en que rige la prohibición. La señal debe colocarse sobre ambos laterales de la vía. Próximo a hospitales, bibliotecas, y en general recintos en los que la naturaleza de las actividades en ellos desarrolladas lo aconsejan.

OBSERVACIONES
Se debe ubicar aproximadamente 50 metros antes del lugar donde comience el recinto a proteger del ruido. Cuando la señal se construye sobre placa rectangular, el texto mínimo de la leyenda aclaratoria será: "NO TOCAR BOCINA". También se puede utilizar una leyenda alterna: "SILENCIO".

3.3.2.4.3. SEÑALES INFORMATIVAS



Las señales informativas tienen por objeto guiar al usuario de la vía suministrándole la información necesaria sobre identificación de localidades, destinos, direcciones, sitios de interés turístico, geográficos, intersecciones, cruces, distancias por recorrer, prestación de servicios, etc. Estas señales se identifican con el código I.

A. CONFORMACIÓN FÍSICA

Rectángulo de dimensiones y posición variables, según el tipo de señal conforme se describe en los puntos siguientes.

B. SIGNIFICADO

Carecen de consecuencias jurídicas, es decir, que no transmiten órdenes ni previenen sobre irregularidades o riesgos en la vía, salvo que contengan señales reglamentarias o preventivas.

Están destinadas a identificar, orientar y hacer referencia a servicios, lugares o cualquier otra información que sea útil para el usuario.

C. UBICACIÓN

Se colocan al costado de la vía de circulación (verticales) en forma similar a las preventivas en zona rural o a las reglamentarias en zonas urbanas o elevadas sobre la calzada mediante pórticos. La posición varía según las condiciones de la vía y el tipo de tránsito vehicular

D. COLORES

El fondo de color verde se debe utilizar para destinos o itinerarios, en color azul para señales de carácter

institucional, histórico y de servicios, en color blanco para anuncios especiales o señales educativas.

En cuanto a la nomenclatura urbana el fondo de la señal puede ser en color negro, azul o verde para las ubicadas en postes, o en azul o verde para murales. Sin embargo, las leyendas, simbología y pictogramas en su caso, serán siempre en color blanco y reflectivas.

E. CLASIFICACIÓN DE LAS SEÑALES INFORMATIVAS.

Las señales informativas, de acuerdo a su función, se clasifican en:

- Señales Informativas de Nomenclatura Vial y Urbana, Destinos y Distancias.
- Señales Informativas acerca de las Características de la Vía.
- Señales Informativas para Información Turística y de Servicios.

SEÑALES INFORMATIVAS

NOMENCLATURA VIAL Y URBANA, DESTINOS Y DISTANCIAS



I-01

Ruta de la Red Primaria



I-02

Ruta de la Red Secundaria



I-03

Ruta de la Red Terciaria y Vecinal



I-04

Nombre y numeración de calles



I-05

Aviso previo (preseñalización)



I-06

Dirección



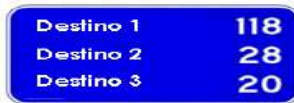
I-07

Salida inmediata (autopistas y autovías)



I-08

Salida inmediata (carreteras convencionales)



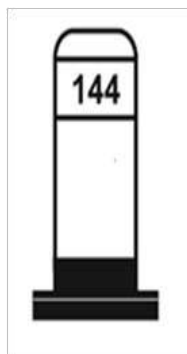
I-09

Confirmación (autopistas y autovías)



I-10

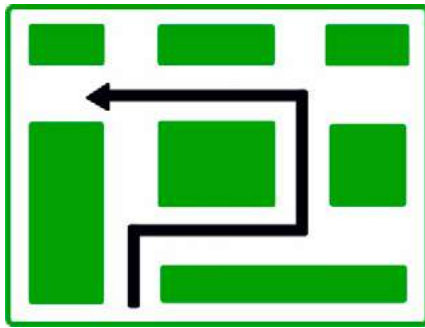
Confirmación (carreteras convencionales)



I-11

Mojón kilométrico

CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA



I-12

Descripción de giros



I-13

Seguridad vial

SERVICIOS AL USUARIO



I-14

Primeros auxilios



I-15

Punto de información turística



I-16

Teléfono



I-17

Estación de servicio



I-18

Servicio mecánico



I-19

Servicios higiénicos



I-20

Alimentación



I-21

Hospedaje



I-22

Aeropuerto



I-23

Estación de ferrocarriles



I-24

Transbordador



I-25

Transporte masivo

ATRATIVOS TURÍSTICOS



INFORMACIÓN INSTITUCIONAL



I-35
Zona militar

OTRAS SEÑALES





En las Figuras B- 3.4_11 y 3.4_12 se puede apreciar, en forma resumida, algunos de los tipos de señales indicadas anteriormente.

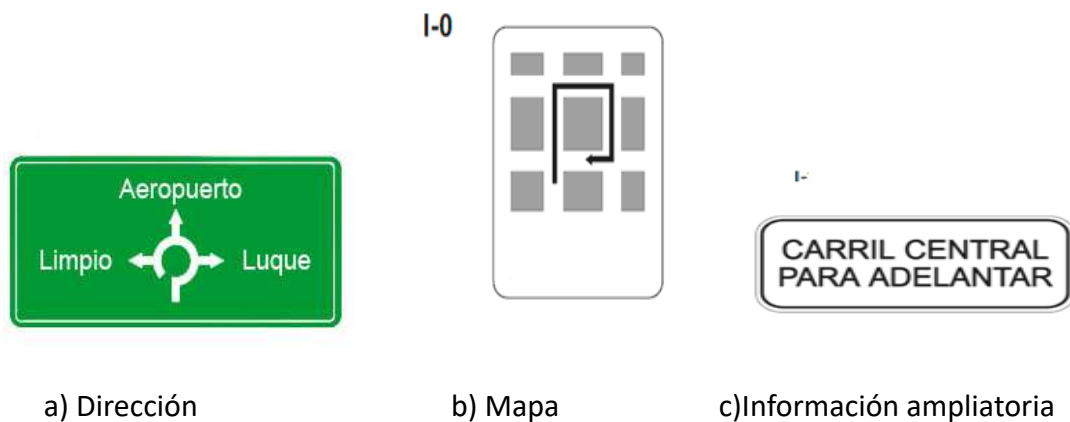


Figura 3.3.2_11. EJEMPLOS DE SEÑALES INFORMATIVAS (GEOGRÁFICAS E INSTRUCCIONES)

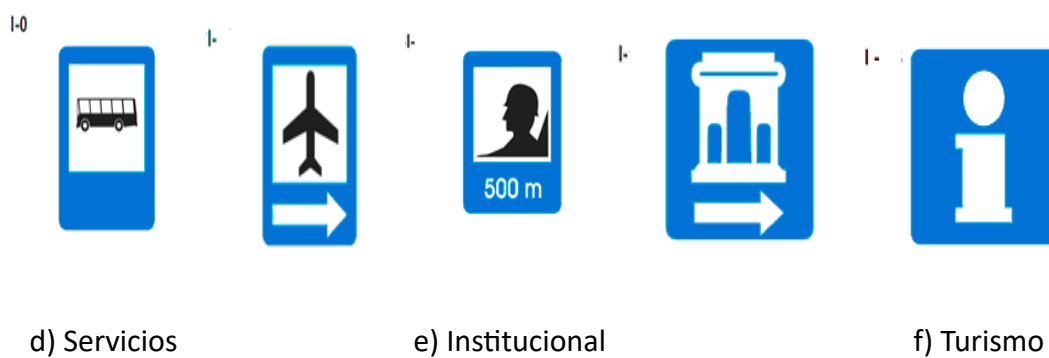


Figura 3.3.2_12. EJEMPLOS DE SEÑALES INFORMATIVAS (SERVICIOS, INSTITUCIONAL Y TURISMO)

F. FORMA.

En general, las señales informativas tendrán forma rectangular o cuadrada. Las excepciones a lo anterior, corresponden a las señales tipo flecha y algunas de identificación vial.

En señales informativas, las leyendas, símbolos y orlas son de color blanco. El color de fondo de las señales para autopistas y autovías será azul y verde para vías convencionales, con la excepción de las señales NOMBRE Y NUMERACIÓN DE CALLES, de color negro, y las de atractivo turístico, cuyo color representativo será el azul. Estos colores, con excepción del negro, deberán cumplir con lo indicado en el numeral 3.3.2.3.5. de la presente Guía.

En el caso, en que se requiera adosar placas que amplíen la información de las señales, éstas serán de forma rectangular y en ningún caso, deberán tener un ancho superior al de la señal principal.

El ancho de la orla de la señal debe corresponder al especificado en la Tabla 3.3.2_13. Ver Figura 3.3.2_13.

Tabla 3.3.2_13. ANCHO DE ORLA PARA SEÑALES INFORMATIVAS

DIMENSIONES DE LA SEÑAL	ANCHO DE ORLA (A)	DISTANCIA BORDE EXTERIOR DE LA ORLA Y BORDE DE LA SEÑAL (B)	LÍNEA DIVISORIA (C)
Hasta 1 m x 1 m	2,0 cm	1 cm	1,0 cm
Hasta 2 m x 3 m	2,5 cm	1 cm	1,3 cm
Más de 2 m x 3 m	3,0 cm	1 cm	1,5 cm

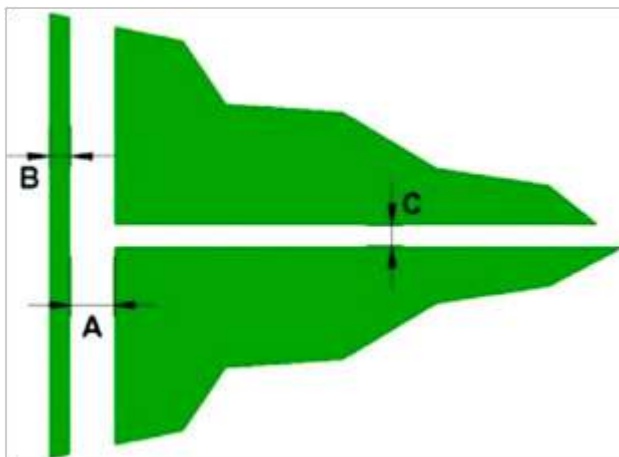


Figura 3.3.2_13. ANCHO DE ORLA EN SEÑALES INFORMATIVAS

La distancia entre el borde exterior de la orla y el borde de la señal debe ser aproximadamente de 1 cm. Su color debe ser blanco cuando el fondo de la señal puede ser azul, verde o negro. La orla deberá ser negra cuando el fondo sea blanco, amarillo o naranja.

Cuando se confeccione una señal típica de dirección informando dos destinos, se podrá utilizar una línea divisoria (C) entre ambas leyendas de destino de ancho $A/2$, es decir $C = A/2$.

G. MENSAJE.

En el caso de las señales informativas, el mensaje no siempre se entrega a través de una sola señal, sino en una secuencia de señales diseñadas y emplazadas para funcionar en conjunto.

Dependiendo de las características y jerarquía de la vía, corresponde utilizar todas o sólo algunas de las señales indicadas en la Figura 3.3.2_14 que guían al usuario a su destino.

Es así como, en el caso de autopistas o autovías cada una de las señales informativas forma parte de un sistema, en el que la señal de preseñalización alerta sobre la proximidad de una salida y sus destinos; la de dirección indica el tipo de maniobra que es necesario realizar; la de salida inmediata indica el lugar y ángulo de salida; la de confirmación corrobora los destinos e indica distancias a éstos; la de identificación vial individualiza la vía y la de localización confirma los destinos y lugares por los que ésta pasa.

En atención a que los conductores no deben distraer su atención de la vía por más que un instante, una señal informativa no debe contener un texto de más de 3 líneas.

H. FLECHAS.

Las flechas se usan para asociar pistas a determinados destinos y para indicar, antes y en una salida, la dirección y sentido a seguir para llegar a ellos. En el primer caso, usado en señales aéreas (pórticos, bandera y otros) cada flecha debe apuntar directamente al centro de la pista asociada al destino indicado en la leyenda que está sobre ella; y en el segundo, la flecha debe ser oblicua ascendente u horizontal, representando adecuadamente el ángulo de la salida.

La Figura 3.3.2_15 muestra las dos flechas que se deben usar en señales informativas aéreas, una descendente y otra ascendente. El ancho de la cabeza de la flecha que apunta hacia abajo, en las señales sobre la calzada, es 1,75 veces la altura de las letras más grandes de la señal. El ancho de la cabeza de la flecha ascendente es igual a la altura de las letras más grandes.

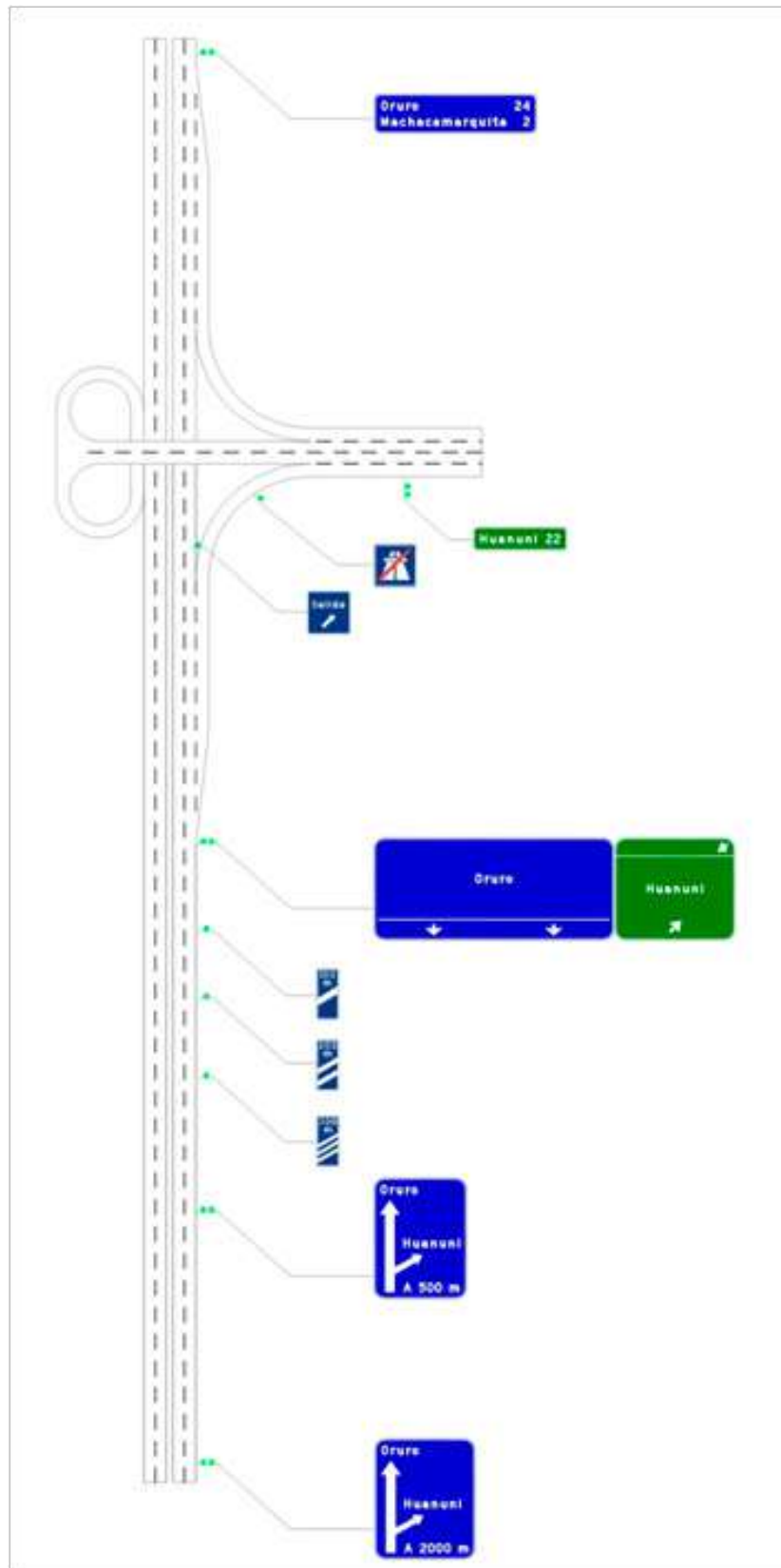


Figura 3.3.2_14. SEÑALIZACIÓN INFORMATIVA EN AUTOPISTAS Y AUTOVÍAS

La Figura 3.3.2_16 muestra las flechas que se deben usar en señales informativas laterales. Sus dimensiones se expresan en función de la altura de la mayúscula asociada a ellas.

Las dimensiones especificadas pueden ser aumentadas, si un estudio técnico lo justifica, manteniendo su proporcionalidad.

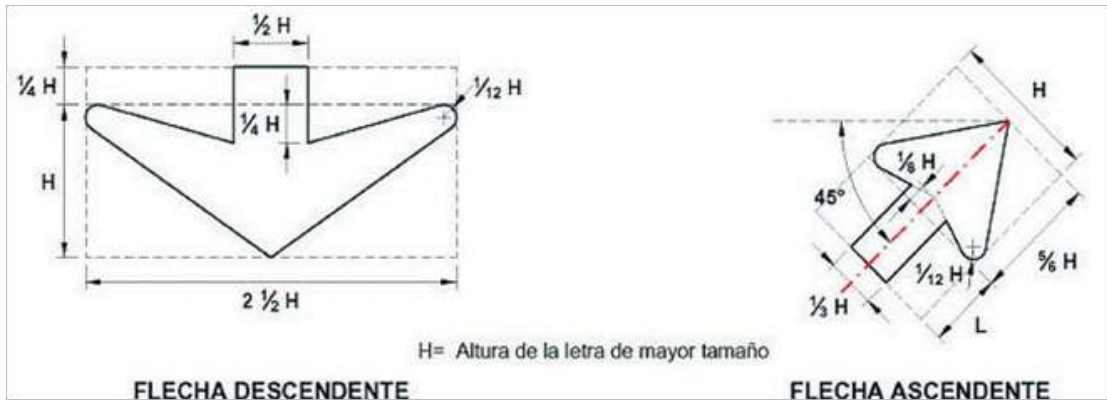


Figura 3.3.2_15. FLECHAS AÉREAS

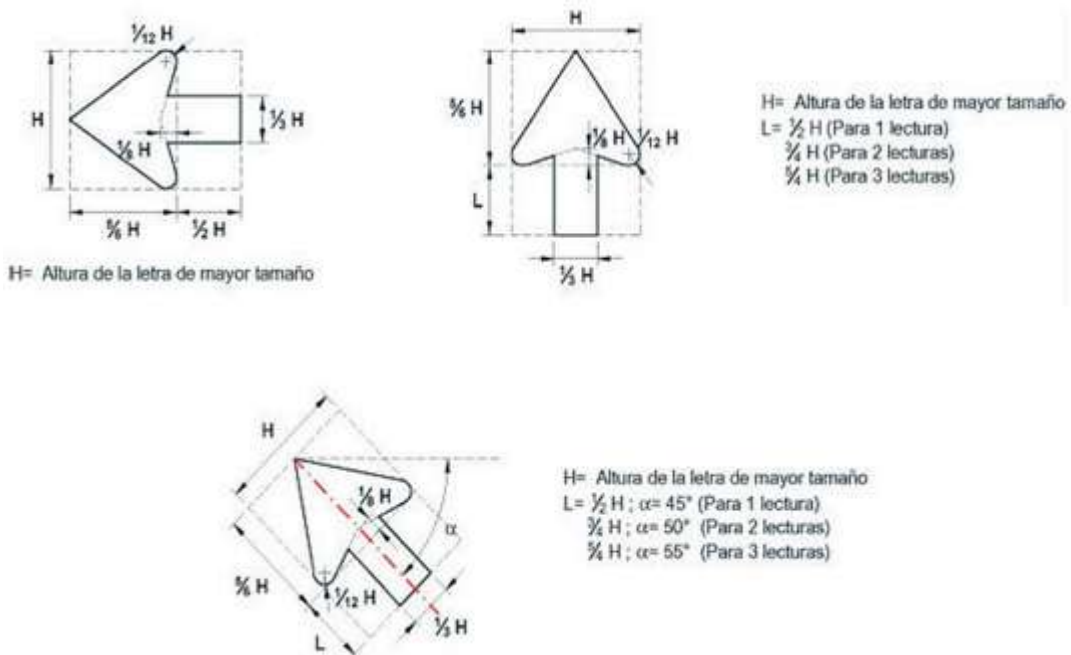


Figura 3.3.2_16. FLECHAS EN SEÑALES INFORMATIVAS LATERALES

En la Figura 3.3.2_17, se muestran los casos más representativos en la disposición de flechas de una señal informativa. Se toma en cuenta la limitación del número de líneas a un máximo de tres.

En la Figura 3.3.2_18, se muestra la composición detallada de una señal informativa tipo mapa, asignando letras a cada una de las dimensiones de sus elementos componentes.

En las Figuras 3.3.2_19 y 3.3.2_27, se muestra la diagramación detallada de las flechas para las señales tipo mapa.



Figura 3.3.2_17. DISPOSICIÓN DE FLECHAS EN SEÑALES INFORMATIVAS LATERALES

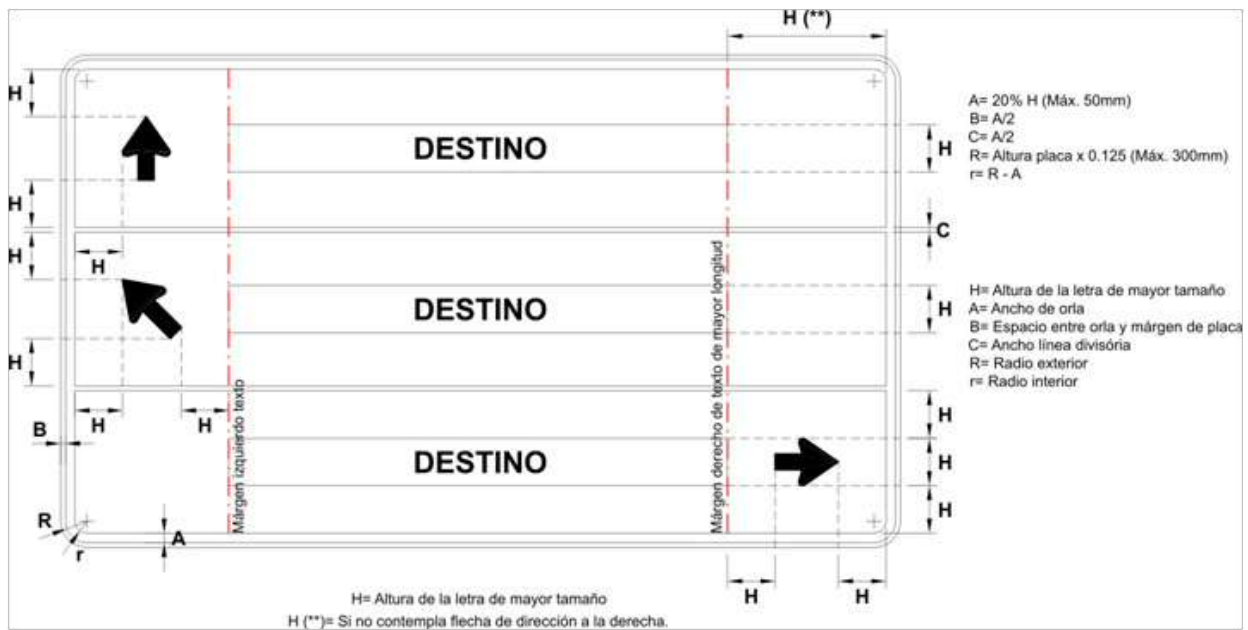


Figura 3.3.2_18. COMPOSICIÓN DE UNA SEÑAL INFORMATIVA TIPO MAPA

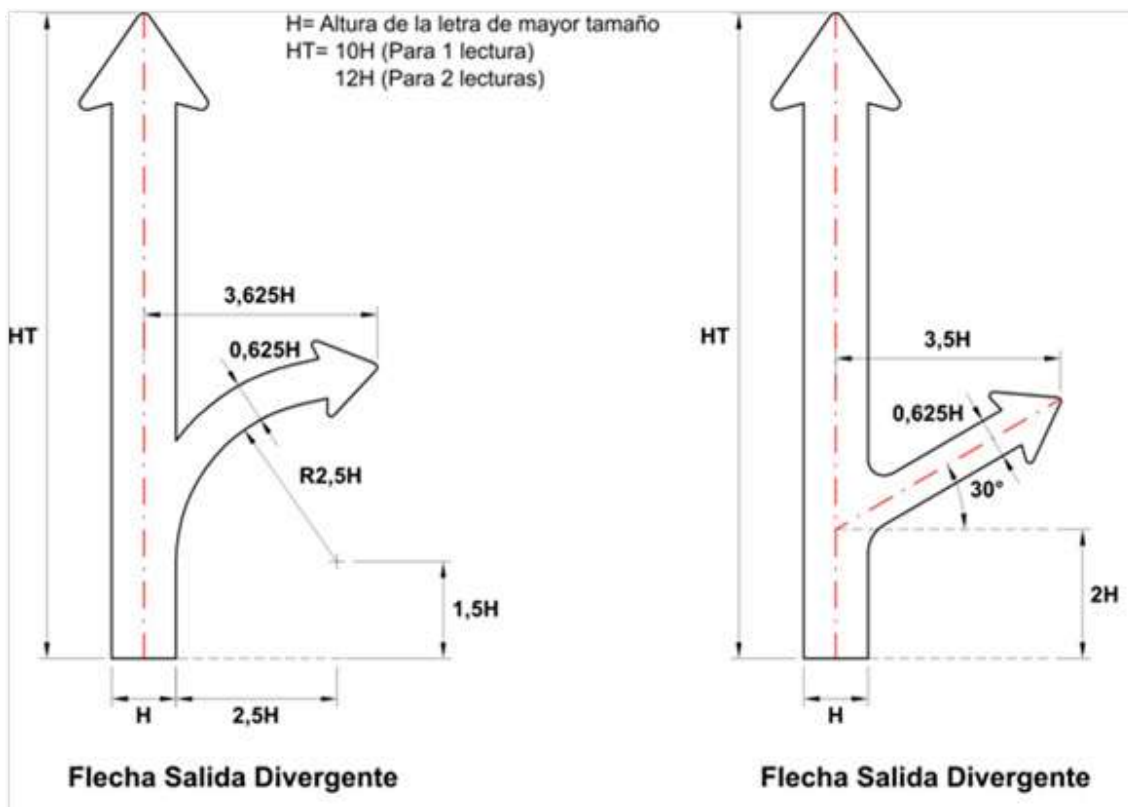


Figura 3.3.2_19. DIAGRAMACIÓN DE FLECHAS PARA SEÑALES TIPO MAPA

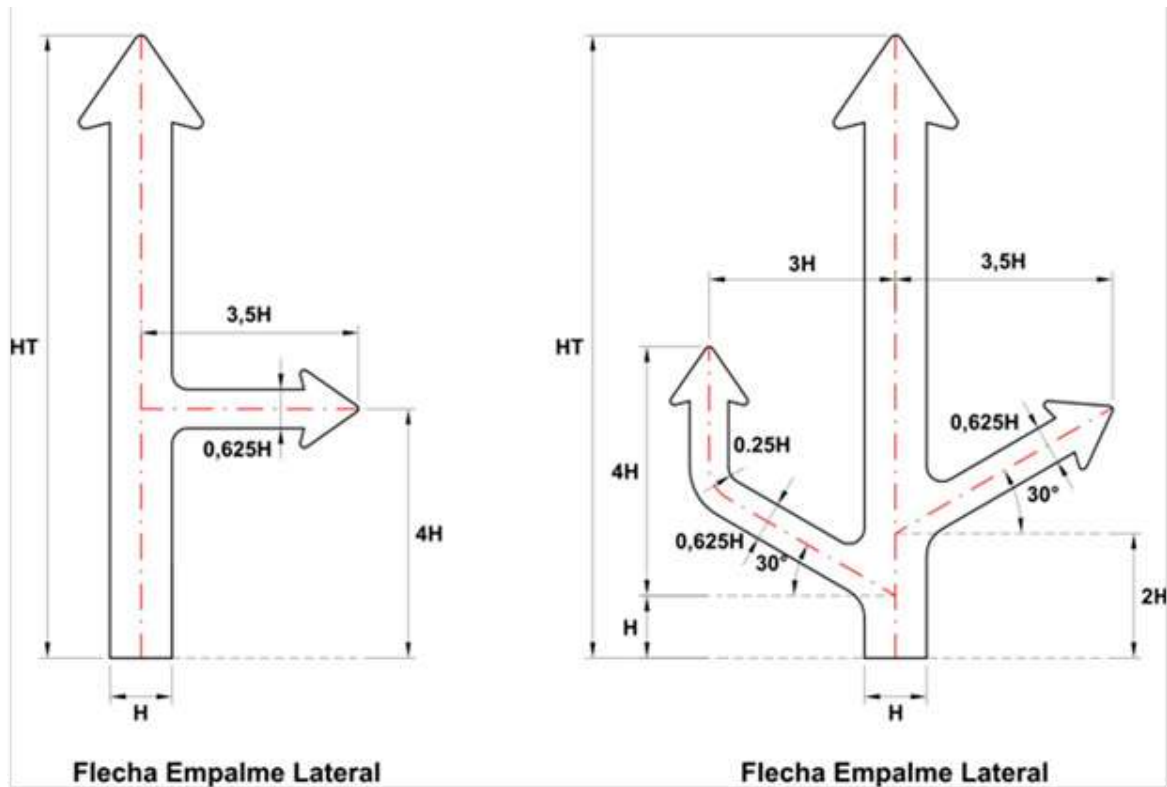


Figura 3.3.2_20. DIAGRAMACIÓN DE FLECHAS PARA SEÑALES TIPO MAPA (CONTINUACIÓN)

H = Altura de la letra de mayor tamaño.

HT = 10H (Para 1 lectura).

12H (Para 2 lecturas).

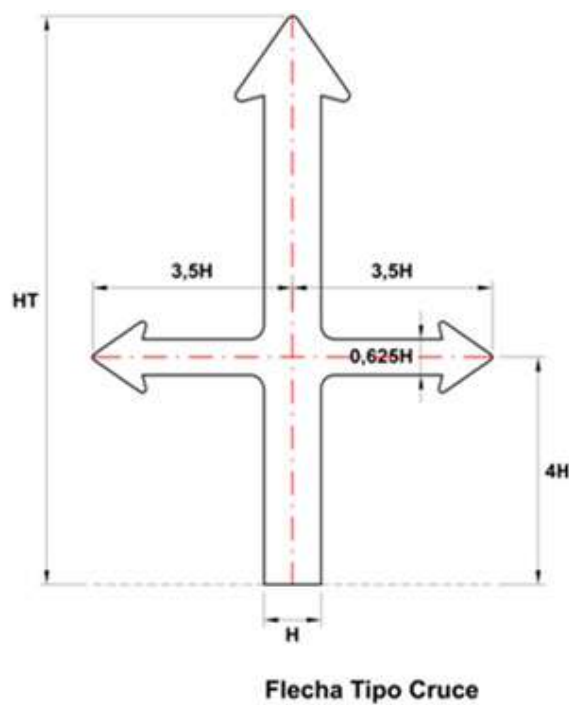
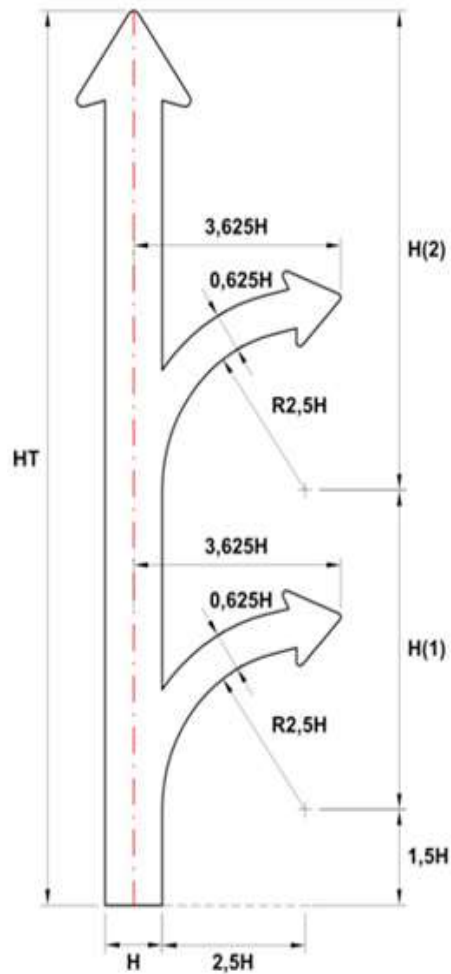


Figura 3.3.2_21. DIAGRAMACIÓN DE FLECHAS PARA SEÑALES TIPO MAPA (CONTINUACIÓN)



1 Destino - 1 Destino

H= Altura de la letra de mayor tamaño

HT= 14H

H(1)= 5H

H(2)= 7,5H

2 Destinos - 2 Destinos

H= Altura de la letra de mayor tamaño

HT= 18H

H(1)= 6,75H

H(2)= 9,75H

Flecha Doble Salida Divergente

Figura 3.3.2_22. DIAGRAMACIÓN DE FLECHAS PARA SEÑALES TIPO MAPA (CONTINUACIÓN)

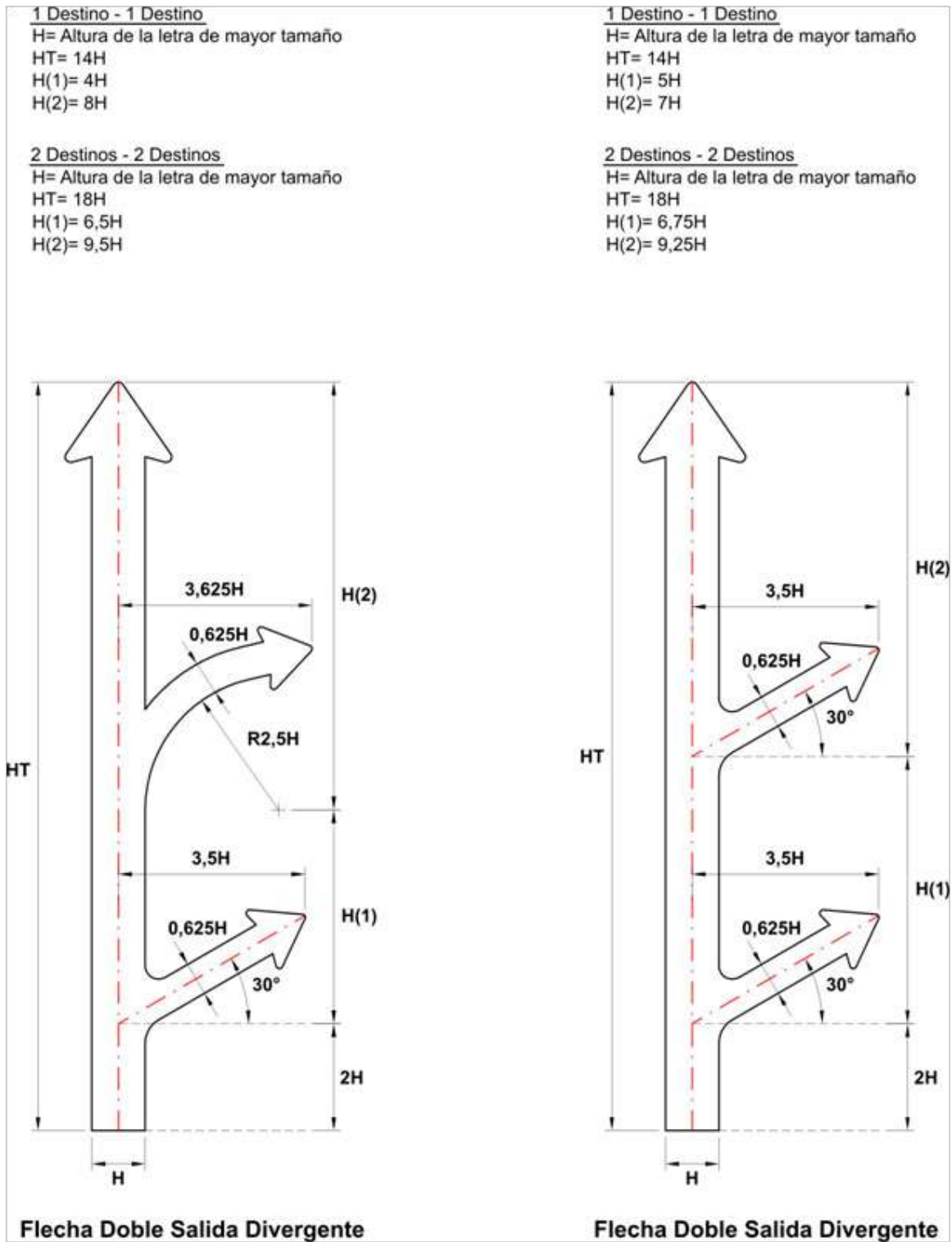


Figura 3.3.2_23. DIAGRAMACIÓN DE FLECHAS PARA SEÑALES TIPO MAPA (CONTINUACIÓN)

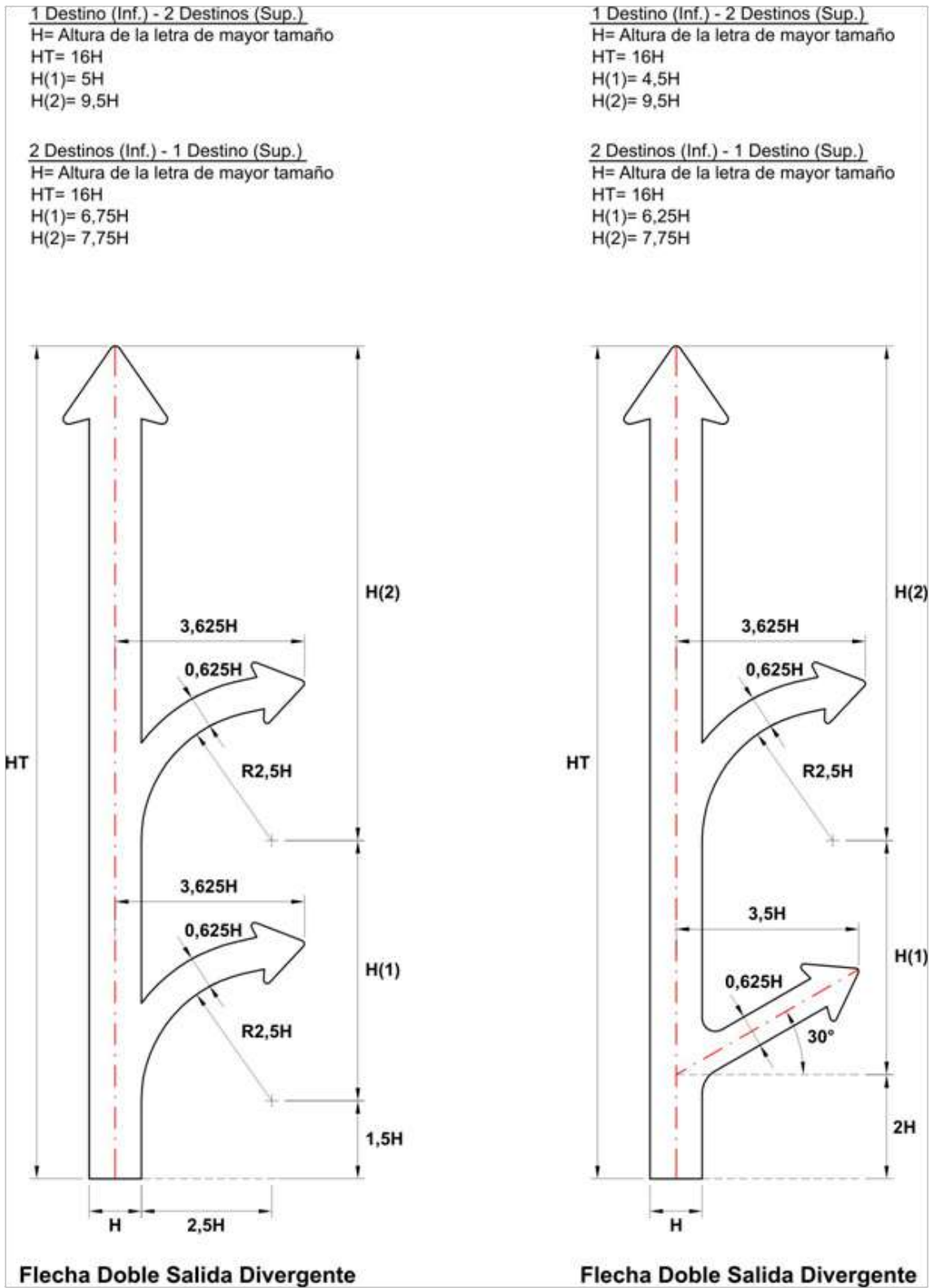


Figura 3.3.2_24. DIAGRAMACIÓN DE FLECHAS PARA SEÑALES TIPO MAPA (CONTINUACIÓN)

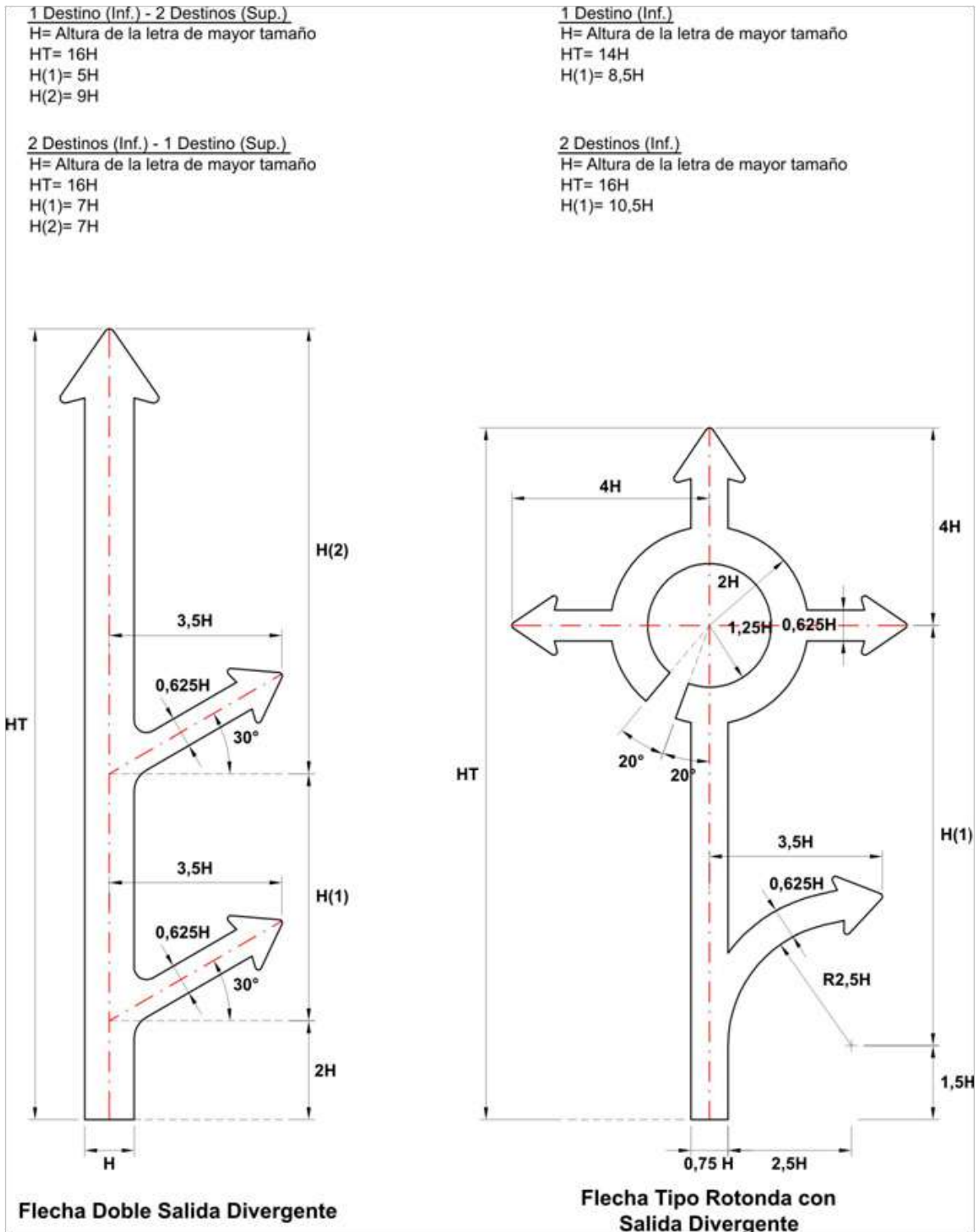
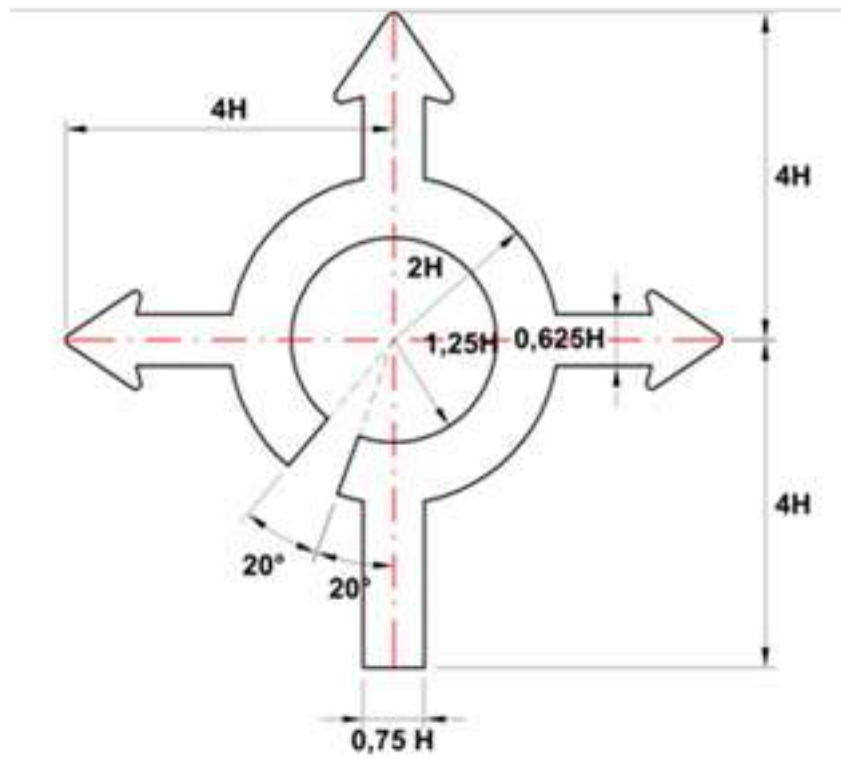


Figura 3.3.2_25. DIAGRAMACIÓN DE FLECHAS PARA SEÑALES TIPO MAPA (CONTINUACIÓN)



Flecha Tipo Rotonda

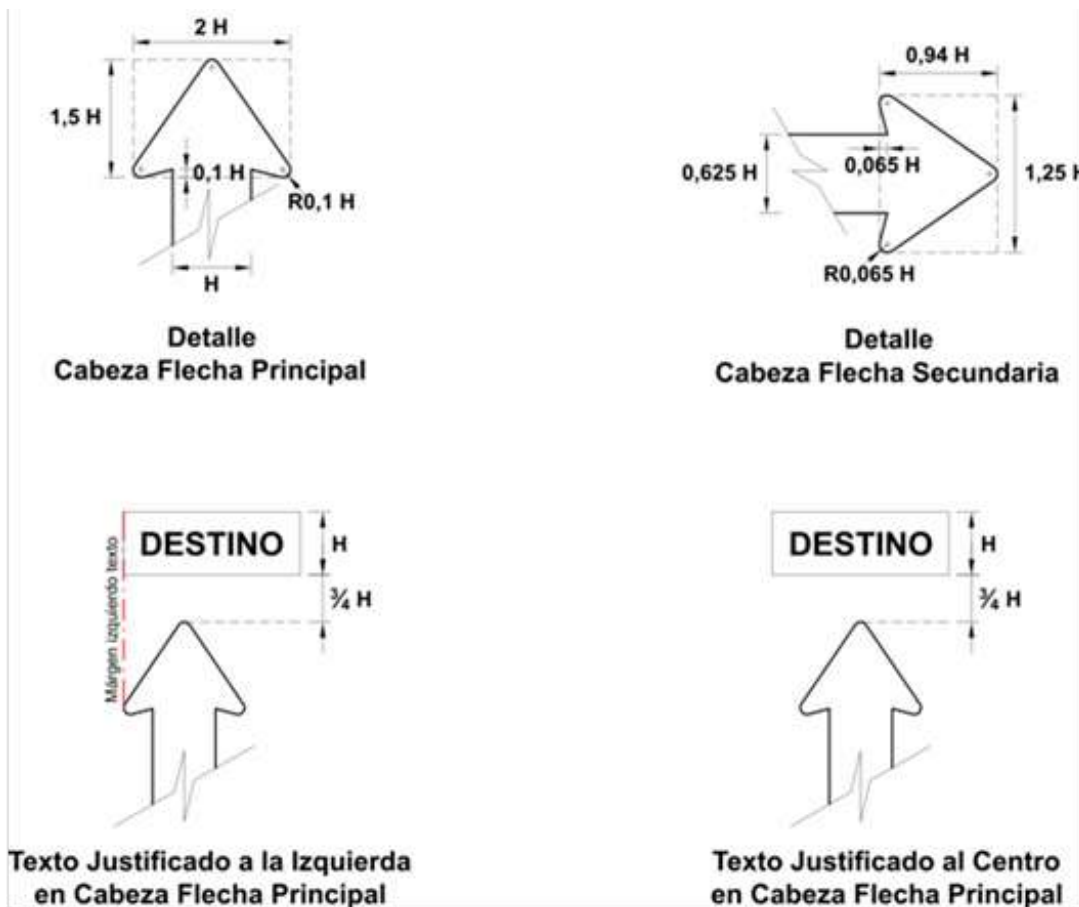


Figura 3.3.2_26. DIAGRAMACIÓN DE FLECHAS PARA SEÑALES TIPO MAPA (CONTINUACIÓN)

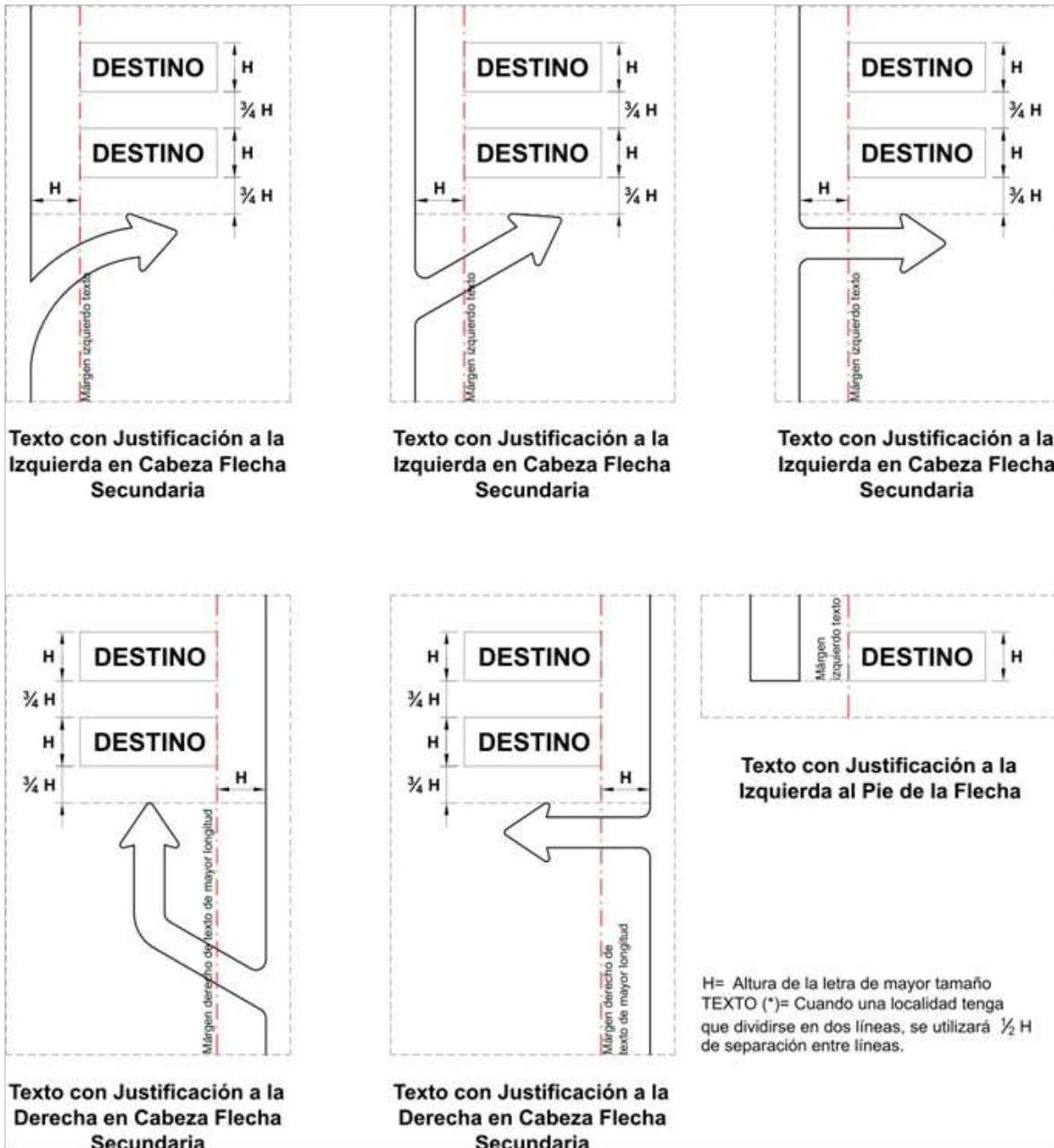


Figura 3.3.2_27. DIAGRAMACIÓN DE FLECHAS PARA SEÑALES TIPO MAPA (CONTINUACIÓN)

I. DIAGRAMAS Y CRITERIOS DE USO.

En las señales informativas, las leyendas se deben escribir con letras MAYÚSCULAS cuando la altura mínima requerida para las letras es menor o igual a 15 cm. Si es superior, se podrán utilizar minúsculas, debiendo comenzar cada palabra con una mayúscula cuya altura debe ser un 30% mayor que la de las minúsculas.

En condiciones ideales los mensajes se pueden leer y entender de una sola mirada, pero factores como la distracción del conductor, la obstrucción de la línea visual por otros vehículos, condiciones climatológicas desfavorables, visión reducida u otros, demoran la lectura. Por ello, se estima que el tiempo requerido para leer y entender una señal puede variar entre 3 y 5 segundos, dependiendo fundamentalmente de la capacidad del conductor y del grado de complejidad del mensaje. A su vez, el tiempo disponible para leer una señal queda determinado por la velocidad del vehículo.

En función de la velocidad máxima se han determinado las alturas mínimas de letra que detalla la Tabla 3.3.2_14. En cada caso se entregan dos valores, el primero de ellos aplicable a mensajes

simples, cuya leyenda no supere 2 líneas, y el segundo, a mensajes de mayor complejidad, con leyendas de hasta tres líneas o tipo “mapa”.

Tabla 3.3.2_14. ALTURA MÍNIMA DE LETRAS PARA DISTINTAS VELOCIDADES MÁXIMAS

VELOCIDAD MÁXIMA (km/h)	ALTURA MÍNIMA DE LETRA (cm)	
	LEYENDAS SIMPLES	LEYENDAS COMPLEJAS
Menor o igual a 40	7,5	12,5
50	12,5	17,5
60 ó 70	15,0	22,5
80 ó 90	20,0	30,0
Mayor a 90	25,0	35,0

No obstante lo anterior, los tamaños mínimos de letra pueden aumentarse si un estudio técnico de las condiciones del tránsito y su composición, de la geometría de la vía u otros factores lo justifican.

Determinada la altura de letra, la señal se diagrama horizontal y verticalmente con los espacios pertinentes entre todos sus elementos: leyenda, símbolo, orla y flechas, de acuerdo a lo indicado en el Capítulo 106. Este procedimiento define las dimensiones de la señal.

En las señales de preseñalización y de dirección, el destino más importante mencionado en ellas se ubica en la parte superior, y bajo éste, el más cercano a la señal.

Cuando se requiera utilizar señales tipo “mapa”, éstas se deben diseñar de acuerdo a los siguientes criterios:

- a) La señal debe representar en planta, y de una forma sencilla, la relación entre la vía en que se emplaza y sus salidas.
- b) Cada punta de flecha debe indicar idealmente sólo un destino, como máximo dos.
- c) El astil de la flecha que indica la salida debe ser más corto que el que indica el movimiento que continúa por la vía en que se emplaza. Sin embargo, las dos flechas deben estar unidas.
- d) El ancho de los astiles de las flechas debe guardar relación con el de las vías que representan.

Los nombres o escudos de vías deben ser ubicados de tal manera que se relacionen inmediatamente con la cabeza de flecha a la que corresponden, ver Figura 3.3.2_28.



Figura 3.3.2_28. EJEMPLO DE SEÑAL TIPO MAPA

El proceso necesario para establecer el tipo y dimensiones de la señalización informativa se describe esquemáticamente en la Figura 3.3.2_29.

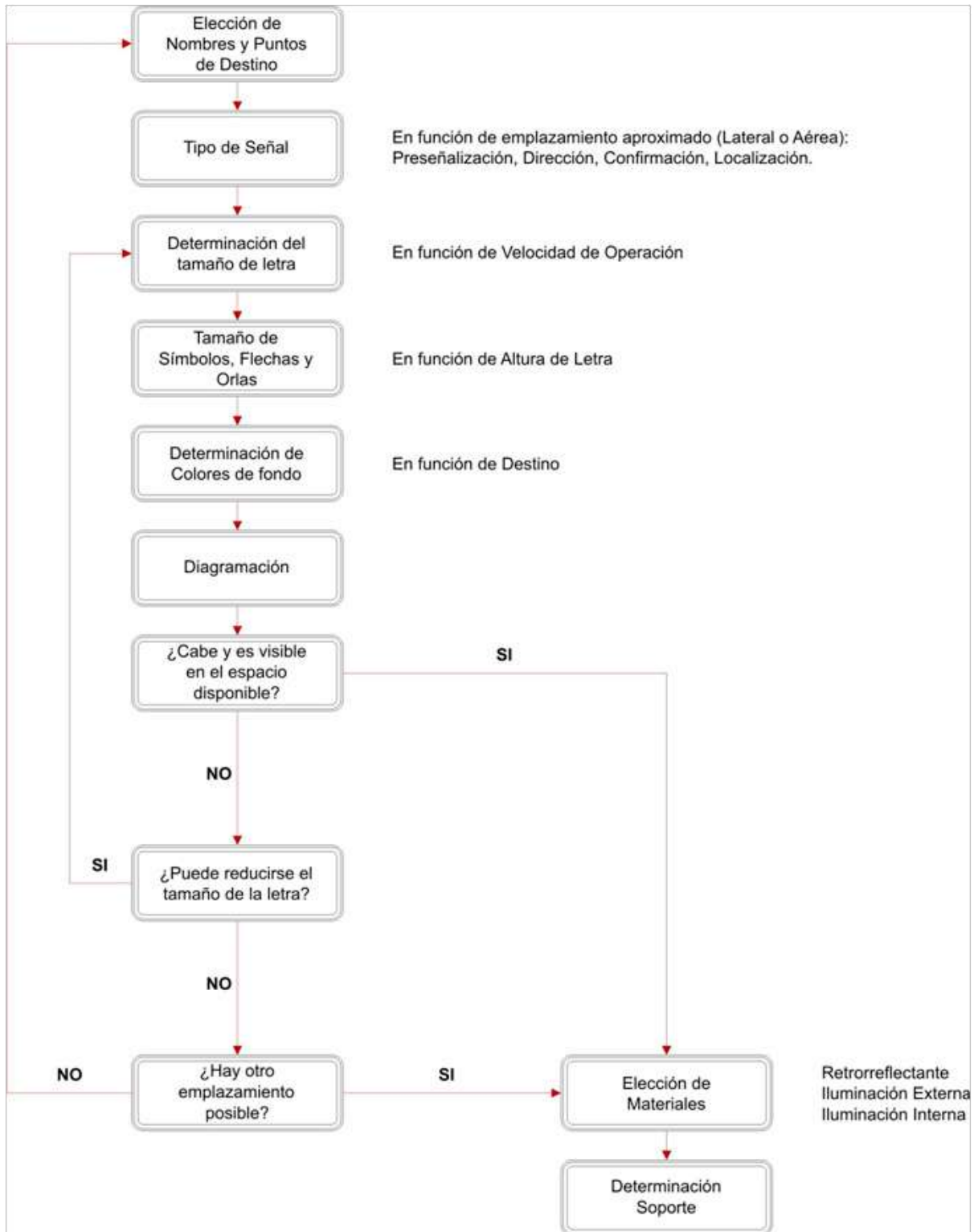


Figura 3.3.2_29. PROCESO PARA DEFINICIÓN DE SEÑALIZACIÓN INFORMATIVA

J. SEÑALES INFORMATIVAS DE NOMENCLATURA VIAL Y URBANA, DESTINOS Y DISTANCIAS.

J.1. Conformación Física:

Rectángulo de dimensiones y posición variables, fondo de color verde para destinos o itinerarios, en color azul para señales de carácter institucional, histórico y de servicios, en color blanco para anuncios especiales o educativos.

J.2. Significado:

En general se utilizan para los siguientes fines:

- En zona urbana informar la denominación y numeración de la calle o avenida.
- En caso de ser rural, el número o identificación de la ruta y la jurisdicción a la que pertenece.
- Las señales de destinos y distancias informan sobre la proximidad o ubicación de una localidad o lugar geográfico o turístico, figurando su nombre y/o la distancia.
- Enlaces o empalmes con otras vías,
- pistas apropiadas para cada destino,
- direcciones hacia destinos, calles o rutas,
- inicio de la salida a otras vías,
- distancias a que se encuentran los destinos,
- nombres de rutas y calles,
- servicios y lugares de atractivo turístico existentes en las inmediaciones de la vía,
- nombres de ciudades, ríos, puentes, calles, parques, lugares históricos y otros.

J.3. Ubicación:

Las de nomenclatura urbana en la esquinas de la bocacalle. Las viales sobre nomenclatura de rutas se ubican a criterio de la autoridad y las indicadoras de destino y distancias según las necesidades conforme los estudios que realice la autoridad competente.

La ubicación longitudinal de las señales informativas quedará determinada por su función, según se especifica para cada señal en esta sección. En todo caso, para efectos de su instalación, el lugar podrá ser ajustado hasta en un 20%, dependiendo de las condiciones del sector y de factores tales como geometría de la vía, accesos, visibilidad, tránsito, composición de éste y otros.

Cuando la señal se instala sobre la calzada o sobre la banquina (en pórticos o banderas), su borde inferior debe distar a lo menos 5,5 metros del punto más alto de la calzada o banquina. Esto asegura el flujo expedito de vehículos altos. Las flechas de las señales aéreas deben quedar instaladas de modo que apunten al centro de la pista de tráfico a la que hacen referencia.

No obstante, no es conveniente elevar las señales verticales en demasía sobre dicha altura, ya que la señal puede quedar ubicada fuera del cono de atención de los conductores o fuera del alcance de la luz emitida por los focos de los vehículos, dificultando su visibilidad nocturna.

J.4. Señales de avisos previos (preseñalización):

Estas señales informan sobre la proximidad de un enlace o empalme con otras vías, indicando la distancia a éstos, el nombre o código de las vías y los destinos importantes que ellas permiten alcanzar. Con esta información los conductores pueden iniciar la selección de la o las pistas que les permiten salir de la vía o continuar en ella.

En la Figura 3.3.2_30, se aprecian ejemplos de estas señales. Se usan en autopistas y autovías, y en vías convencionales con flujos de salida importantes.

En autopistas y autovías deben ser instaladas aproximadamente a 2 km de un enlace y reiteradas a no menos de 500 m de éste; la instalación de una tercera señal entre las dos anteriores, puede justificarse cuando el tránsito de vehículos pesados es significativo y/o la geometría de la ruta dificulta la visibilidad de las señales. La distancia se informará en la parte inferior de la señal.

En vías convencionales rurales deben ubicarse a no menos de 300 m del cruce o salida, se debe preavisar con una señal a lo menos a 700 metros. En el caso urbano, se debe instalar a no menos de 200 metros.



Figura 3.3.2_30. EJEMPLOS DE SEÑALES DE AVISOS PREVIOS TIPO MAPA Y ÁREA

En la Tabla 3.3.2_15, se exponen las distancias recomendadas para la instalación de señales de aviso previo (preseñalización).

Tabla 3.3.2_15. DISTANCIAS EN METROS DE LAS SEÑALES DE AVISOS PREVIOS (PRESEÑALIZACIÓN)

SEÑAL	VELOCIDAD (km/h)			
	≤ 50	60 – 80	90 – 100	110 – 120
Preseñalización 1	200	300	700	2000
Preseñalización 2	-	-	300	1000
Preseñalización 3	-	-	-	500

J.5. Señales de dirección:

Informan sobre destinos importantes a los que es posible acceder al tomar una salida, así como los códigos o nombres de las vías que conducen a ellos y, fundamentalmente, la dirección de la

salida, lo que indica a los conductores el tipo de maniobra requerida para abandonar la vía o continuar en ella. En la Figura 3.3.2_31 se muestran ejemplos de estas señales.

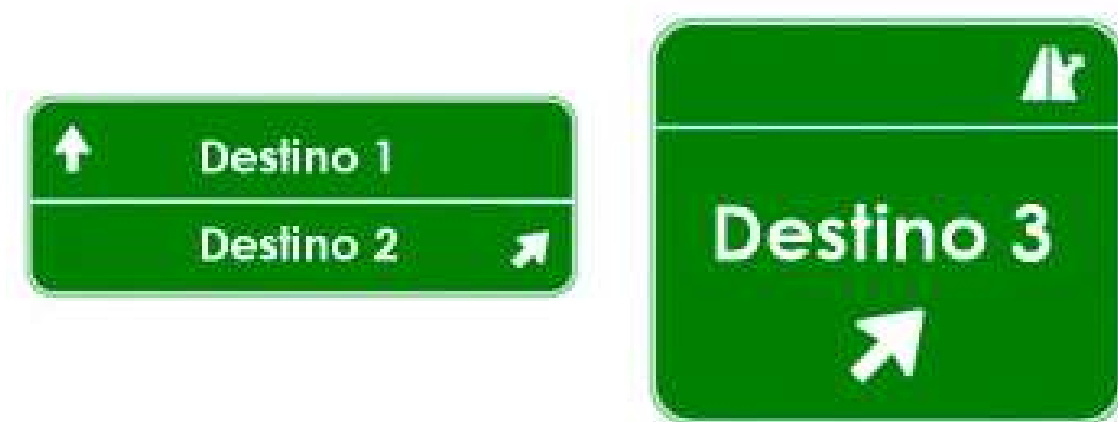


Figura 3.3.2_31. EJEMPLOS DE SEÑALES DE DIRECCIÓN

En autopistas y autovías se ubican al inicio de pistas suplementarias o de desaceleración o aproximadamente a 300 metros del inicio de la salida, pudiendo complementarse con la señal INDICACION DE SALIDA LATERAL DERECHA en color azul, mostrada en la parte superior de la señal derecha de la Figura 3.3.2_32.

En vías convencionales se ubican entre 10 y 50 m antes del cruce o en el inicio de la pista de viraje o de salida, si ésta existe.

Para no confundir a los conductores, cuando se utilizan en conjunto con señales de preseñalización, ambas deben contener idéntica leyenda.

En señales de dirección compuestas, las flechas que indiquen destinos hacia la derecha se ubican próximas al borde derecho de la señal y las que señalan destinos hacia la izquierda o hacia arriba, próximas al izquierdo.

J.6. Señales de salida inmediata:

Esta señal tiene como única función precisar el lugar donde nace la bifurcación y el ángulo aproximado de ésta respecto de las pistas que continúan por la vía principal, indicando a los conductores que desean salir de la vía, dónde y en qué dirección deben realizar la maniobra requerida. Generalmente se ubica en el vértice formado por la pista que sale y las que continúan.

Dado que la función de esta señal es corroborar la información entregada con anterioridad por señales de preseñalización y otras de dirección, sólo debe utilizarse en conjunto con ellas.

En autopistas y autovías esta señal sólo lleva la leyenda "SALIDA" y una flecha oblicua ascendente u horizontal que represente adecuadamente el ángulo de la salida. El fondo de esta señal es de color azul, tal como se muestra en la Figura 3.3.2_32 (a).

En vías convencionales, cuando se indica una salida en aproximadamente 90°, a la izquierda o a la derecha, la señal puede tener forma de "flecha" en la dirección a tomar. Ver Figura 3.3.2_32 (b).



(a) Autopistas y autovías



(b) Vías convencionales

Figura 3.3.2_32. SEÑALES DE SALIDA INMEDIATA

J.7. Balizas de acercamiento:

Se utilizan sólo en autopistas y autovías para indicar la distancia de 300 m, 200 m y 100 m al inicio de la pista de desaceleración de salida. Sólo se deben usar en conjunto con señales de preseñalización y de dirección.

En el caso de enlaces que presenten dos salidas consecutivas, sólo deben ser usadas para la primera de ellas.

No deben ser instaladas en accesos a autopistas y autovías desde vías convencionales.

Al tratarse de elementos de señalización utilizados sólo para autopistas y autovías, en la Figura 3.3.2_33 se presenta su forma y diagramación completa.

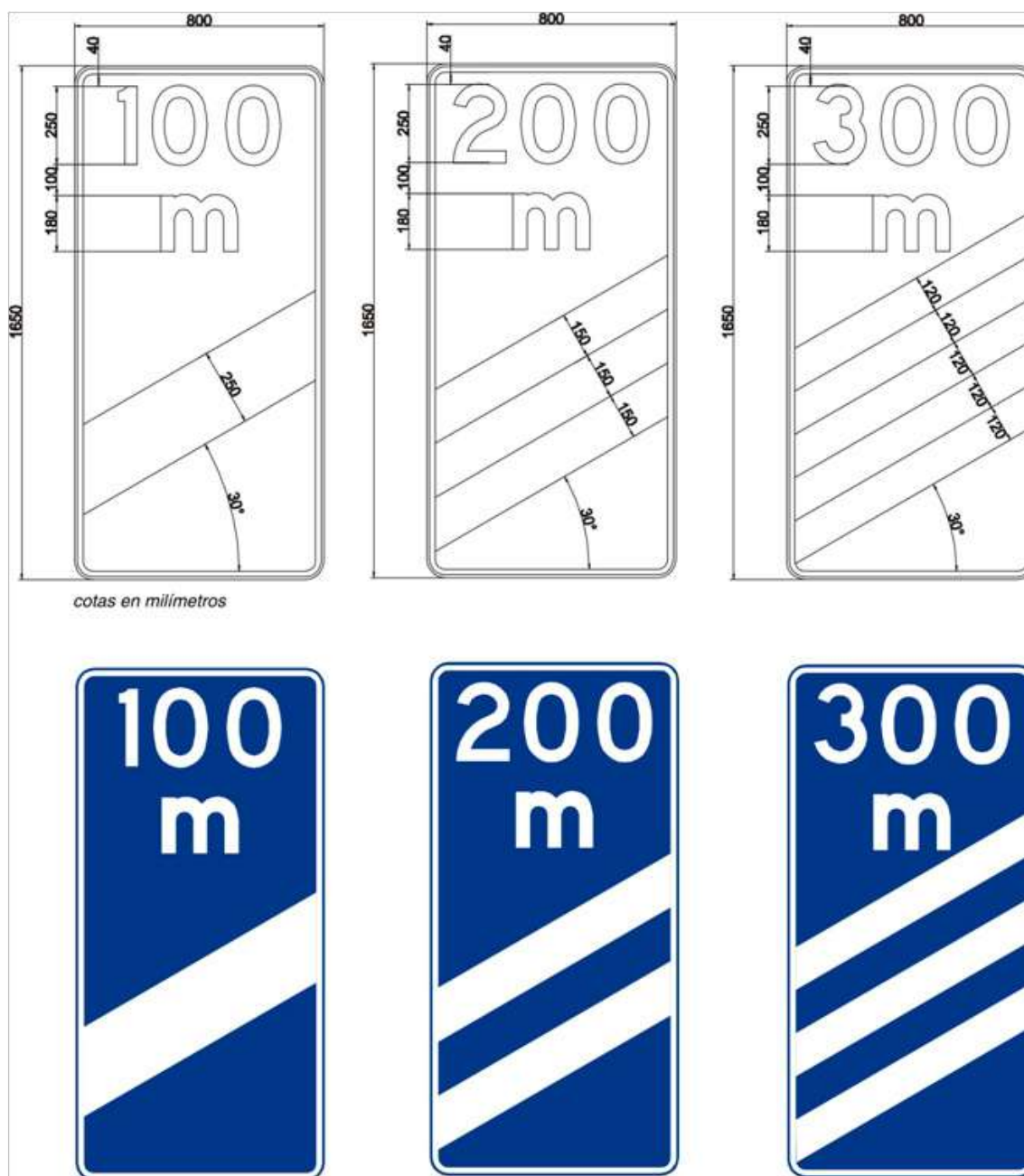


Figura 3.3.2_33. BALIZAS DE ACERCAMIENTO

J.8. Señales de confirmación:

Estas señales tienen como función confirmar a los conductores que la vía a la cual se han incorporado los conduce al destino elegido, entregando información de distancia a éste y a otros destinos que la vía conduce. Deben contener a lo menos el o los destinos entregados con anterioridad en la vía de origen por las señales de preseñalización y de dirección.

La señal debe indicar a lo más 3 destinos, uno de los cuales, el más lejano a la señal, debe corresponder a una ciudad importante que sirve de referencia y que se ubica siempre en la parte superior de la señal. El destino más cercano se debe ubicar siempre en su parte inferior. A la derecha de cada destino debe figurar la distancia a ellos.

Las distancias que se indiquen deben ser las que efectivamente existen a los lugares de destino, desde la ubicación de la señal. Estas señales se instalan una vez finalizada la pista de incorporación a la nueva vía. De esta manera, la información presentada es de utilidad tanto para los vehículos que han ingresado a la vía como para los que ya transitaban por ella. Ver Figura 3.3.2_34 (a) y Figura 3.3.2_34 (b).



a) Para autopistas y autovías

(b) Para vías convencionales

Figura 3.3.2_34. EJEMPLOS DE SEÑALES DE CONFIRMACIÓN

J.9. Señales de identificación vial:

Tienen como función identificar la vía, indicando su nombre, código o numeración.

J.9.1. Red Primaria:

Se empleará para identificar los caminos que pertenecen a la Red Primaria o Fundamental del país. Tendrá la forma de un escudo con una línea horizontal divisoria y dos compartimientos.

Se insertará la palabra PARAGUAY en la parte superior y la numeración de 0 a 99 en la parte inferior de la señal. Ver Figura 3.3.2_35.



Figura 3.3.2_35. SEÑAL DE LA RED PRIMARIA

J.9.2. Red Secundaria:

Se empleará para identificar los caminos que pertenecen a la Red Departamental. Tendrá la forma de un círculo con una línea horizontal divisoria y dos compartimientos.

Se insertará la palabra PARAGUAY en la parte superior y la numeración de 100 a 999 en la parte inferior de la señal. Ver Figura 3.3.2_36.



Figura 3.3.2_36. SEÑAL DE LA RED SECUNDARIA

J.9.3. Red Terciaria y Vecinal:

Se empleará para identificar los caminos que pertenecen a la Red Municipal. Tendrá la forma de un rectángulo con una línea horizontal divisoria y dos compartimientos.

Se insertará la palabra PARAGUAY en la parte superior y la numeración de 100 a 999 en la parte inferior de la señal. Ver Figura 3.3.2_37.



Figura 3.3.2_37. SEÑAL DE LA RED TERCIARIA

J.9.4. Nombre y Numeración de Calles:

Se empleará en vía convencionales urbanas para informar el nombre de las calles y su numeración. Se debe ubicar junto con la señal reglamentaria R-12 (Sentido único de circulación) ó R-13 (Sentido doble de circulación). Tendrá la forma de un rectángulo con la diagramación mostrada en la Figura 3.3.2_38.

En el poste que sustenta esta señal se puede instalar, para uso de personas no videntes, una placa con información en Braille sobre los nombres y numeración de las calles o vías comprendidas en la intersección y una indicación de los cuatro puntos cardinales. Ver Figura 3.3.2_38.



Figura 3.3.2_38. SEÑAL DE NOMBRE Y NUMERACIÓN DE CALLE

J.9.5. Señales de Localización:

Estas señales tienen como función indicar límites jurisdiccionales de ciudades o zonas urbanas, identificar ríos, lagos, parques, puentes, lugares históricos y otros puntos de interés que sirven de orientación a los conductores.

Se ubican en el límite jurisdiccional en el caso de comunidades, municipios, ciudades o regiones y próximas a centros urbanos.

Tendrá la forma de un rectángulo con la diagramación mostrada en la Figura 3.3.2_39.

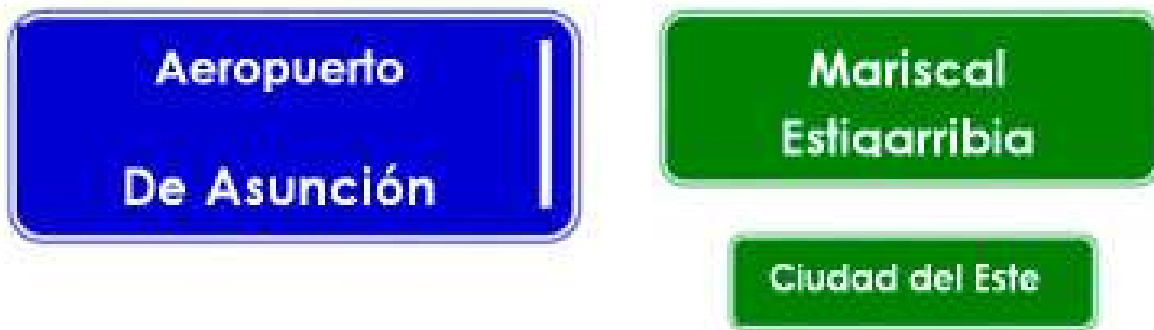


Figura 3.3.2_39. EJEMPLOS DE SEÑALES DE LOCALIZACIÓN

J.10. Señales de Nomenclatura Vial y Urbana, Destinos y Distancias:

I-01



I-01	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	NOMENCLATURA VIAL Y URBANA. DESTINOS Y DISTANCIAS.
I-01	RUTA DE LA RED PRIMARIA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Señal en forma de escudo de fondo verde, con una línea divisoria horizontal y dos compartimientos rodeados de una orla blanca. En el compartimiento superior se insertará la palabra PARAGUAY en letras blancas.</p> <p>En el compartimiento inferior se insertará el número de ruta (de 0 a 99) de la Red Primaria (nacional) en color blanco.</p>	<p>Identifica a la ruta como perteneciente a la Red Primaria (nacional) de caminos e informa la denominación de la vía por la que se circula.</p> <p>A veces (en una placa rectangular) se adiciona el nombre de la ciudad donde se halla ubicada.</p>	<p>A criterio de la autoridad competente.</p>

OBSERVACIONES
<p>Sólo puede ser instalada con autorización de autoridad competente.</p>

I-01



I-02	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	NOMENCLATURA VIAL Y URBANA. DESTINOS Y DISTANCIAS.
	RUTA DE LA RED SECUNDARIA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Señal de forma circular y fondo verde, con una línea divisoria horizontal y dos compartimientos rodeados de una orla blanca. En el compartimiento superior se insertará la palabra PARAGUAY en letras blancas.</p> <p>En el compartimiento inferior se insertará el número de ruta de la Red Secundaria (departamental) (de 100 a 999) en color blanco.</p>	<p>Identifica a la ruta como perteneciente a la Red Secundaria (departamental) de caminos e informa la denominación de la vía por la que se circula.</p> <p>A veces (en una placa rectangular) se adiciona el nombre de la ciudad donde se halla ubicada.</p>	<p>A criterio de la autoridad competente.</p>

OBSERVACIONES
<p>Sólo puede ser instalada con autorización de autoridad competente.</p>

I-03



	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	NOMENCLATURA VIAL Y URBANA. DESTINOS Y DISTANCIAS.
I-03	RUTA DE LA RED TERCIARIA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Señal de forma rectangular, con una línea divisoria horizontal y dos compartimientos rodeados de una orla blanca. En el compartimiento superior se insertará la palabra PARAGUAY en letras blancas.</p> <p>En el compartimiento inferior se insertará el número de ruta de la Red Terciaria (municipal) (de 100 a 999) en color blanco.</p>	<p>Identifica a la ruta como perteneciente a la Red Terciaria (municipal) de caminos e informa la denominación de la vía por la que se circula.</p> <p>A veces (en otra placa) se adiciona el nombre de la ciudad donde se halla ubicada.</p>	<p>A criterio de la autoridad competente.</p>

OBSERVACIONES
<p>Sólo puede ser instalada con autorización de autoridad competente.</p>

I-04

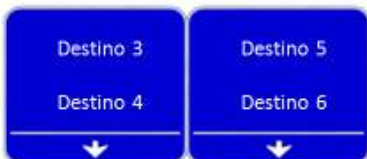


	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	NOMENCLATURA VIAL Y URBANA. DESTINOS Y DISTANCIAS.
I-04	NOMBRE Y NUMERACIÓN DE CALLES

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Señal de forma rectangular, fondo blanco con una orla negra. En la parte superior del rectángulo se inserta el nombre de la calle en letras mayúsculas negras, y en la parte inferior se insertan los números correspondientes a las puertas de calle. El número menor a la izquierda, y el número mayor a la derecha.	Identifica el nombre de calles urbanas y las numeraciones menor y mayor del tramo al que pertenece.	A criterio de la autoridad competente.

OBSERVACIONES
Sólo puede ser instalada con autorización de autoridad competente.

I-05



	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	NOMENCLATURA VIAL Y URBANA. DESTINOS Y DISTANCIAS.
I-05	AVISO PREVIO (PRESEÑALIZACIÓN)

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Señal de forma rectangular, fondo verde (carreteras convencionales) o azul (autopistas y autovías) con una orla blanca. En el interior del rectángulo se insertan, en color blanco, flechas y/o flechas de mapa y los nombres de los destinos. En un sitio adecuado, también puede insertarse la leyenda “ A XXX m”, denotando la distancia a la que ocurrirá la bifurcación o intersección</p>	<p>Identifica los nombres y direcciones de los destinos con anticipación a los sitios de bifurcación o intersección. También identifica los nombres y direcciones de los destinos si no hay bifurcaciones o desvíos.</p>	<p>A criterio del proyectista y de acuerdo a lo establecido en la presente Guía.</p>

OBSERVACIONES
<p>Sólo puede ser instalada con autorización de autoridad competente.</p>

I-06



I-06	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	NOMENCLATURA VIAL Y URBANA. DESTINOS Y DISTANCIAS.
I-06	DIRECCIÓN

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Señal de forma rectangular, fondo verde con una orla blanca. En el interior del rectángulo se insertan, en color blanco, flechas, pictogramas y los nombres de los destinos.	Identifica los nombres y direcciones de los destinos.	A criterio del proyectista y de acuerdo a lo establecido en la presente Guía.

OBSERVACIONES
Sólo puede ser instalada con autorización de autoridad competente.

I-07



	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	NOMENCLATURA VIAL Y URBANA. DESTINOS Y DISTANCIAS.
I-07	SALIDA INMEDIATA (AUTOPISTAS Y AUTOVÍAS)
I-08	SALIDA INMEDIATA (CARRETERAS CONVENCIONALES)

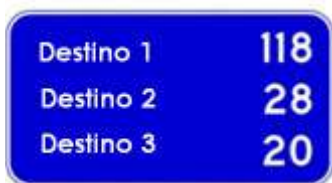
I-08



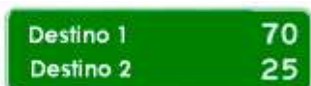
CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Señal de forma rectangular, fondo azul (autopistas y autovías) o verde (carreteras convencionales) con una orla blanca. En el interior del rectángulo se insertan, en color blanco, una flecha y la palabra "SALIDA".</p>	<p>Indica el lugar donde inicia una bifurcación y el ángulo aproximado de ésta respecto de las pistas que continúan por la vía principal, indicando a los conductores que desean salir de la vía, dónde y en qué dirección deben realizar la maniobra requerida.</p>	<p>A criterio del proyectista y de acuerdo a lo establecido en la presente Guía.</p> <p>Generalmente se ubica en el vértice formado por la pista que sale y las que continúan.</p>

OBSERVACIONES
<p>Sólo puede ser instalada con autorización de autoridad competente.</p> <p>Sólo debe utilizarse en conjunto con señales de anuncio previo (preseñalización) para corroborar la información entregada con anterioridad.</p>

I-09



I-10

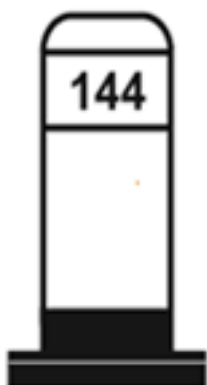


	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	NOMENCLATURA VIAL Y URBANA. DESTINOS Y DISTANCIAS.
I-09	SALIDA INMEDIATA (AUTOPISTAS Y AUTOVÍAS)
I-10	SALIDA INMEDIATA (CARRETERAS CONVENCIONALES)

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Señal de forma rectangular, fondo azul (autopistas y autovías) o verde (carreteras convencionales) con una orla blanca. En el interior del rectángulo se insertan, en color blanco, una flecha y la palabra "SALIDA".</p>	<p>Indica el lugar donde inicia una bifurcación y el ángulo aproximado de ésta respecto de las pistas que continúan por la vía principal, indicando a los conductores que desean salir de la vía, dónde y en qué dirección deben realizar la maniobra requerida.</p>	<p>A criterio del proyectista y de acuerdo a lo establecido en la presente Guía.</p> <p>Generalmente se ubica en el vértice formado por la pista que sale y las que continúan.</p>

OBSERVACIONES
<p>Sólo puede ser instalada con autorización de autoridad competente.</p> <p>Sólo debe utilizarse en conjunto con señales de anuncio previo (preseñalización) para corroborar la información entregada con anterioridad.</p>

I-11



I-11	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	NOMENCLATURA VIAL Y URBANA. DESTINOS Y DISTANCIAS.
MOJÓN KILOMÉTRICO	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Pilar de cuatro caras iguales y terminado en una punta piramidal achatada, generalmente de cemento, enterrado en dos terceras partes, con el kilometraje pintado en color negro en todas sus caras. El blanco adyacente a los números debe ser reflectivo. Podrá utilizarse una placa rectangular, la cual en su frente y dorso dará la indicación antes mencionada. Debe ser reflectiva.</p>	<p>Indica la distancia en kilómetros al punto tomado como origen de la vía, medida sobre su trazado.</p>	<p>En zona rural en cada 5 kilómetros, ubicado a la derecha y en sentido ascendente al kilometraje. Se debe instalar a la derecha del carril de ida y de retorno, siguiendo sus propias distancias respecto a orígenes diametralmente opuestos.</p>

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES

K. SEÑALES INFORMATIVAS QUE DESCRIBEN CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA.

K.1. Conformación Física:

Placa rectangular en color verde (variable) con letras y dibujos blancos y figura resaltada en otro color.

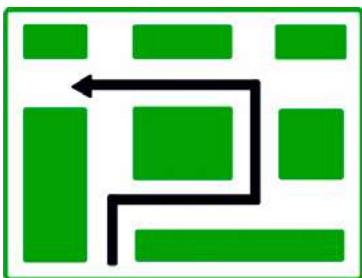
K.2. Significado:

Informa sobre el tipo o variaciones de la vía más adelante.

K.3. Ubicación:

Con suficiente anticipación a la referencia.

I-12



I-12	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
	DESCRIPCIÓN DE GIROS

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Rectángulo de fondo verde y pictograma en color blanco, con su lado mayor vertical con esquema de dos (2) o más cuadrículas urbanas y sus vías, con una flecha negra marcando todo el itinerario que deberá seguir el conductor para poder continuar.	Orientar al conductor sobre el recorrido a seguir en caso de itinerarios especiales.	En la intersección previa a la que es necesario realizar la maniobra completa.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES

I-13



I-13	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA
	SEGURIDAD VIAL

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tienen forma rectangular; fondo blanco; letras, flechas, orlas y números en negro	Señal empleada para recordar a los usuarios de las vías, disposiciones o recomendaciones de seguridad vial, que deben tener en cuenta en su viaje.	De acuerdo al criterio del ente rector.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES

L. SEÑALES DE SERVICIOS E INFORMACIÓN TURÍSTICA.

L.1. Conformación Física:

Rectángulo azul con el lado menor horizontal de un mínimo de SIETE DÉCIMAS DE METRO (0,7m), conteniendo un cuadrado blanco equidistante de los laterales y de la parte superior, en el cual se ubican las figuras en color negro. En el sector inferior del rectángulo, se colocan las leyendas aclaratorias, flechas y/o distancia.

L.2. Significado:

Brindan información útil al usuario de vía pública.

L.3. Ubicación:

A criterio de la autoridad, antes de la situación referida.

L.4. Observaciones:

El cartel puede dividirse en dos partes, compuesta de un cuadrado, adosando en la parte inferior la leyenda aclaratoria. La presente enunciación no es taxativa.

L.5. Señales de Servicios al Usuario:

I-13



	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	SERVICIOS AL USUARIO
I-14	PRIMEROS AUXILIOS

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. Una cruz roja sobre un rectángulo blanco.	Indica la existencia de infraestructura hospitalaria con la capacidad de atención de primeros auxilios.	En el sitio del recinto donde se presta el servicio

OBSERVACIONES
Puede ser complementada con una leyenda "A XXX m" para su instalación como aviso previo.

I-15



	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	SERVICIOS AL USUARIO
I-15	PUNTO DE INFORMACIÓN TURÍSTICA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. El pictograma y las letras son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra el sitio destinado a proveer datos útiles a visitantes o turistas	En el mismo sitio que se pretende señalar

OBSERVACIONES
Puede ser complementada con una leyenda “A XXX m” para su instalación como aviso previo.

I-16



	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	SERVICIOS AL USUARIO
I-16	TELÉFONO

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. El pictograma es de color negro y va sobre un rectángulo de color blanco; y las letras y flechas son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra un aparato telefónico para comunicaciones de emergencia, locales o de larga distancia.	Normalmente se instala al costado de la carretera con una señal de aviso previo (a 1 km de distancia), y se coloca otra señal en el sitio donde existe el aparato telefónico.

OBSERVACIONES
Puede ser complementada con una leyenda “A XXX m” para su instalación como aviso previo.

I-17



I-17	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	SERVICIOS AL USUARIO
	ESTACIÓN DE SERVICIO

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. El pictograma negro y va sobre un rectángulo de color blanco; y las letras y flechas son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra una estación de servicio para repostaje de combustibles.	Normalmente se instala al costado de la carretera con una señal de aviso previo (a 1 km de distancia), y se coloca otra señal en el sitio de la estación de servicio.

OBSERVACIONES
Puede ser complementada con una leyenda "A XXX m" para su instalación como aviso previo.

I-18



I-18	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	SERVICIOS AL USUARIO
	SERVICIO MECÁNICO

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. El pictograma negro y va sobre un rectángulo de color blanco; y las letras y flechas son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra una estación de servicio mecánico.	Normalmente se instala al costado de la carretera con una flecha indicando el sitio de la estación de servicio.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES

I-19

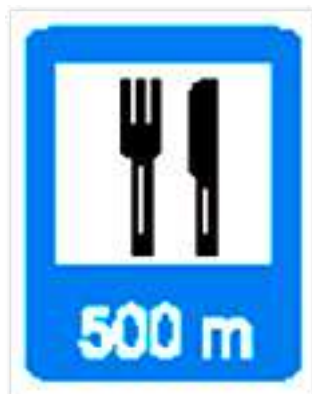


CLASIFICACIÓN	SEÑALES INFORMATIVAS
	SERVICIOS AL USUARIO
	I-19 SERVICIOS HIGIÉNICOS

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. El pictograma negro y va sobre un rectángulo de color blanco; y las letras y flechas son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra un sitio con servicios higiénicos de uso público.	Normalmente se instala al costado de la carretera con una flecha indicando el sitio de los servicios higiénicos.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES

I-20



CLASIFICACIÓN	SEÑALES INFORMATIVAS
	SERVICIOS AL USUARIO
	I-20 ALIMENTACIÓN

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. El pictograma negro y va sobre un rectángulo de color blanco; y las letras y flechas son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra un sitio con servicio de alimentación al viajero.	Normalmente se instala al costado de la carretera con una flecha indicando el sitio de un restaurante o de venta de comidas.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES

I-21



I-21	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	SERVICIOS AL USUARIO
HOSPEDAJE	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. El pictograma, flechas y letras son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra un sitio con servicio de hospedaje.	Normalmente se instala al costado de la carretera con una flecha indicando el sitio de un hotel u hospedaje.

OBSERVACIONES
Puede ser complementada con una leyenda "A XXX m" para su instalación como aviso previo.

I-22



I-22	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	SERVICIOS AL USUARIO
AEROPUERTO	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. El pictograma negro y va sobre un rectángulo de color blanco; y las letras y flechas son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra un aeropuerto.	Normalmente se instala al costado de la carretera con una flecha indicando el sitio de ingreso a un aeropuerto.

OBSERVACIONES
Puede ser complementada con una leyenda "A XXX m" para su instalación como aviso previo.

I-23



CLASIFICACIÓN	SEÑALES INFORMATIVAS
	SERVICIOS AL USUARIO
	ESTACIÓN DE FERROCARRILES
I-23	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. El pictograma negro y va sobre un rectángulo de color blanco; y las letras y flechas son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra una estación o terminal ferroviaria.	Normalmente se instala al costado de la carretera con una flecha indicando el sitio de ingreso a una estación o terminal ferroviaria.

OBSERVACIONES
Puede ser complementada con una leyenda "A XXX m" para su instalación como aviso previo.

I-24



CLASIFICACIÓN	SEÑALES INFORMATIVAS
	SERVICIOS AL USUARIO
	TRANSBORDADOR
I-24	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. El pictograma negro y va sobre un rectángulo de color blanco; y las letras y flechas son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra un muelle de servicio de transbordadores.	Normalmente se instala al costado de la carretera con una flecha indicando el sitio de ingreso al muelle de transbordadores.

OBSERVACIONES
Puede ser complementada con una leyenda "A XXX m" para su instalación como aviso previo.

I-25



I-25	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	SERVICIOS AL USUARIO
TRANSPORTE MASIVO	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. El pictograma negro y va sobre un rectángulo de color blanco; y las letras y flechas son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra una terminal terrestre de buses o vehículos de transporte masivo.	Normalmente se instala al costado de la carretera con una flecha indicando el sitio de ingreso a la terminal de transporte.

OBSERVACIONES
Puede ser complementada con una leyenda "A XXX m" para su instalación como aviso previo.

I-26



I-26	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	ATRATIVOS TURÍSTICOS
MUSEO	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. El pictograma, las letras y flechas son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra un museo.	Normalmente se instala al costado de la carretera con una flecha indicando el sitio de ingreso al museo.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES

I-27



I-27	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	ATRACTIVOS TURÍSTICOS
PESCA	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. El pictograma, las letras y flechas son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra un sitio de pesca deportiva autorizada.	Normalmente se instala al costado de la carretera con una flecha indicando el sitio de ingreso, al lugar de pesca.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES

I-28



I-28	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	ATRACTIVOS TURÍSTICOS
JUEGOS INFANTILES	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. El pictograma, las letras y flechas son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra un sitio de juegos infantiles.	Normalmente se instala al costado de la carretera con una flecha indicando el sitio de ingreso, al lugar de juegos infantiles.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES

I-29



I-29	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	ATRACTIVOS TURÍSTICOS
MONUMENTO NACIONAL	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. El pictograma, las letras y flechas son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra un monumento nacional de interés turístico.	Normalmente se instala al costado de la carretera con una flecha indicando el sitio de ingreso, al lugar del monumento nacional.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES

I-30



I-30	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	ATRACTIVOS TURÍSTICOS
ZOOLÓGICO	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. El pictograma, las letras y flechas son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra un zoológico.	Normalmente se instala al costado de la carretera con una flecha indicando el sitio de ingreso, al lugar del zoológico.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES

I-31



I-31	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	ATRATIVOS TURÍSTICOS
ARTESANIA	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. El pictograma, las letras y flechas son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra un sitio de exhibición y venta de artesanías.	Normalmente se instala al costado de la carretera con una flecha indicando el sitio de ingreso, al lugar de exhibición y venta de artesanías.

OBSERVACIONES
En sitios donde sea reconocible y relevante la producción del tejido paraguayo denominado “Ñanduti”, se podrá utilizar el pictograma alterno.

I-32



I-32	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	ATRATIVOS TURÍSTICOS
IGLESIA	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. El pictograma negro va sobre un rectángulo blanco; las letras y flechas son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra una iglesia.	Normalmente se instala al costado de la carretera con una flecha indicando el sitio de ingreso, al lugar de la iglesia.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES

I-33



CLASIFICACIÓN	SEÑALES INFORMATIVAS
	ATRATIVOS TURÍSTICOS
	I-33 ZONA DE CAMPING

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. El pictograma, las letras y flechas son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra una zona autorizada para acampar.	Normalmente se instala al costado de la carretera con una flecha indicando el sitio de ingreso a la zona de camping.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES

I-34



CLASIFICACIÓN	SEÑALES INFORMATIVAS
	ATRATIVOS TURÍSTICOS
	I-34 PLAYA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. El pictograma, las letras y flechas son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra una playa autorizada al público.	Normalmente se instala al costado de la carretera con una flecha indicando el sitio de ingreso a la playa.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES

I-35



	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	OTRAS SEÑALES
I-35	ZONA MILITAR

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. El pictograma negro va en un rectángulo blanco; las letras y flechas son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra una zona donde se ubica un establecimiento militar.	Normalmente se instala al costado de la carretera con una flecha indicando el sitio de ingreso a la zona militar.

OBSERVACIONES
Puede ser complementada con una leyenda "A XXX m" para su instalación como aviso previo.

I-36



	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	OTRAS SEÑALES
I-36	ZONA DE PARQUEO Y ZONA ESPECIAL DE PARQUEO

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. El pictograma negro va en un rectángulo blanco; las letras y flechas son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra una zona donde está permitido parquear vehículos.	Normalmente se instala al costado de la carretera con una flecha indicando el sitio de ingreso a la zona de parqueo.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES

I-37



I-37	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	OTRAS SEÑALES
PARADA DE BUSES	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. El pictograma negro va en un rectángulo blanco; las letras y flechas son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra una parada de buses.	Normalmente se instala al costado de la carretera con una flecha indicando el sitio de parada de ómnibus.

OBSERVACIONES
Se recomienda que sea complementada con señalización horizontal adecuada.

I-38



I-38	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	OTRAS SEÑALES
ESTACIONAMIENTO DE TAXIS	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. El pictograma negro va en un rectángulo blanco; las letras y flechas son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra estacionamiento de taxis.	Normalmente se instala al costado de la carretera con una flecha indicando el sitio de estacionamiento de taxis.

OBSERVACIONES
Se recomienda que sea complementada con señalización horizontal adecuada

I-39



	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	OTRAS SEÑALES
I-39	VÍA PARA CICLISTAS

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma circular con fondo azul. El pictograma negro va en un rectángulo blanco; las letras y flechas son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra una vía para uso exclusivo de ciclistas.	Normalmente se instala al costado de la carretera con una flecha indicando la existencia de la vía de ciclistas.

OBSERVACIONES
Se recomienda que sea complementada con señalización horizontal adecuada.

I-40



	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	OTRAS SEÑALES
I-40	CRUCE PEATONAL

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. El pictograma negro va en un rectángulo blanco; las letras y flechas son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra un cruce peatonal.	Normalmente se instala al costado de la carretera con una flecha indicando la existencia de un cruce peatonal.

OBSERVACIONES
Se recomienda que sea complementada con señalización horizontal adecuada.

I-41



	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	OTRAS SEÑALES
I-41	EXCLUSIVO PERSONAS CON CAPACIDADES DIFERENTES

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. El pictograma negro va en un rectángulo blanco; las letras y flechas son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra un sitio o sector de uso preferente de discapacitados (parqueo, cruce de vía, rampas especiales, etc).	Normalmente se instala al costado de la carretera con una flecha indicando la existencia de un sitio de uso preferente de discapacitados.

OBSERVACIONES
Se recomienda que sea complementada con señalización horizontal adecuada.

I-42



I-42	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	OTRAS SEÑALES
CAMBIO DE MONEDA	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. El pictograma, las letras y flechas son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra un sitio autorizado de cambio de moneda.	Normalmente se instala al costado de la carretera con una flecha indicando un sitio de cambio de moneda.

OBSERVACIONES
Se recomienda que sea complementada con señalización horizontal adecuada.

I-43



I-43	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	OTRAS SEÑALES
MUELLE	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. El pictograma, las letras y flechas son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra un sitio o sector de muelles marítimos o lacustres.	Normalmente se instala al costado de la carretera con una flecha indicando el sitio de muelles.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES

I-44



I-44	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	OTRAS SEÑALES
	BIENES ARQUEOLÓGICOS

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. El pictograma, las letras y flechas son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra un sitio de exhibición de bienes arqueológicos o una zona de ruinas arqueológicas.	Normalmente se instala al costado de la carretera con una flecha indicando el sitio de bienes arqueológicos.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES

I-45



I-45	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	OTRAS SEÑALES
	POLIDEPORTIVO

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. El pictograma, las letras y flechas son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra un sitio de prácticas deportivas múltiples	Normalmente se instala al costado de la carretera con una flecha indicando el sitio del polideportivo.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES

I-46



I-46	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	OTRAS SEÑALES
MIRADOR	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. El pictograma, las letras y flechas son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra un mirador.	Normalmente se instala al costado de la carretera con una flecha indicando el sitio del mirador.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES

I-47



I-47	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	OTRAS SEÑALES
ALQUILER DE AUTOS	

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. El pictograma, las letras y flechas son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra un sitio de alquiler de autos.	Normalmente se instala al costado de la carretera con una flecha indicando el sitio de alquiler de autos.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES

I-48

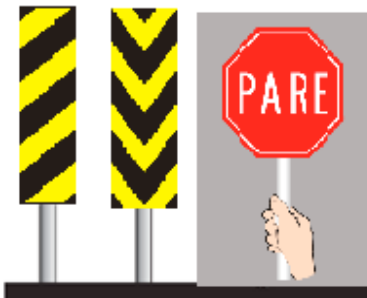


	CLASIFICACIÓN
	SEÑALES INFORMATIVAS
	OTRAS SEÑALES
I-48	ALQUILER DE AUTOS

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Tiene forma rectangular con fondo azul. El pictograma, las letras y flechas son de color blanco.	Se emplea para indicar a los usuarios del camino, el lugar en donde se encuentra un sitio de alquiler de autos.	Normalmente se instala al costado de la carretera con una flecha indicando el sitio de alquiler de autos.

OBSERVACIONES
<p>Cuando se incluye una leyenda debajo del pictograma, el contenido mínimo de la misma será: "PEAJE A XXX m"</p> <p>Se recomienda que la distancia entre la señal informativa y el sitio de cobro de peaje sea como mínimo de 500 m.</p>

3.3.2.4.4. DISPOSITIVOS VERTICALES DE CANALIZACIÓN



Los dispositivos de canalización tienen por objetivo guiar y advertir al usuario en la conducción, respecto de los bordes de la plataforma de un camino durante la noche o en condiciones de escasa visibilidad, o mostrar dos direcciones divergentes posibles de circulación en una vía unidireccional, o mostrar la dirección de una curva, cuya geometría imponga una restricción en la velocidad de circulación. Se codifican con las letras DC.

A. CONFORMACIÓN FÍSICA

Son dispositivos de formas diversas, de dimensiones y posición variables, según el tipo de señal conforme se describe en los puntos siguientes.

B. SIGNIFICADO

Advierten la proximidad de una circunstancia o variación de la normalidad de la vía que puede resultar sorpresiva o peligrosa a la circulación. En general imparten directivas, pero ante una advertencia se debe adoptar una actitud o conducta adecuada. Sin embargo, existen algunos dispositivos que contienen señales reglamentarias de cumplimiento obligatorio

C. UBICACIÓN

La señal deberá ser instalada antes o adyacente al riesgo a prevenir, a una distancia tal del objeto al que hace referencia, de modo que el conductor pueda distinguir claramente el objeto o percibir el riesgo señalizado, y eventualmente detenerse (aunque la detención no sea necesaria para superarlo).

D. COLORES

Los colores a utilizar corresponden en general a la señalización preventiva, es decir amarillo y negro. Sin embargo, existen algunos dispositivos que por su función específica contienen colores correspondientes a señales reglamentarias (blanco y rojo), y a señales informativas blanco y azul).

E. CLASIFICACIÓN.

Los dispositivos de canalización, de acuerdo a su función, se clasifican en:

- Señales de Guía.
- Señales “PARE” portátiles.

En la Figura 3.3.2_ 40 se puede apreciar, en forma resumida, algunos de los tipos de señales indicadas anteriormente.

DISPOSITIVOS VERTICALES DE CANALIZACIÓN

SEÑALES DE GUÍA

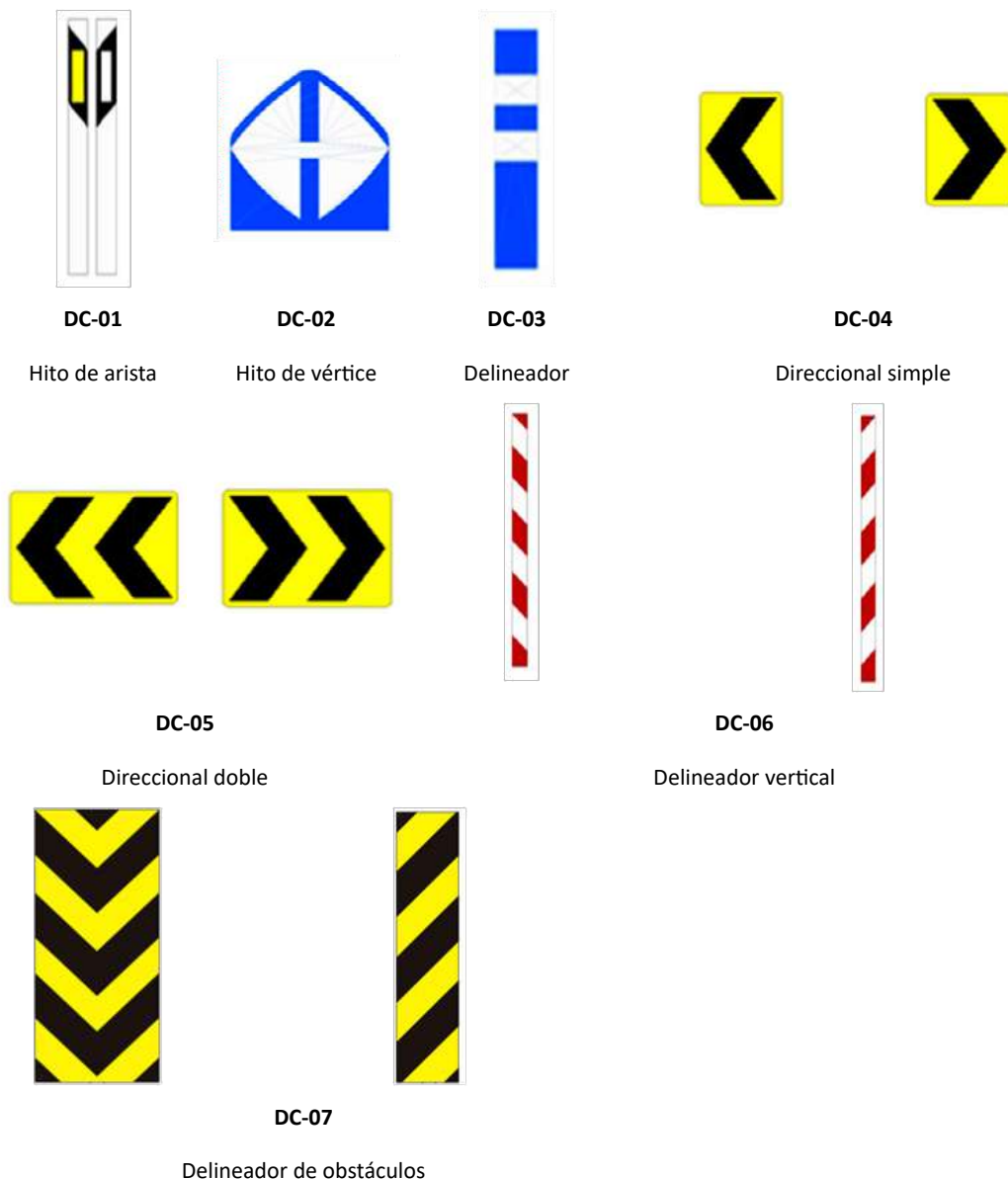


Figura 3.3.2_40. EJEMPLOS DE DISPOSITIVOS VERTICALES DE CANALIZACIÓN

F. FORMAS Y TAMAÑOS.

Las formas y tamaños de estos dispositivos dependen de su ubicación y de su función específica. Ver Capítulo 105 (Diseño de las Señales Verticales).

G. CRITERIOS DE USO.

G.1. Hitos de arista

Longitudinalmente, estos hitos de arista se instalarán cada 50 m, excepto en aquellos tramos rectos demarcados con línea discontinua que tenga una longitud mayor o igual a 300 m, donde se dispondrán cada 100 m.

En curvas amplias de gran desarrollo que no cuenten con barreras de contención o delineadores se podrán instalar a distancias de 25 m.

El emplazamiento transversal de estos hitos de arista en terraplenes y cortes sin cuneta, se realizará al término del sobrecancho de compactación. En aquellos sectores con cuneta profunda o no montable el hito se instalará en la banquina, inmediatamente antes de la cuneta. En cambio, cuando se presenten cordones o cordones con zarpa montables, el hito de arista se instalará inmediatamente tras el cordón.

En túneles estos hitos de arista se dispondrán en ambos márgenes de la calzada cada 5 m los primeros 25 m y luego cada 10 m los siguientes 50 m, para continuar en el resto del túnel cada 20 m. Igual tratamiento se deberá hacer en el sentido opuesto en calzada bidireccional.

Los hitos de arista se instalarán de tal forma que, la distancia entre los planos horizontales generados por la cota de rasante y el punto central del elemento retrorreflectante esté comprendida entre 0,50 y 0,60 m.

Se instalarán con un ángulo convergente hacia el camino. Este será de 165° para el hito del lado derecho y 15° para el hito del lado izquierdo. Ver Figura 3.3.2_41.

Los hitos de arista se podrán instalar directamente en el terreno mediante excavación, colocación del pasador transversal, relleno y compactación, o utilizando un bloque de fundación de hormigón prefabricado. También se podrán instalar mediante perforación y adhesivo, o apertados sobre una base especial.

Sólo se usarán hitos de arista del tipo flexible (tubular, nervada, etc.) y excepcionalmente, se podrán usar del tipo no flexible cuando el camino tenga controlado el acceso de los peatones.

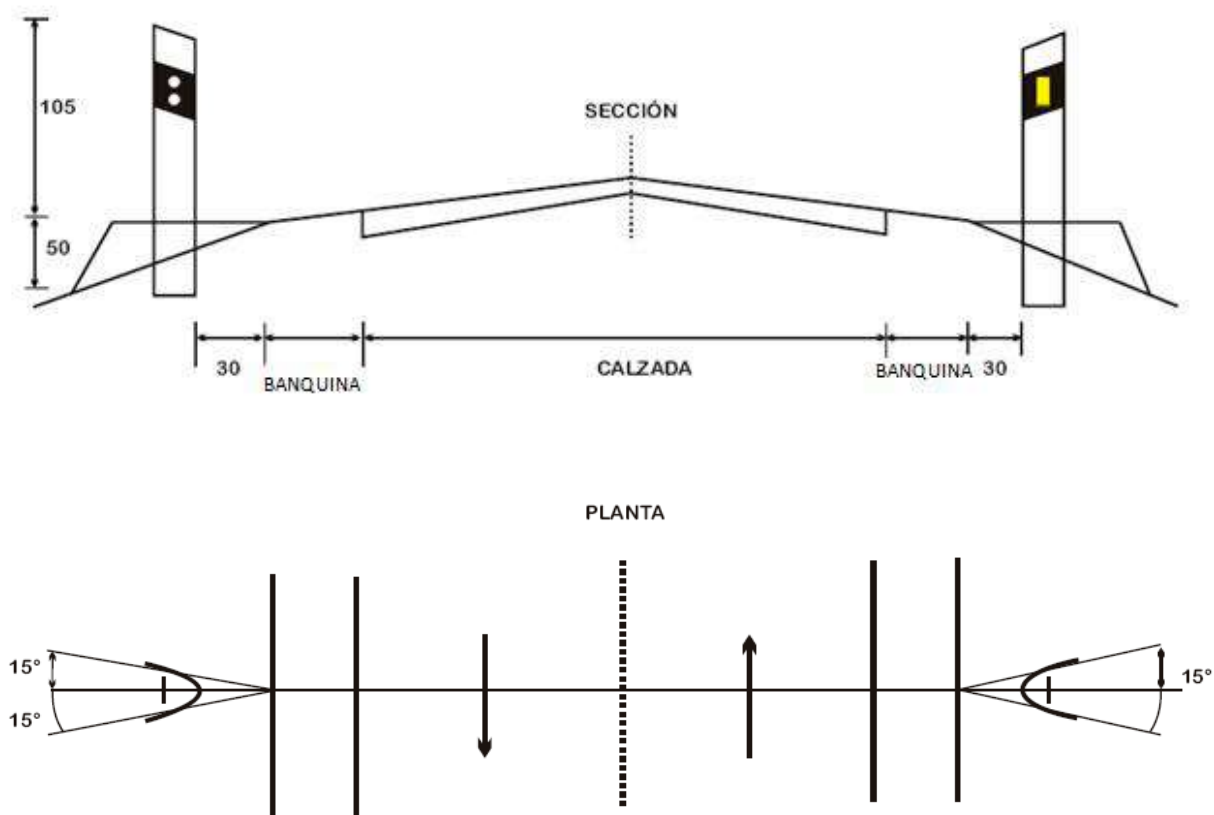


Figura 3.3.2_41. UBICACIÓN DE LOS HITOS DE ARISTA (Medidas en cm)

G.2. Hitos de vértice

Se instalarán en todas las divergencias de pistas paralelas unidireccionales, al término de la demarcación tipo achurado en V divergente, debe quedar emplazado simétricamente sobre la proyección de la línea imaginaria que une los vértices del achurado en V.

La selección de la dimensión del hito de vértice debe realizarse según la importancia geométrica de la divergencia, para vías primarias y secundarias serán de diámetro 1,5 a 2,0 m y para vías terciarias de 0,8 a 1,0 m.

Los hitos de vértice deberán quedar estables y bien afianzados, pudiendo para este fin rellenarse con arena. En el caso que estos elementos sean metálicos, éstos podrán afianzarse mediante tres postes metálicos ubicados dos en los extremos y uno en el centro.

G.3. Delineadores

Se recomienda instalar hitos delineadores en aquellas islas cuya visualización no sea fácil y oportuna, ya sea por su diseño o por condiciones geométricas propias del camino. Estos hitos se instalarán preferentemente sobre el borde de la isla, cuidando de disponer el número suficiente de hitos que en los emplazamientos escogidos, permitan al usuario, sin duda alguna, reconocer su contorno y la canalización señalada.

Igual criterio se utilizará al emplazar estos hitos delineadores junto o sobre los bordes de obstáculos que signifiquen peligro a los conductores, por ejemplo, desniveles en convergencias de pistas, bordes de bandejones en plazas de peaje, etc.

Excepcionalmente, estos hitos se podrán instalar como complemento a la demarcación tipo achurado en V, definida para las divergencias, sólo si estos elementos no constituyen un obstáculo visual para el hito de vértice. Si su instalación es aplicable, el primer hito delineador se dispondrá en el vértice de la primera V, para luego continuar su emplazamiento en ambos extremos de las V impares.

También se recomienda la instalación de los hitos delineadores, en demarcaciones tipo achurado en separación de flujos, cuidando que su disposición señalice claramente el contorno de la demarcación horizontal.

G.4. Direccionales

G.4.1. Direccionales simples

Los delineadores direccionales simples se dispondrán para ayudar al usuario a visualizar el desarrollo de toda curva, a la derecha o a la izquierda, cuya geometría imponga una restricción en la velocidad de circulación desde 5 km/h y hasta 20 km/h, respecto a la velocidad asociada a las condiciones generales del tramo donde se ubica la curva.

También se dispondrán estos elementos en aquellas curvas, cuya relación radio - desarrollo o pendiente de acceso, motive una conducción forzada, a pesar que el radio de la curva sea mayor o corresponda con aquel que establece la velocidad señalizada para el tramo donde se ubica la curva, de acuerdo a los siguientes criterios de instalación.

Se instalarán delineadores direccionales simples, en aquellas curvas cuyo ángulo de deflexión sea mayor a 40g (= 36° sexagesimales) y el radio de curvatura sea menor o igual a los indicados en la Tabla 3.3.2_16.

Tabla 3.3.2_16. CRITERIOS DE INSTALACIÓN DIRECCIONALES SIMPLES

VELOCIDAD DEL TRAMO (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100
IRadio (m) ≤	65	80	105	150	205	240	330	400

No obstante lo anterior, se instalarán delineadores direccionales simples en aquellas curvas cuyo ángulo de deflexión sea mayor a 30g (= 27° sexagesimales) y sean anteceditas por una pendiente cuya magnitud sea mayor a 4%, y además, se verifique la siguiente condición:

$$L i \geq 20$$

Donde:

L= Longitud del tramo adyacente con pendiente uniforme (m).

i = Pendiente del tramo adyacente (en tanto por uno).

En estos casos (verificación por pendientes), deberán colocarse delineadores direccionales en aquellas curvas cuyo radio sea menor o igual a los indicados en tabla anterior, pero considerando el valor correspondiente a la velocidad del tramo incrementado en 10 km/h. Los delineadores proyectados según este criterio deberán colocarse sólo enfrentados al sentido de la pendiente.

Los delineadores direccionales simples se instalarán en el borde externo de la curva, al término de la banquina o tras las soleras o cunetas si las hay, con su placa perpendicular a la visual del conductor. Se dispondrán, a lo largo de la curva de tal forma que la visual del conductor siempre aprecie como mínimo tres delineadores, a una altura aproximada de 0,75 m para la base de la placa. Ver Figura 3.3.2_ 42.

Cuando estos delineadores deban instalarse en una curva que cuente con barrera de contención, éstos se ubicarán tras la barrera, cuidando que no se afecte la visibilidad de ningún elemento.

La cantidad de delineadores a instalar será el calculado por el cociente entre el desarrollo de la curva circular y el espaciamiento, aproximado al entero superior.

El espaciamiento se obtendrá de la relación:

Donde:

E = Espaciamiento.

R =Radio de curvatura.

La cantidad de delineadores calculados será distribuida de forma tal, que el primero se ubicará en el P.C. y el último en el F.C. de la curva circular, instalando los restantes en forma equidistante entre estos dos puntos. Se aceptará una tolerancia de hasta 25% en el distanciamiento entre delineadores direccionales, debiendo siempre quedar visibles para el conductor a lo menos 3 de ellos.

En el caso de curvas con enlaces clotoidales, la cantidad de delineadores será calculada por el mismo procedimiento anterior, salvo que se adicionará un delineador antes del P.C. y otro después del F.C., manteniendo el mismo espaciamiento de los dispuestos en el desarrollo de la curva circular.

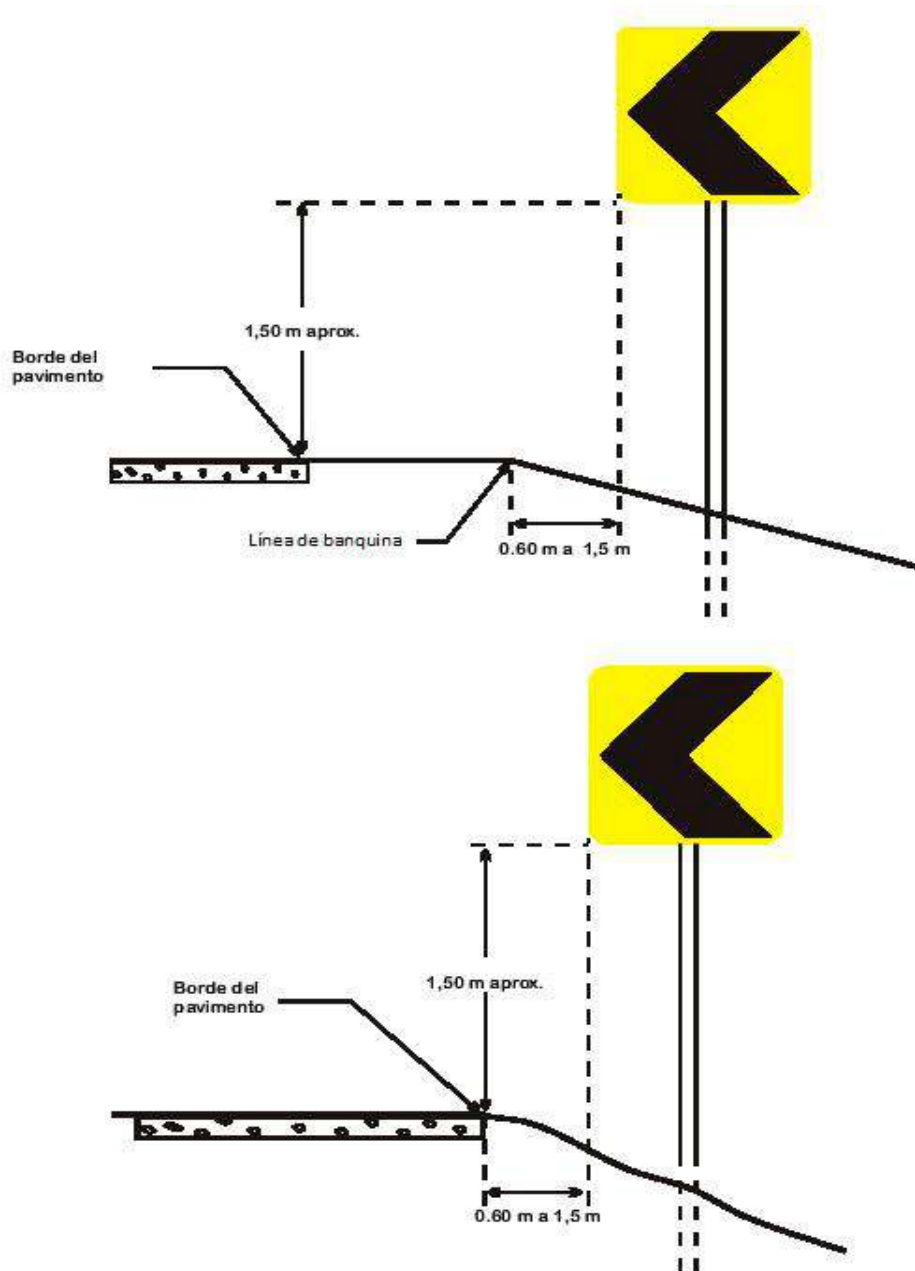


Figura 3.3.2_42. UBICACIÓN DE LOS DIRECCIONALES

G.4.2. Direccionales dobles

Sólo se dispondrán para advertir y ayudar al usuario a visualizar el desarrollo de toda curva, señalizada como curva cerrada o que imponga una restricción en la velocidad de circulación de más de 20 km/h, respecto a la velocidad asociada a las condiciones generales del sector donde se ubica la curva. Sus dimensiones y diagramación están definidas en el Capítulo 105.

Cuando estos delineadores deban instalarse en una curva que cuente con barrera de contención, entonces estos se ubicarán tras la barrera, cuidando que no se afecte la visibilidad de ningún elemento. La cantidad de delineadores a instalar se calculará de manera similar a lo indicado en 104.04.7 (d1) Direccionales Simples.

G.5. Delineadores verticales

Se instalarán junto al elemento que constituye el obstáculo adyacente, por ejemplo: muros, guardarruedas, pasillos de puentes, muros de túneles, bandejones en plazas de peaje o pesaje, postación, etc.

También se podrán instalar estos delineadores, cuando el camino a pesar de contar con una adecuada geometría, que no obligue al emplazamiento de elementos de contención, presente

condiciones que conlleven peligro para la conducción, tales como terraplenes de mediana alta en trazados rectos, terraplenes situados en zonas inundadas, etc.. En estos casos, su instalación se realizará cada 25 m, reemplazando la colocación de los correspondientes hitos de arista.

Si en el tramo donde se dispongan estos delineadores verticales, correspondiera ubicar el balizado de la ruta, esta información se pondrá sobre uno de estos elementos, debiendo por consiguiente, ajustarse el emplazamiento del conjunto de delineadores para cumplir además con el distanciamiento indicado. Estos delineadores también se instalarán en las transiciones correspondientes a término de pistas de circulación, a 0,50 m del borde externo de la banquina o del borde de la calzada.

G.6. Delineadores de obstáculos

Se instalarán junto al elemento que constituye el obstáculo en el sentido en que circula, por ejemplo: islas, cantos de muros, pilares de puentes, ingreso a túneles, pilares en plazas de peaje o pesaje, comienzo de postes en islas separadoras, etc.

El tipo de señal (unidireccional o bidireccional) será aplicado de acuerdo a los sentidos de circulación de las vías a señalar. Ver Figura 3.3.2_ 43.

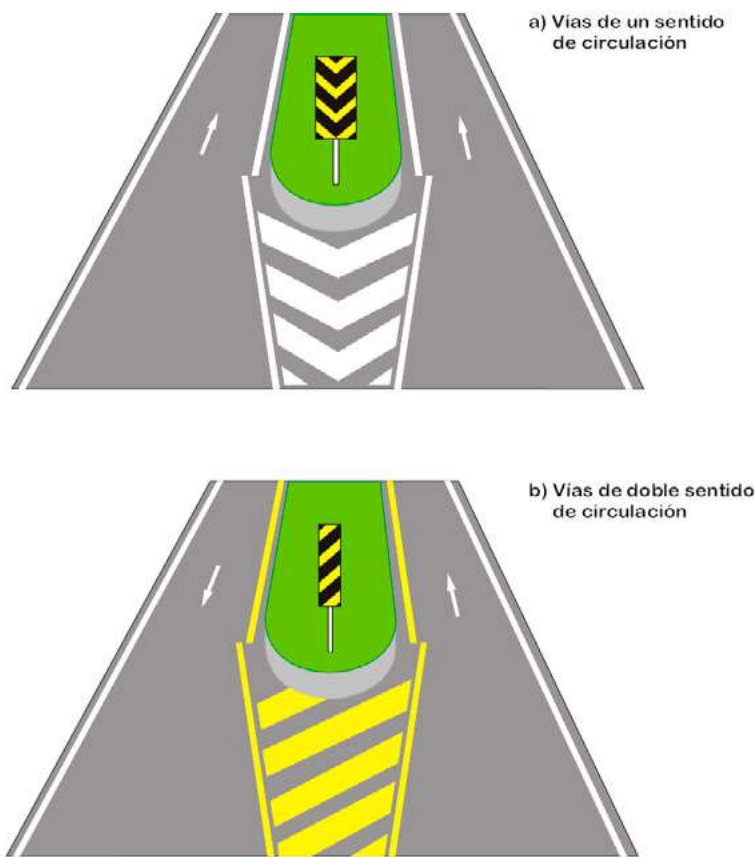


Figura 3.3.2_43. USO DE LOS DELINEADORES DE OBSTÁCULOS

G.7. Captafaros

Los captafaros son delineadores que se ubican sobre las defensas laterales, metálicas o de concreto, que se ubican en los tramos de vía en donde existen peligros potenciales de accidente por la geometría del lugar o por el desarrollo de altas velocidades por parte de los conductores.

Se utilizan principalmente en curvas peligrosas o en tangentes con terraplenes altos o plataformas en cornisa. Los captafaros que se ubiquen en vías con doble sentido de circulación deberán tener caras reflectivas en ambas caras.

Estos elementos serán fabricados en lámina galvanizada calibre 22 y sobre sus caras frontales se adherirán franjas de lámina reflectiva tipo III o de características superiores. Los captafaros

se sujetarán a la defensa mediante tornillos y puntos de soldadura. Las dimensiones de estos dispositivos son las que se muestran en las Figuras 3.3.2_44 y 3.3.2_45.

Figura 5.10 Captafaros

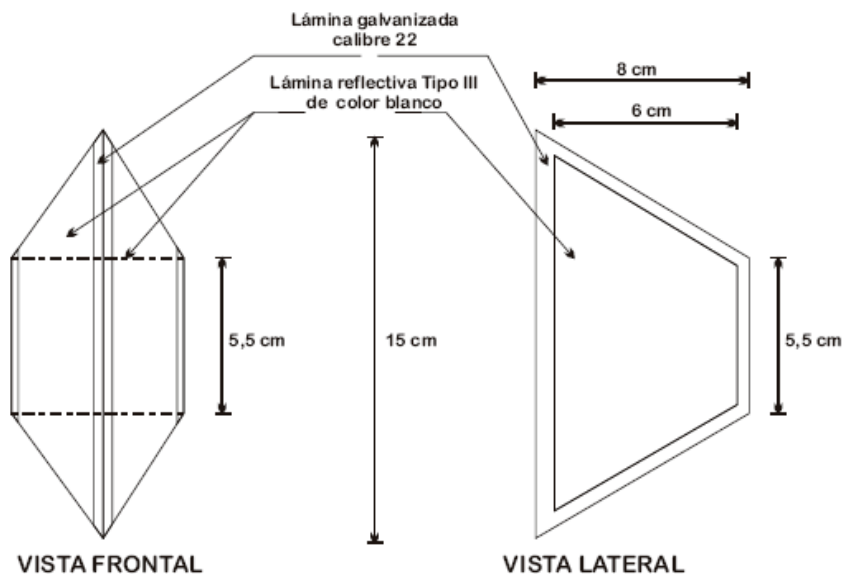
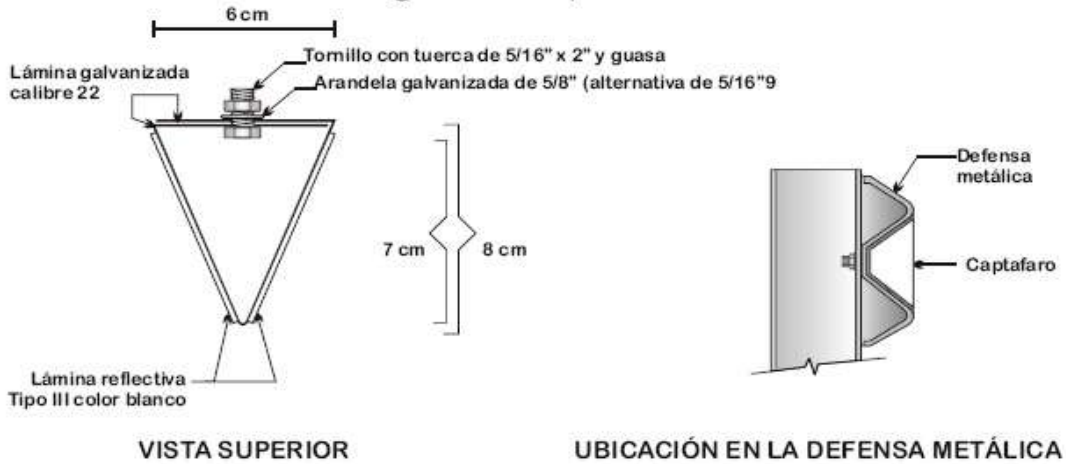


Figura 3.3.2_44. CAPTAFAROS. VISTAS Y MONTAJE

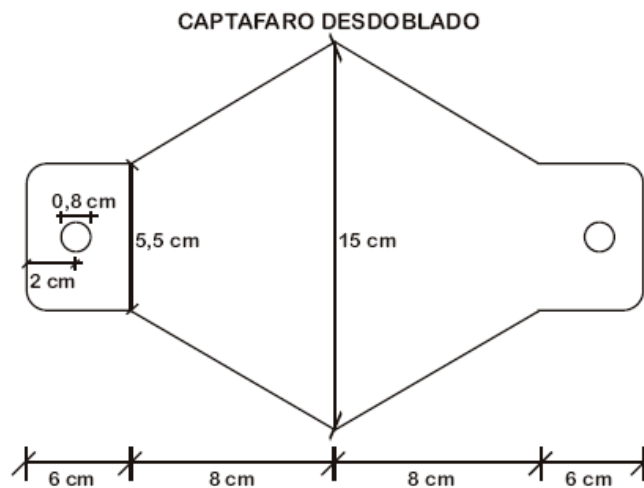


Figura 3.3.2_45. CAPTAFAROS. DESARROLLO

G.8. Señales portátiles “PARE”

Su propósito es el obligar a los conductores a detener totalmente su vehículo en un lugar en donde se exhibe la señal, con el fin de permitir el paso seguro de grupos de peatones, cuando estos se deben desplazar sobre una vía en casos como manifestaciones, procesiones o grupos de escolares.

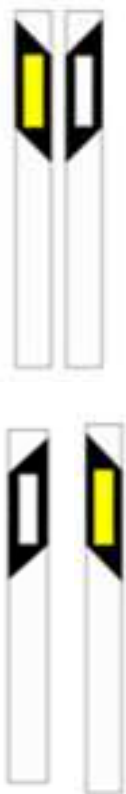
Sus características de diseño serán las mismas de la señal de “PARE” (R-01), con un tamaño correspondiente a un octágono inscrito en una circunferencia de 45 cm de diámetro, fabricado en lámina reflectiva Tipo I, con tablero en madera, plástico, aluminio o cualquier otro tipo de material liviano. Para sostener verticalmente la señal, se fijará a ésta un vástago o mango de características similares a las del tablero. Ver Figura 3.3.2_46.

El uso de la señal corresponderá a personal calificado y adiestrado en normas de tránsito, que esté previamente autorizado por las autoridades competentes.



Figura 3.3.2_46. SEÑAL PORTÁTIL “PARE”

DC-01



DC-01	CLASIFICACIÓN
	DISPOSITIVOS VERTICALES DE CANALIZACIÓN
	SEÑALES DE GUÍA
	HITO DE ARISTA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Consiste en un perfil angular o tubular metálico. Estos hitos de arista estarán dotados con un elemento retroreflectante en la parte superior de cada cara. Uno será de color blanco y el otro será de color amarillo</p>	<p>Su principal objetivo es delinear los bordes de la plataforma de un camino bidireccional durante la noche o en condiciones de escasa visibilidad, mediante su elemento retrorreflectante. También presta este servicio durante el día debido a que son de color blanco.</p>	<p>Estos hitos se instalarán verticalmente en los bordes de la plataforma, donde ésta no posea otro elemento que además de su función, cumpla la asignada a estos hitos. Es el caso de las barreras de contención con placas reflectantes, delineadores verticales y delineadores direccionales.</p>

OBSERVACIONES
<p>Altura del Hito direccional 1.05 m.</p> <p>Se clasifican en: hito de doble cara, hito de arista izquierdo e hito de arista derecho.</p>

DC-02



DC-02	CLASIFICACIÓN
	DISPOSITIVOS VERTICALES DE CANALIZACIÓN
	SEÑALES DE GUÍA
	HITO DE VÉRTICE

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Consiste en un perfil angular. Estos hitos de arista estarán dotados con un elemento retro reflectante en la parte superior abarcando ambas caras o el semicírculo del perfil tubular. El pictograma consistirá de dos flechas opuestas de color blanco retro reflectante sobre fondo azul.</p>	<p>Los hitos de vértice tienen como propósito mostrar al conductor las dos direcciones divergentes posibles de circulación, en una vía unidireccional.</p>	<p>Se instalarán en todas las divergencias de pistas paralelas unidireccionales, al término de la demarcación tipo achurado en V divergente, debe quedar emplazado simétricamente sobre la proyección de la línea imaginaria que une los vértices del achurado en V.</p>

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES

DC-03



DC-03	CLASIFICACIÓN
	DISPOSITIVOS VERTICALES DE CANALIZACIÓN
	SEÑALES DE GUÍA
DC-03	DELINEADOR

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Consiste en un poste tubular de diámetro 20 cm y altura mínima de 74,5 cm sobre el nivel del suelo. Los delineadores serán pintados con color azul retrorreflectante y dos franjas blancas retrorreflectantes en el tercio central.</p>	<p>El propósito de los hitos delineadores es ayudar al conductor en la visualización de elementos o demarcaciones dispuestas para la canalización de los flujos en igual sentido u obstáculos adyacentes que signifiquen peligro.</p>	<p>En islas, sobre el borde de la isla, junto o sobre los bordes de obstáculos que signifiquen peligro a los conductores.</p>

OBSERVACIONES
<p>Se podrán utilizar hitos delineadores del tipo flexible o ejecutable, que cumplan con las dimensiones que se indican en el Capítulo 105.</p>

DC-04



DC-04	CLASIFICACIÓN
	DISPOSITIVOS VERTICALES DE CANALIZACIÓN
	SEÑALES DE GUÍA
	DIRECCIONAL SIMPLE

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Consiste en una placa rectangular de 45 cm de base y 60 cm de altura con fondo amarillo reflectante y un símbolo asemejando una punta de flecha en color negro.</p>	<p>Tienen como propósito guiar al usuario en la conducción por una curva peligrosa.</p>	<p>Se instalarán en el borde externo de la curva, al término de la banquina o tras las soleras o cunetas si las hay, con su placa perpendicular a la visual del conductor.</p>

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES

DC-05



DC-05	CLASIFICACIÓN
	DISPOSITIVOS VERTICALES DE CANALIZACIÓN
	SEÑALES DE GUÍA
	DIRECCIONAL DOBLE

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Consiste en una placa rectangular de 84 cm de base y 60 cm de altura con fondo amarillo reflectante y un símbolo asemejando una punta de flecha en color negro.</p>	<p>Tienen como propósito guiar al usuario en la conducción por una curva peligrosa.</p>	<p>Se instalarán en el borde externo de la curva, al término de la banquina o tras las soleras o cunetas si las hay, con su placa perpendicular a la visual del conductor.</p>

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES

DC-06



DC-06	CLASIFICACIÓN
	DISPOSITIVOS VERTICALES DE CANALIZACIÓN
	SEÑALES DE GUÍA
DC-06	DELINEADOR VERTICAL

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Consiste en unas placas rectangulares de 20 cm de base y 126 cm de altura con líneas diagonales rojas de 15 cm de espesor intercaladas con espacios diagonales blancos de 15 cm de espesor. La pintura a utilizar deberá ser reflectante para ambos colores.</p>	<p>Tienen como propósito advertir y guiar al usuario cualquier singularidad que haya al lado derecho o izquierdo y dentro de la plataforma, que pudiera significar algún riesgo en su conducción.</p>	<p>Se instalarán junto al elemento que constituye el obstáculo adyacente, por ejemplo: muros, guarda ruedas, pasillos de puentes, muros de túneles, bandejones en plazas de peaje o pesaje, postación, etc.</p>

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES

DC-07



DC-07	CLASIFICACIÓN
	DISPOSITIVOS VERTICALES DE CANALIZACIÓN
	SEÑALES DE GUÍA
	DELINEADOR DE OBSTÁCULOS

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Consiste en unas placas rectangulares de 20 cm ó 40 cm de base y 90 cm de altura con líneas diagonales negras de 10 cm de espesor intercaladas con espacios diagonales de color negro de 10 cm de espesor. La pintura a utilizar deberá ser reflectante para el color amarillo.	Tienen como propósito advertir y guiar al usuario cualquier singularidad que haya al lado derecho o izquierdo y dentro de la plataforma, que pudiera significar algún riesgo en su conducción.	Se instalarán junto al elemento que constituye el obstáculo adyacente, por ejemplo: muros, guarda ruedas, pasillos de puentes, muros de túneles, bandejones en plazas de peaje o pesaje, postación, etc.

OBSERVACIONES
Los delineadores verticales serán del tipo flexible.

3.3.2.4.5. BARRERAS PARA TRÁFICO

A. GENERALIDADES Y CONCEPTOS BÁSICOS

Esta sección analiza el tratamiento de sistemas de contención, específicamente en lo que respecta al diseño de diferentes tipos de barreras de contención.

La necesidad de una barrera en un Proyecto Vial, su nivel de contención, su disposición en la faja vial y la forma en que se espera que trabaje este sistema, corresponde a los temas de mayor importancia tratados en esta sección.

Junto a lo anterior, se incluyen criterios para determinar el emplazamiento o ubicación de los elementos en la vía, de acuerdo a las situaciones o condiciones del lugar. En este sentido, se entregan recomendaciones de instalación lateral, longitudinal, altura, disposición de elementos terminales, etc.

Un punto importante a considerar en el diseño de las barreras, es la condición certificada o no de estos elementos, ya que existen diferencias entre aquellos dispositivos que han sido probados a escala real, de aquellos que no cuentan con ensayos de acuerdo a normas internacionales

de impacto. En esta sección se indican las características de ambos tipos de barreras (certificadas o no certificadas), como también la forma de evaluar estas propiedades específicas.

Para garantizar la máxima seguridad de los usuarios (conductores, ocupantes, otros usuarios de la vía, personas presentes o residentes en la zona), las barreras de contención deben cumplir al menos las siguientes funciones:

- a. Limitar la severidad del impacto en los ocupantes: esto se consigue mediante el establecimiento de valores máximos para los índices de riesgo a los usuarios del vehículo impactante [ASI, THIV, PHD]
- b. Retener el vehículo: corresponde a la resistencia estructural del sistema ante colisiones vehiculares.
- c. Minimizar la salida de la carretera: esto se encuentra condicionado mediante el ancho de trabajo de las barreras, que limitan el ingreso de los vehículos hacia zonas de mayor riesgo.
- d. Controlar la trayectoria tras el choque: esto tiene relación con la redirección controlada post impacto de los vehículos.
- e. Evitar el cambio de dirección: después del impacto contra un sistema de contención son aceptables giros, inclinaciones y derrapes de carácter menor.
- f. Limitar la proyección de piezas sueltas: resulta deseable que durante un impacto, no se desprendan elementos del sistema de contención que pudieran generar daños a otros usuarios de las vías.

Los conceptos descritos en este punto son aplicables tanto para las barreras de contención certificadas como las no certificadas, ya que los diseños empleados en el presente manual cuentan con un desempeño conocido y avalado por la experiencia y uso de los diseños. Por lo tanto, cuando se debe determinar el tipo de barrera para una cierta ruta estos dispositivos serán alternativas equivalentes dentro del proceso de diseño. Por otra parte, se debe tener presente que en presencia de condiciones que permitan prever la ocurrencia de siniestros de mayor severidad, es recomendable escoger sistemas de contención ensayados (certificados), ya que cuentan con un respaldo empírico de su comportamiento y desempeño, mientras que aquellos que no han sido ensayados (no certificados) sólo cuentan con una estimación aproximada de cómo será su funcionamiento efectivo en terreno.

B. ÁMBITO NORMATIVO

En lo que respecta al ámbito normativo, para efectos de las barreras de contención, en este Capítulo, se entregan los criterios y especificaciones para el diseño e implementación de sistemas de contención, a ser aplicados en los caminos y carreteras.

Toda vez que se requiera la instalación de barreras Certificadas, se entenderá que corresponden a sistemas de contención que cumplen con la norma europea EN-1317/2 ó el Informe NCHRP-350 (EEUU), documentos que se incluyen como anexos a este Capítulo. Para el uso de sistemas de contención certificados, en particular, las barreras de contención, deberá adjuntarse la documentación requerida para avalar el cumplimiento de las normas antes mencionadas, según lo dispuesto en el numeral 3.3.2.4.5 (D.2.2).

C. PARÁMETROS DE DISEÑO

En general, será el nivel de contención requerido y el ancho de trabajo disponible, asociados a un tipo de vehículo, los parámetros de diseño básicos para determinar el tipo de barrera a utilizar.

C.1. Nivel de contención

El nivel de contención de una barrera de contención se entenderá como la capacidad estructural de ésta para contener y redirigir un vehículo fuera de control en forma segura. Normalmente se suele asociar con la energía de impacto para un determinado tipo de vehículo considerado como aquél más representativo de un tramo de vía.

Por razones de seguridad se debe considerar que una barrera sea capaz de desarrollar su nivel de contención para un rango importante de vehículos, los que difieren en masa, altura y forma, por lo que se suele exigir que sea capaz de contener al vehículo máximo asociado a este nivel, pero que además no presente un daño excesivo para los ocupantes de vehículos livianos. Por ejemplo, en el caso de las barreras de nivel de contención definido como Muy Alto, deben ser capaces de contener a un camión de hasta 38 toneladas (Vehículo máximo de este nivel de contención) que impacte a 65 km/h en un ángulo de 20°, pero adicionalmente debe ser capaz de contener y redireccionar en forma segura a un vehículo de 900 kg a 100 km/h en un ángulo de 20°. Cuando se menciona que este proceso de contención se desarrolla en forma segura, se está indicando en forma implícita que el daño esperado para los usuarios de los vehículos no comprometa la vida de éstos. Esto se analiza mediante la evaluación de diferentes índices de riesgo, los que deben mantenerse dentro de rangos establecidos que prevén un daño controlado y aceptable para los ocupantes de un vehículo errante.

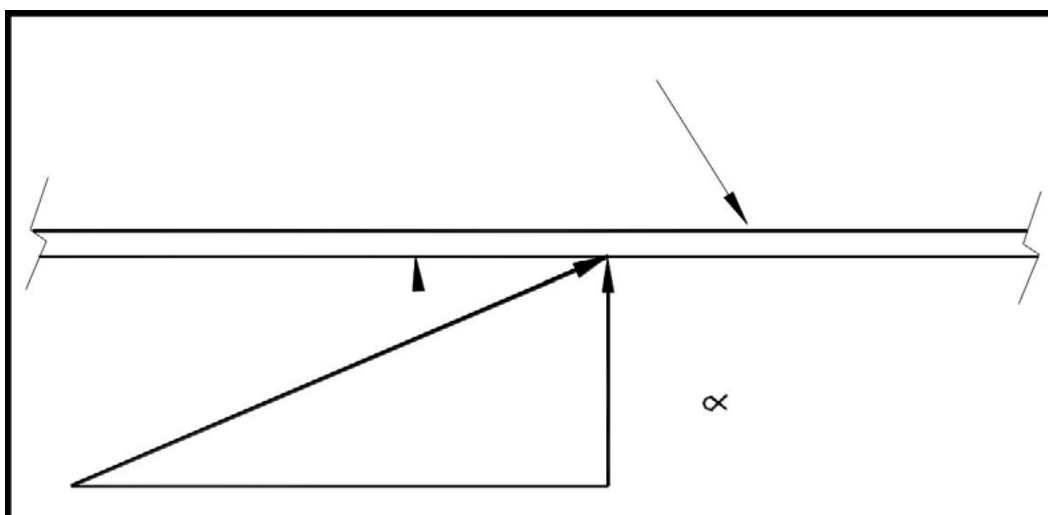
La energía de impacto (E_c), definida también como índice de severidad del impacto (I_s), corresponde a la energía cinética del móvil que impacta contra un elemento fijo, expresado como la componente ortogonal de la velocidad de desplazamiento con respecto al eje de la barrera, expresada en kilo Joule y cuya fórmula es:

$$E_c = \frac{1}{2} * (W / g) * (v * \sin \alpha)^2 \text{ (kJ)}$$

Donde:

- W = Peso del vehículo (kN)
- g = Aceleración de gravedad (m/s²)
- v = Velocidad de desplazamiento antes del impacto (m/s)
- α = Ángulo de impacto (°)

Figura 3.3.2_47. DIAGRAMA TEORICO DE IMPACTO



C.2. Ancho de Trabajo (W)

Cuando un vehículo impacta un sistema de contención, la energía de impacto, que depende del ángulo, la velocidad y la masa de éste, producirá una deformación de la barrera. Esta corresponde a un parámetro básico de diseño, denominado Ancho de Trabajo o Amplitud de funcionamiento (Working Width o "W"), que puede ser medido empíricamente durante la ejecución de una prueba de impacto directo a escala real (Crash Test).

El ancho de trabajo corresponde a la deformación asociada producto del impacto del vehículo máximo de la categoría establecida para el nivel de contención de esta barrera. Este parámetro asociado a una determinada barrera bajo ciertas condiciones de impacto, debiera ser compatible con el espacio disponible en terreno, de modo que la barrera de contención sea capaz de desarrollar en forma efectiva, sin interrupciones ni obstáculos que impidan el normal funcionamiento de ésta, pudiendo desempeñarse de acuerdo a lo proyectado. Este parámetro de diseño permite determinar la distancia que hay que respetar delante de un obstáculo fijo (elemento no traspasable) próximo a la calzada, para disponer adecuadamente un sistema de contención.

El ancho de trabajo (W), es posible determinarlo como la distancia medida desde la cara frontal de la barrera antes del impacto y la proyección del elemento más alejado del sistema después del impacto. También se puede obtener como la suma de la deflexión dinámica de la barrera (correspondiente a la deformación máxima alcanzada en el momento del impacto) más el ancho de la barrera misma. En el caso de dispositivos estrechos, la deflexión dinámica puede resultar difícil de medir, en dicho caso, puede considerarse equivalente al ancho de trabajo.

Un ejemplo gráfico del ancho de trabajo se muestra en la Figura 3.3.2_48.

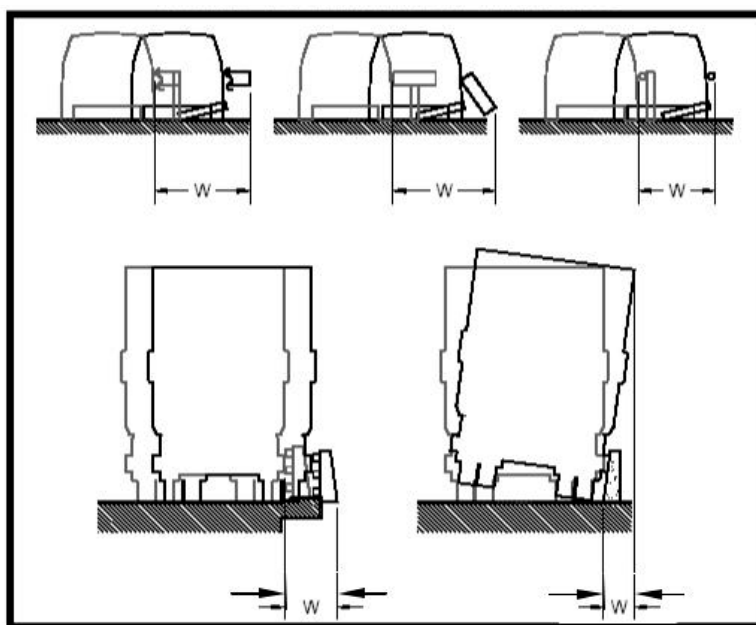


Figura 3.3.2_48. Ejemplo de ancho de trabajo

Debe tenerse presente que en vehículos altos, como camiones y buses, el ancho de trabajo (VI en la Figura 3.3.2_48 es determinado por la pérdida de verticalidad del móvil durante el impacto. Sin embargo, la norma EN-1317 establece que el ancho de trabajo del sistema sólo corresponde a la posición máxima desplazada del sistema ensayado (W), mientras que la posición final del vehículo (VI) debe quedar registrada por separado, con el propósito de establecer el espacio libre requerido en presencia de obstáculos.

El concepto de VI (intrusión del vehículo) es válido para barreras ensayadas con posterioridad a febrero de 2011 bajo el estándar EN-1317. En esta actualización de la norma mencionada se define cómo medir la intrusión del vehículo (VI) para vehículos pesados, y cómo diferenciarla de la medición del ancho de trabajo propio del sistema de contención. Ambas características deberán ser consideradas.

Toda barrera certificada bajo estándares de impacto a escala real debe ensayarse para al menos dos tipos de vehículos: liviano y el vehículo máximo asociado a la categoría del dispositivo que se está evaluando. Por ejemplo, algunas barreras diseñadas para contener vehículos pesados, también deben demostrar que funcionan adecuadamente para contener en forma segura a los vehículos livianos. Resulta evidente que el ancho de trabajo de un sistema de contención depende de la prueba de ensayo realizada, y por lo tanto, este parámetro corresponderá a la deformación así determinada para el vehículo máximo de la categoría del dispositivo ensayado, que corresponde al ensayo para determinar la capacidad estructural. Por otra parte, el ensayo realizado al vehículo liviano tiene por objetivo evaluar el potencial daño a los ocupantes del vehículo.

C.3. Tipo de Vehículos

El tercer parámetro básico de diseño, en el proceso de selección de una barrera, corresponde a la composición del tránsito de la vía. Los diferentes tipos de vehículos, se medirán como una fracción del TMDA, proyectado al año de puesta en servicio, y se agruparán de acuerdo con las siguientes categorías:

- Vehículos livianos (autos y camionetas).
- Camiones de 2 ejes, buses y taxibuses.
- Camiones de más de 2 ejes.

Paralelamente a la fracción de cada tipo de vehículos conformante del TMDA de la ruta a analizar, se deberá tener en cuenta el valor efectivo del flujo en el sector, pues pueden presentarse casos

con muy pocos vehículos lo que se traduce en la determinación de un nivel de contención eventualmente elevado para el riesgo presente en esta ruta. Específicamente, para el caso de la injerencia de los vehículos pesados, se deben emplear las Tablas 3.3.2_20, 3.3.2_21, 3.3.2_22 en las que se definen los límites de cantidad o porcentaje de vehículos para los que se hace necesario considerar un nivel de contención mayor.

Si no se cuenta con un estudio reciente, es conveniente efectuar un censo para verificar que los flujos actuales mantienen una correlación adecuada con la estadística de TMDA disponible y su tendencia en el tiempo, tanto en componentes como en cantidades. Esto resulta fundamental para comprobar que las medidas que puedan aplicarse sean representativas de la situación que existirá en la ruta.

Si se detecta que los accidentes en la ruta tienen una marcada tendencia estacional, es decir, principalmente en una época determinada del año, será ese período el que deberá ser utilizado para la evaluación del tránsito.

D. TIPOS DE BARRERAS DE CONTENCIÓN

D.1. Descripción General

Los principales tipos de barreras de contención, desde el punto de vista de su constitución, son los siguientes:

- Barrera de hormigón perfil tipo F
- Barrera metálica

- Barrera mixta metal - madera
- Barrera de cables de acero

Desde el punto de vista de su certificación, las barreras de contención se pueden dividir en certificadas y no certificadas, tipos que son tratados en los numerales 3.3.2.4.5. (D.2 y D.3) siguientes.

Cabe señalar que el numeral 3.3.2.4.5. (D.2.), se ha redactado en forma general y es válido para todo sistema de contención, que incluye no sólo barreras, sino también terminales, amortiguadores de impacto, transiciones y otros sistemas similares certificados.

D.2. Sistemas de Contención Certificados

D.2.1. Definición de un Sistema de Contención Certificado

Se entenderá que un sistema de contención es certificado, si cumple los requerimientos de una norma de ensayo internacional.

Dentro de las normas internacionales de ensayo, se pueden mencionar:

- a. Norma Europea EN 1317 (Road Restraint Systems – Part 2: Performance classes, impact test acceptance criteria and test methods for safety barriers. Part 3: Performance classes, impact test acceptance criteria and test methods for crash cushions. Part 4: Performance classes, impact test acceptance criteria and test methods for terminals and transitions of safety barriers).
- b. Report 350 NCHRP de la FHWA de Estados Unidos (Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features).
- c. Otra norma internacional, equivalente a las anteriores, reconocida por la Dirección de Vialidad.

Por otra parte, el informe de conformidad debe contener la documentación señalada y cumplir los requisitos de los Numerales 3.3.2.4.5, (D.2.2. al D.2.5)

D.2.2. Evaluación, Control y Aceptación de un Sistema de Contención Certificado

Durante el proceso de instalación del sistema de contención certificado, se deberá verificar el cumplimiento en terreno de las condiciones y especificaciones de instalación del fabricante.

Una vez instalada la barrera de contención, para su aceptación y pago la Fiscalización deberá presentar con toda la documentación descrita en el numeral 3.3.2.4.5, (D.2.4), basado en las especificaciones técnicas señaladas por el fabricante del prototipo ensayado, avalando que lo instalado en terreno tiene las mismas características de calidad de materiales, dimensiones, geometría y características de instalación del prototipo ensayado.

Independientemente de esta certificación, no se aceptarán partes con daños visibles, ni en los extremos, ni en las uniones o cualquier daño que comprometa la estabilidad, durabilidad y efectivo funcionamiento de la estructura.

La Dirección de Vialidad, representada por el Supervisor de la Obra, si lo estima necesario, podrá solicitar mayores antecedentes técnicos sobre los materiales, equipos y condiciones de la instalación. Todos los documentos requeridos deberán ser entregados en idioma español.

D.2.3. Informe de Conformidad para un Sistema de Contención Certificado

El Informe de Conformidad para el sistema de contención certificado instalado, deberá ser emitido por la Fiscalización y el Supervisor de Obra con al menos los siguientes antecedentes:

- El Documento Descripción y Condicionantes de Instalación.
- Descripción gráfica y de posición de las marcas presentes en los componentes del Sistema de Contención de Vehículos Certificado instalado que permitan identificar al fabricante. Todo Sistema de Contención de Vehículos Certificado deberá presentar marcas identificativas, claras e indelebles, que permitan determinar de manera inequívoca el origen del mismo.
- Planos generales del Sistema de Contención de Vehículos (barrera de contención o de puente, terminal atenuador, amortiguador de impactos) con descripción del esquema de instalación y tolerancias.
- Planos de todos los componentes, con dimensiones, tolerancias y especificaciones de todos los materiales del sistema instalado.
- Especificaciones técnicas y manuales de instalación traducidos al español, entregadas por el Fabricante para el sistema de contención instalado.
- Lista de chequeo efectuado por la Fiscalización y el Supervisor de Obra para verificar el cumplimiento, en terreno, de las condiciones y especificaciones del Fabricante
- Certificado de calidad de cada uno de los materiales involucrados en el sistema de contención instalado, garantizando que se cumple estrictamente con las especificaciones del prototipo ensayado, según lo indicado en el informe de la prueba de impacto.
- Certificación del sistema de seguimiento de productos, desde el país de origen hasta las dependencias que estableció el Inspector Fiscal para el acopio de piezas y partes del sistema de contención contratado. Para el caso de barreras con trazabilidad garantizada, se debe incluir el detalle de los procedimientos de control y verificación a lo largo del proceso de entrega y transporte de los elementos de origen certificado.
- En lo que respecta a calidad de materiales, se aceptará sólo la misma calidad del prototipo ensayado.

Para la aceptación del informe de conformidad de un sistema certificado, la Fiscalización deberá solicitar la aprobación formal por parte de la unidad especializada de la Dirección de Vialidad.

D.3. Barreras No Certificadas

Son barreras no certificadas aquellas que no cuenten con certificación de nivel de contención, según ensayos normalizados. La Dirección de Vialidad acepta el empleo de las indicadas en la Tabla 3.3.2_24.

E. GESTIÓN DEL RIESGO Y USO DE SISTEMAS DE CONTENCIÓN

E.1. Niveles de Riesgo

En toda vía existen diferentes situaciones que pueden afectar en distinto grado la seguridad de sus usuarios y de los habitantes del entorno. Por ello, suelen definirse niveles de riesgo en función de los distintos parámetros que los originan, siendo los más destacados, la jerarquía de la vía, los flujos de tránsito, las características geométricas de la vía y todo otro elemento presente en el entorno de la vía, que pueda significar un riesgo.

El análisis de las distintas situaciones de riesgo conduce a diferentes soluciones posibles de proyectar, que deben ser proporcionales al riesgo considerado. Cuando el riesgo sea alto, habría

que considerar el uso de sistemas de contención y cuando sea bajo o nulo, bastará con algunas medidas complementarias, como delineación o señalización de advertencia del riesgo.

En el entendido que las zonas de riesgo son aquellas áreas próximas a las calzadas, que requieren de alguna consideración especial para resguardar la seguridad de los conductores y/o de los habitantes del entorno, en general, ellas pueden ser agrupadas en dos tipos, de acuerdo con la severidad de los daños que puedan producirse:

E.1.1. Zonas de Riesgo Alto

- Son zonas de riesgo alto aquellos sectores, donde las características de la calzada o su entorno permiten prever accidentes de alta severidad. También se puede entender como zona de riesgo alto aquella de riesgo normal, donde exista, además, otro elemento de peligro, tal que eleva la severidad esperada de un accidente en dicha zona.
- Algunos ejemplos de zonas de riesgo alto se indican a continuación:
- Sectores donde personas desarrollan actividades aledañas a la ruta, sean éstas laborales, educacionales o habitacionales, con riesgo de ser alcanzadas por un vehículo fuera de control. En cada caso, la distancia considerada de riesgo para el desarrollo de las diferentes actividades, será determinada en terreno, aplicando los criterios de zona despejada descritos en 3.3.2.4.5. (E.3.).
- Accesos a puentes que atraviesen cursos de agua importantes o pasos superiores con peligro de caída a rutas de alto TMDA.
- Sectores con edificaciones ubicadas al pie de terraplenes.
- Curvas horizontales con radios menores que 250 metros en caminos, o menores a 425 metros en carreteras, para zonas de topografía accidentada, tales como acantilados, bordes de quebradas o cualquier otra singularidad geográfica que involucre un riesgo alto para la conducción.
- Tramos con pendientes mayores que 6% en zonas con curvas restrictivas ($R < R(Vp+10\%)$).
- Cepas de pasos superiores, pasarelas peatonales u otras estructuras/obstáculos fijos, como, postes y marcos, árboles de tronco de más de 10 cm DAP (diámetro a la altura del pecho), que no puedan removerse o reubicarse fuera de la zona despejada.
- Sectores próximos a aguas profundas (más de un metro de profundidad), que se ubiquen dentro de la zona despejada o con riesgo de ser invadidas por vehículos.
- Sectores con concentración de accidentes, en los que se hayan registrado al menos cuatro siniestros anuales como promedio en los últimos cinco años.
- Estanques de combustibles, torres de alta tensión, almacenamiento de productos químicos o riesgos similares, ubicados en la zona definida como despejada, sujetos a probabilidad de impacto por vehículos.
- Zonas de alto valor ecológico, según lo indicado en el MC-V9, las que no deben, bajo ninguna circunstancia, ser invadidas por vehículos motorizados.
- En aquellos casos en que se detecte la presencia de más de uno de los riesgos listados previamente, o en situaciones de riesgo o peligro particular, no consideradas en dicho listado, pero que puedan ocasionar accidentes de alta severidad, se requiere un análisis muy cuidadoso, debiendo presentarse la solución propuesta para aprobación de la Dirección de Vialidad.

E.1.2. Zonas de Riesgo Normal

Son zonas de riesgo normal aquellas áreas que no presentan alguna de las características propias de las de riesgo alto. Los accidentes que pueden generarse son de severidades catalogadas como “normales” y con daños “aceptables” a la infraestructura colindante. Corresponden normalmente a zonas de terraplenes, cortes con afloramientos rocosos, medianas, puentes y estructuras, y zonas laterales de las calzadas, no traspasables en forma segura, a causa de obstáculos o cualquier irregularidad que pueda transformarse en un punto duro factible de ser impactado por un vehículo. Entre las situaciones de riesgo se encuentran muros, tuberías, obras de arte longitudinales o transversales, fosos y cursos de agua permanente.

Los criterios para determinar la necesidad y posterior selección de sistemas de contención en cada uno de estos casos se describen en los Numerales siguientes de este Tópico.

E.2. Procedimiento de Atención del Riesgo

Dentro del proceso de diseño de medidas de mitigación, que pueden llegar a disponer barreras de contención, se recomienda emplear el siguiente procedimiento de atención de zonas de peligro o de riesgo, tanto alto como normal. En cada una de las instancias se requiere realizar un análisis, para determinar la solución más efectiva. Si no fuera posible aplicar alguna de las recomendaciones indicadas, se procederá a analizar lo considerado en la inmediatamente siguiente. El procedimiento considera al menos las siguientes instancias:

- a) La primera opción es intentar eliminar el objeto fijo o la situación peligrosa detectada. Por ejemplo:
 - Postes de electricidad se pueden eliminar efectuando un cableado subterráneo,
 - Una cámara de sifón con muros elevados podría ser eliminada rebajando esos muros a nivel de terreno natural e instalando una rejilla de protección vehicular y peatonal.
- b) La segunda opción es desplazar la situación riesgosa más allá del límite de la zona despejada definida en Numeral 3.3.2.4.5. (E.3.), de modo de minimizar el peligro que representa para el usuario de la vía. Por ejemplo:
 - Los postes de electricidad o los muros del sifón podrían ser localizados fuera de la zona despejada.
 - Un marco portaseñal sobre la calzada puede proyectarse con una mayor longitud entre apoyos, de modo que las bases de soporte se ubiquen fuera de la zona despejada.
 - Trasladar algunas especies arbóreas fuera de la zona probable de impacto de los vehículos. En este caso, se debe analizar la factibilidad de la reubicación de la especie y los costos que implica mantener y escudar de acuerdo con lo indicado en la letra d) siguiente.
- c) La tercera opción es modificar el elemento, minimizando así su peligrosidad. Por ejemplo:
 - Para el caso de postes metálicos, podrán utilizarse bases quebradizas o pernos rompibles, de modo que estos elementos no constituyan un riesgo para un vehículo fuera de control.
 - Para algunas señales de grandes dimensiones, dispuestas en zonas que no requieren barreras, se recomienda la utilización de postes colapsables de señalización.
- d) En casos especiales, como por ejemplo; árboles, postaciones, etc., ubicados en forma continua por tramos largos en el interior de la zona despejada, en vez de instalar barreras, se deberán evaluar diversas alternativas de solución, como entre otras, reducir la velocidad de operación, mediante los mecanismos indicados en la Sección 6.904 de este Volumen.

- e) De no poder materializar cualquiera de las opciones anteriores, el proyectista tendrá que seleccionar un sistema de contención para proteger a los usuarios del peligro.
- f) Excepcionalmente, cuando no se pueda aplicar ninguna de las acciones indicadas en las instancias previas de esta secuencia, o si se puede documentar que el peligro de chocar contra una barrera es igual o mayor que impactar con el objeto fijo, previa aprobación de la Dirección de Vialidad, se deberá delinear y destacar claramente el objeto o la zona de riesgo, asegurando que el conductor pueda visualizarlo a una distancia adecuada.

Esta última opción también se puede aplicar en otras situaciones particulares de riesgo, donde no sea posible instalar adecuadamente un determinado sistema de contención, ya sea porque no es técnicamente factible su instalación, o no se encuentra disponible un modelo de barrera que presente los anchos de trabajo requeridos dada la geometría existente en dicho tramo de ruta.

La delimitación del riesgo, como medida mínima de advertencia a los usuarios, deberá considerar el uso de delineadores verticales, a lo largo de la extensión de la singularidad que se desea advertir. En caso de vías bidireccionales, estos elementos deberán ser dobles, para ser advertidos desde ambos sentidos del tránsito.

Dentro de las posibles soluciones se deberá considerar entre otras medidas:

- Aumento del nivel de contención del sistema a proponer.
- Rediseño del entorno y modificación de los riesgos identificados.
- Otras medidas tendientes a reducir la probabilidad de impacto en la zona particular de riesgo identificado.

E.3.Zona Despejada

Un concepto esencial que debe considerar el proyectista es el de zona despejada de una ruta. Ello, en atención a que si no median situaciones de riesgo alto, las zonas laterales que cumplan con la condición de zona despejada no requieren de sistemas de contención.

E.3.1. Definición de Zona Despejada

Se define como zona despejada aquella área paralela al eje de la calzada, a contar del borde de ésta hacia el exterior, en la que, en caso de perder el control del vehículo, el conductor pueda retornarlo a la vía o detenerse sin riesgo de sufrir daños de importancia. Por lo tanto, en la zona despejada no pueden localizarse elementos que constituyan obstáculos, zonas infranqueables o “puntos duros” equivalentes a elementos que, de ser impactados, puedan producir mayores daños que los correspondientes a una barrera de contención.

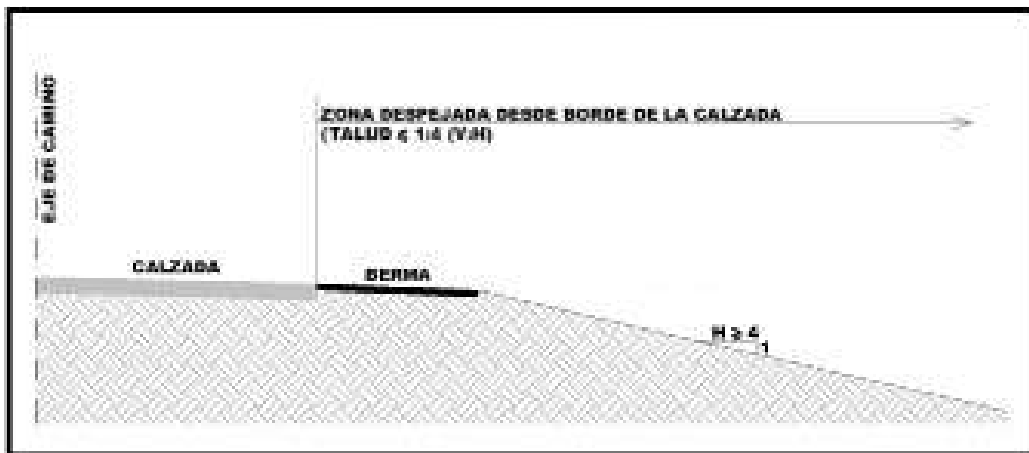
Se entenderán como zonas infranqueables las singularidades riesgosas, que a pesar de no sobresalir de la superficie como un obstáculo, impedirían el paso de un vehículo fuera de control, tales como cunetas profundas, canales, fosos, ríos, lagunas, etc. Un punto duro corresponde a todo elemento, natural o artificial, que puede generar grandes daños a los vehículos y/o sus ocupantes en caso de ser impactado, como por ejemplo; afloramientos de roca, muros de obras de arte, muros de contención, postes, árboles, etc.

E.3.2. Condiciones de Terraplenes y Cortes para Formar Parte de una Zona Despejada

Una zona lateral deberá cumplir con las características descritas a continuación para ser considerada zona despejada.

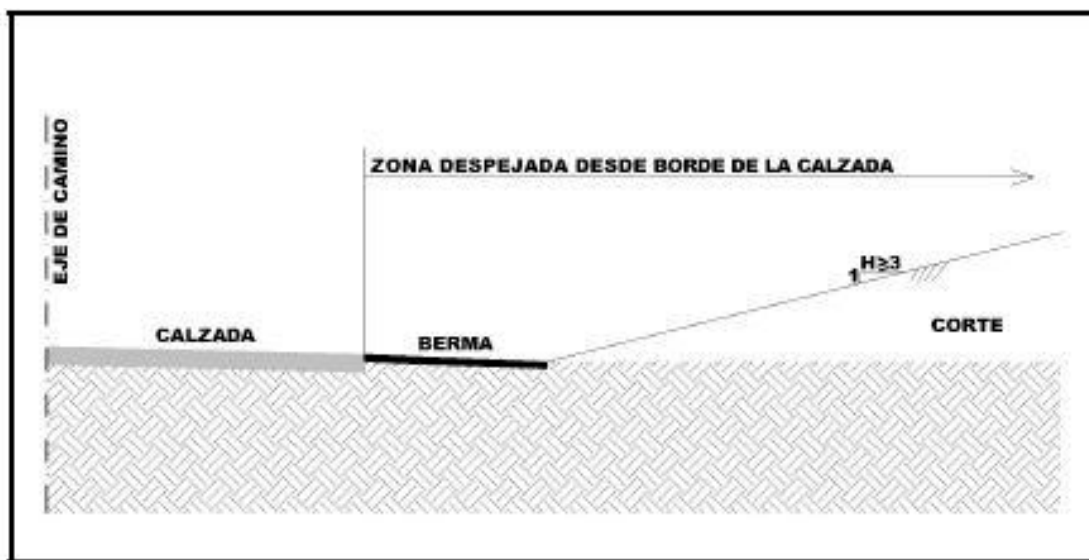
Sectores de Terraplén: para que un terraplén sea considerado como parte de una zona despejada, deberá contar con un talud traspasable y recuperable, es decir, un talud de 1:4 (V:H) o más tendido.

Figura 3.3.2_49. ZONA DESPEJADA EN TERRAPLEN



Sectores de Corte: se aplica esencialmente a cortes en terreno de cualquier naturaleza (TCN), incluyendo los taludes positivos del terreno natural, aunque no se formen como consecuencia de obras de movimiento de tierra; para que pueda formar parte de una zona despejada, deberá contar con un talud de 1:3 (V:H) o más extendido.

Figura 3.3.2_50. ZONA DESPEJADA EN CORTE



E.3.3. Dimensiones de la Zona Despejada

La dimensión de una zona despejada es función de las siguientes variables de entrada:

- Velocidad de proyecto TMDA
- Radio de curvatura horizontal
- Talud del terraplén
- Talud del corte

En la Tabla 3.3.2_17 se entregan los valores del ancho de una zona despejada, determinado en función del volumen de tránsito (TMDA) de la vía, la velocidad de proyecto del tramo y las condiciones topográficas de la zona lateral.

Tabla 3.3.2_17. ANCHO DE LA ZONA DESPEJADA (m)

Velocidad de Proyecto (km/h)	TMDA Diseño	Talud Terraplén (V:H)		Talud Cortes (TCN) (V:H)		
		1:6 ⁽¹⁾	1:5 a 1:4	1:3	1:5 a 1:4	1:6 ⁽¹⁾
< 60	<750	2,0 - 3,0	2,0 - 3,0	2,0 - 3,0	2,0 - 3,0	2,0 - 3,0
	750-1.500	750-1.500	3,5 - 4,5	3,0 - 3,5	3,0 - 3,5	3,0 - 3,5
	1.500-6.000	1.500-6.000	4,5 - 5,0	3,5 - 4,5	3,5 - 4,5	3,5 - 4,5
	>6.000	4,5 - 5,0	5,0 - 5,5	4,5 - 5,0	4,5 - 5,0	4,5 - 5,0
70 - 80	<750	3,0 - 3,5	3,5 - 4,5	2,5 - 3,0	2,5 - 3,0	3,0 - 3,5
	750-1.500	750-1.500	5,0 - 6,0	3,0 - 3,5	3,5 - 4,5	4,5 - 5,0
	1.500-6.000	5,0 - 5,5	6,0 - 8,0	3,5 - 4,5	4,5 - 5,0	5,0 - 5,5
	>6.000	6,0 - 6,5	7,5 - 8,5	4,5 - 5,0	5,5 - 6,0	6,0 - 6,5
90	<750	3,5 - 4,5	4,5 - 5,5	2,5 - 3,0	3,0 - 3,5	3,0 - 3,5
	750-1.500	750-1.500	6,0 - 7,5	3,0 - 3,5	4,5 - 5,0	5,0 - 5,5
	1.500-6.000	6,0 - 6,5	7,5 - 9,0	4,5 - 5,0	5,0 - 5,5	6,0 - 6,5
	>6.000	6,5 - 7,5	8,0 - 10,0 ⁽²⁾	5,0 - 5,5	6,0 - 6,5	6,5 - 7,5
100	<750	5,0 - 5,5	6,0 - 7,5	3,0 - 3,5	3,5 - 4,5	4,5 - 5,0
	750-1.500	750-1.500	8,0 - 10,0 ⁽²⁾	3,5 - 4,5	5,0 - 5,5	6,0 - 6,5
	1.500-6.000	8,0 - 9,0	10,0 - 12,0 ⁽²⁾	4,5 - 5,5	5,5 - 6,5	7,5 - 8,0
	>6.000	9,0 - 10,0 ⁽²⁾	11,0 - 13,5 ⁽²⁾	6,0 - 6,5	7,5 - 8,0	8,0 - 8,5
110 ⁽³⁾	<750	5,5 - 6,0	6,0 - 8,0	3,0 - 3,5	4,5 - 5,0	4,5 - 4,9
	750-1.500	7,5 - 8,0	8,5 - 11,0 ⁽²⁾	3,5 - 5,0	5,5 - 6,0	6,0 - 6,5
	1.500-6.000	8,5 - 10,0 ⁽²⁾	10,5 - 13,0 ⁽²⁾	5,0 - 6,0	6,5 - 7,5	8,0 - 8,5
	>6.000	9,0 - 10,5 ⁽²⁾	11,5 - 14,0 ⁽²⁾	6,5 - 7,5	8,0 - 9,0	8,5 - 9,0

(1): 1:6 (V:H) o más tendido

(2): Cuando un estudio técnico, elaborado de acuerdo a lo indicado en el Capítulo 6.1100 de este Volumen, determine que existe una alta probabilidad de accidentes, se pueden diseñar zonas laterales de ancho superior a 9 m.

(3): A la fecha no existen antecedentes para velocidades mayores a 110 km/h; por lo tanto, cuando correspondan velocidades de 120 km/h o más, se deberá efectuar un estudio técnico, elaborado de acuerdo a lo indicado en este Volumen, que justifique los valores a utilizar.

Cuando se requiera determinar una zona despejada en un sector aproximadamente plano, se adoptarán los valores indicados para taludes de terraplén en la columna correspondiente a taludes 1:6 (V:H).

Por otro lado, el ancho de esta zona despejada en curvas se debe ajustar, utilizando un factor que incorpore el efecto del radio de curvatura y velocidad de proyecto del tramo, antecedente que se obtiene a partir de la Tabla 3.3.2_18.

Tabla 3.3.2_18. FACTOR POR EFECTO DE RADIO DE CURVATURA Y VELOCIDAD DE PROYECTO

Radio (m)	Velocidad de Proyecto (km/h)					
	60	70	80	90	100	110
900						1.05
700					1.05	1.15
600					1.10	1.25
500				1.10	1.20	1.30
450				1.15	1.25	1.40
400			1.05	1.20	1.30	
350			1.10	1.25	1.40	
300		1.05	1.15	1.35	1.50	
250		1.10	1.30	1.50		
200	1.10	1.20	1.45			
150	1.20	1.40				
100	1.50					

Con esta información, se pueden definir los límites de la zona despejada a lo largo de la ruta. Esto quiere decir que elementos o situaciones de peligro, ubicados fuera de los límites definidos, no constituyen una condicionante para la instalación de elementos de contención, salvo que existan otras características especiales en la vía o su entorno, que requieran que el proyectista reevalúe esos límites, como por ejemplo, pavimento resbaladizo, zona de fuertes vientos, neblina, hielo o nieve, súbitas restricciones de ancho del camino, etc.

E.4. Criterios para la Instalación de Barreras en Terraplenes

Los principales factores que inciden en la ocurrencia o severidad de los accidentes en terraplenes son su talud, su altura y la presencia de radios de curvatura horizontal comprendidos entre el radio mínimo para la Velocidad de Proyecto (V_p) y el radio mínimo correspondiente a (V_p+10 km/h).

En general, se considera que pueden requerirse barreras de contención en caso de taludes más pronunciados que 1:3 (V:H).

Los taludes de terraplén con pendientes comprendidas entre 1:3 y 1:4 (V:H) se consideran “traspasables”, es decir, se espera que un vehículo que se sale de la plataforma de una vía, pueda, en la mayoría de los casos, descender por el talud, incluso hasta el pie del terraplén, y detenerse sin volcarse, habida consideración de que en su trayecto no existan obstáculos ni situaciones de riesgo.

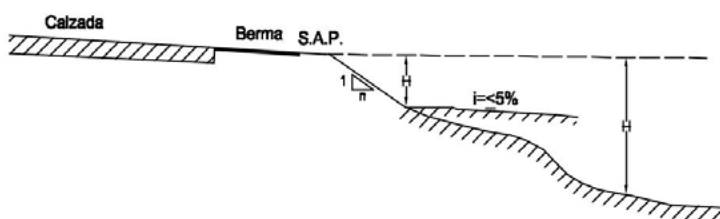
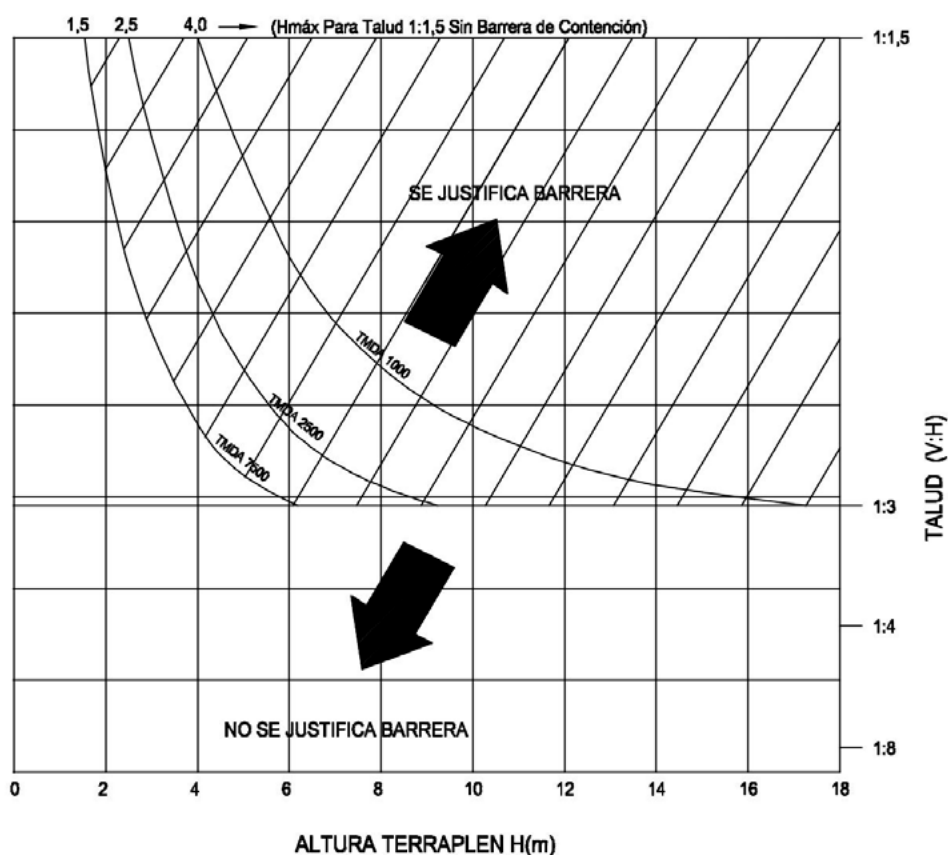
Taludes de terraplén con pendiente más suave, menor o igual a 1:4 (V:H), se consideran “recuperables”, es decir, un conductor que ha perdido el control del vehículo, tiene la posibilidad de retornar a la plataforma del camino, siempre que en su trayecto no existan obstáculos ni situaciones de riesgo. Si bien esto se cumple con mayor seguridad en la medida en que más tendido sea el talud, se debe analizar el costo involucrado para materializarlo, en comparación con la instalación de un sistema de contención apropiado.

Taludes más pronunciados que 1:3 (V:H) se consideran zonas críticas o de volcamiento, pues un vehículo errante podría volcarse al circular por ellos. Aunque estos taludes son identificados como taludes no traspasables, son los taludes más empleados en el diseño de los caminos nacionales, ya que son los que se han utilizado en el diseño vial por largo tiempo en nuestro país. Teniendo en cuenta lo anterior, se puede establecer un nivel aceptable de riesgo, en función de otros parámetros adicionales, ya que si se aplican las recomendaciones internacionales para taludes seguros, se debería considerar el uso de barreras en casi la totalidad de la red nacional,

sin hacer diferencia entre carreteras de alto estándar y caminos de bajo tránsito, lo que finalmente se traduce en un excesivo aumento del costo de elementos de seguridad vial para la red nacional.

En particular, si se considera el uso de la figura 3.3.2_51, elaborada adaptando los conceptos del documento "Roadside Design Guide – AASHTO, enero 1996", es factible aplicar criterios mínimos para la instalación de barreras de contención en terraplenes con taludes de entre 1:1,5 y 1:3 (V:H), en función de su altura y del TMDA de la vía, bajo consideración implícita de los radios de curvatura cercanos al mínimo. El empleo de la Lámina se explica a continuación.

Figura 3.3.2_51. Función del tránsito y de la altura de terraplen



E.4.1. Consideraciones Según Tránsito y Altura de Terraplén

- La altura del terraplén H (m), se mide entre el borde exterior del SAP y el pie del terraplén, siempre que la pendiente del terreno natural sea menor o igual que 5%. Para pendientes mayores, la altura se considera hasta el pie de la ladera, fondo de quebrada, curso de agua, etc., según sea la morfología del terreno.

- El TMDA a considerar será el correspondiente al año de puesta en servicio de las nuevas obras, para cualquier tipo de Proyecto. Además, bajo 1.000 veh/día y sobre 7.500 veh/día, rige el mismo H máximo indicado para dichos límites.
- Si se trata de una calzada bidireccional, se considerará el TMDA de la ruta. En cambio, en calzadas unidireccionales, se considerará sólo el flujo correspondiente a cada una de las calzadas, lo que se puede evaluar en general como 50% del TMDA del total de la ruta. En el caso que este porcentaje no se considere representativo, se deberá efectuar el estudio de tránsito por calzada.
- El gráfico se utiliza leyendo directamente los valores de la altura de terraplén H en función del talud considerado, en los casos en que se trate de un trazado en recta o con curvas cuyo radio sea mayor que aquel correspondiente a $V_p + 10$ km/h. Para radios comprendidos entre los radios mínimos asociados a V_p y $(V_p + 10)$ km/h, los valores de H leídos en el gráfico se reducen a 50%.
- Sin embargo, deberá considerarse la instalación de una barrera de contención, cuando al pie del talud exista una situación de riesgo alto, según Numeral 3.3.2.4.5. (E.1.) Niveles de Riesgo de este Capítulo.

E.4.2. Ejemplos de Aplicación

En la determinación de los sistemas de contención para una determinada zona de riesgo, resulta útil el uso de un resumen de las variables de entrada. A modo de ejemplo, se indican a continuación las atingentes para el proceso de evaluación de la necesidad de barreras en terraplenes:

a) Caso 1: Variables de entrada:

Tránsito: TMDA \leq 800 veh/día (asociado a la curva de TMDA 1000)
 Zona de Riesgo: Terraplén
 Talud: 1:1,5 (H:V)
 Geometría específica: Trazado en rectas o curvas con Radios $>$ Radio de $(V_p + 10)$ km/h
 Calzada: Bidireccional.
 Hmáx: 4,0 m (obtenido de la figura 3.3.2_51)

Hmáx corresponde a la altura máxima de este terraplén que no requiere barrera, para este tipo de zona de riesgo y los valores de las restantes variables de entrada para este ejemplo particular. Ello, sin perjuicio de que se pueda requerir una barrera por condición de riesgo alto.

b) Caso 2: Variables de entrada:

Tránsito: TMDA \leq 800 veh/día (asociado a la curva de TMDA 1000)
 Zona de Riesgo: Terraplén
 Talud: 1:1,5 (H:V)
 Geometría específica: Trazado en curvas con Radios \leq Radio de $(V_p + 10)$ km/h
 Calzada: Bidireccional.
 Mmax: 2,0 m (obtenido de la figura 3.3.2_51 y según consideración 3.3.2.4.5. (E.4.1), reducción de H a 50% por curva restrictiva)

En ambos casos, si la altura de un terraplén proyectado o existente, con las variables de entrada indicadas, supera los límites mencionados, se debe instalar barrera de contención o tender al menos el talud a 1:3 (V:H). La decisión de hacer lo uno o lo otro se deberá tomar comparando el costo de tender el talud, más el costo de expropiación adicional, versus el costo de instalar la barrera, incrementado en 30% por concepto de reposición y mantenimiento.

c) Caso 3: Variables de entrada:	
Tránsito:	TMDA = 5.000 veh/día (interpolación entre curvas 2.500 y 7.500 veh/día)
Zona de Riesgo:	Terraplén
Talud:	1:1,5 (H:V)
Geometría específica: Trazado en rectas o en curvas con Radios > Radio de (Vp +10 km/h)	
Calzada:	Bidireccional.
Hmax:	2,0 m (obtenido de la figura 3.3.2_51)
d) Caso 4: Variables de entrada:	
Tránsito:	TMDA = 5.000 veh/día (se interpola entre curvas 2.500 y 7.500 veh/día)
Zona de Riesgo:	Terraplén
Talud:	1:1,5 (H:V)
Geometría específica: Trazado en curvas con Radios ≤ Radio de (Vp +10 km/h)	
Calzada:	Unidireccional (implica que TMDA de cálculo = TMDA/2 = 2.500 veh/día).
Hmax:	1,25 m (obtenido de la Figura 3.3.2_51 (2,5m) y según consideración 3.3.2.4.5. (E.4.1), reducción de H a 50% por curva restrictiva)

De igual modo que los casos anteriores, si la altura de un terraplén con las características descritas es mayor que el H_{máx} calculado, se deberá optar por instalar una barrera de contención o tender al menos el talud en la proporción 1:3 (V:H).

Para aquellos terraplenes en que no se supere el valor de H_{máx} calculado, no se requiere de barreras para este tipo de zona de riesgo, a menos que se esté en presencia de riesgo alto, que haga necesaria la instalación de un sistema de contención.

Para aquellos terraplenes cuya altura no amerite la disposición de barreras, pero se encuentren próximos al valor de H_{máx} (>80% de H_{máx}), al menos se deberá aplicar alguna medida de gestión de riesgo, como instalar delineadores verticales en el borde de la calzada o berma, según sea el caso, para advertir la presencia de una zona particular que requiere la atención de los usuarios.

E.4.3. Consideraciones Adicionales en Terraplenes

Nótese que para taludes más tendidos que 1:3 (V:H) no se requiere barrera de contención, cualquiera sea la altura del terraplén; sin embargo, para alturas de terraplén en el orden de 3,0 a 4,0 m, el tendido del talud resulta en general de mayor costo o en el orden del valor de la barrera.

En aquellos casos en que exista exceso de material de corte adecuado para construir terraplenes, o que el material esté disponible muy próximo al camino (como es el caso de algunas rutas del Norte Grande del país), se deberá propender a tender los taludes a 1:3 ó 1:4 (V:H), aun cuando la altura del terraplén sea menor que H_{máx} determinado en la Lámina.

E.5. Criterios para la Instalación de Barreras en Mediana

Las barreras en la mediana son barreras longitudinales usadas para separar tránsitos enfrentados en carreteras divididas. La principal diferencia con las barreras laterales es que éstas están diseñadas para ser impactadas por ambos costados.

Debe precisarse que la mediana, en términos de la seguridad vial, se considera como aquella sección de la vía entre calzadas. Es decir, incluye las bermas interiores y el espacio entre estas bermas. Los criterios sobre mediana se aplican también a los espacios entre carreteras y calles locales próximas, ubi-cadas dentro de la zona despejada de aquéllas.

E.5.1. Necesidad de Barreras en Mediana

Al igual que en otros tratamientos de zonas de riesgo, para determinar si se requiere o no el uso de una barrera en la mediana, resulta conveniente definir aquellas variables de entrada pertinentes para el proceso de selección y de definición de este sistema de contención.

Para determinar el tipo de solución requerida para la mediana de una determinada ruta, se debe contar con al menos, la siguiente de información:

Tránsito: TMDA (veh/día)

Tipo de Ruta: carretera o camino Velocidad de Proyecto (km/h)

Geometría de la zona: recta o curva con velocidad > (Vp+10%), curvas con velocidad < (Vp+10%)

Ancho mediana (m)

Taludes de la mediana: relaciones H:V

Materialidad de la mediana: dimensión y características de las bermas interiores, espacio entre bermas y tipo de material empleado en ella.

La necesidad de la instalación de una barrera en la mediana será función del ancho disponible, la velocidad de proyecto y el TMDA de la vía, de acuerdo a lo indicado en la Tabla 3.3.2_19.

Tabla 3.3.2_19. ANCHO MINIMO EN MEDIANA PARA NO REQUERIR BARRERAS

Velocidad de Proyecto (km/h)	TMDA	Ancho Mínimo en Mediana para No Requerir Barrera (m)
60	7500	6.0
	>7500	7.0
70-80	7500	8.0
	>7500	9.0
≥ 90	7500	9.0
	>7500	9.0

La Tabla 3.3.2_19, muestra las condiciones para no requerir sistema de contención en la mediana; por lo tanto, en aquellos casos en que no se cuente con las dimensiones indicadas en dicha Tabla, se deberán proyectar barreras en esta zona de riesgo normal.

Los valores indicados en la Tabla anterior consideran una mediana traspasable y libre de obstáculos. En aquellos casos en que existan obstáculos en la mediana y que no puedan removerse, el ancho de la mediana se medirá como la distancia entre el borde de la calzada y la cara próxima al tránsito del obstáculo indicado. Esta distancia será el espacio disponible para disponer barreras de contención.

Ejemplos de lo señalado se observan en:

Presencia de sistemas de iluminación dispuestos en la mediana (ya sea en su eje o en sus márgenes), en que la materialidad de los postes constituyen puntos fijos infranqueables, por lo que no es factible aplicar las dimensiones de la Tabla anterior.

Estribos o cepas de estructuras desniveladas.

Cunetas centrales no traspasables con profundidades superiores a 15cm. Soportes de marcos de señales aéreas.

Taludes no traspasables.

En estas situaciones, debe considerarse un sistema de contención cuyo ancho de trabajo sea compatible con el espacio disponible antes indicado.

E.5.2. Barreras Mínimas o de Segregación

No obstante lo indicado en la Tabla 3.3.2_19, ante la necesidad de impedir el viraje de los vehículos, se deberá utilizar barreras por condiciones de segregación, con nivel de contención mínimo, correspondiente al nivel definido como LIVIANO según las Tablas 3.3.2_24 y 3.3.2_25. La barrera a proyectar en estos casos, podrá corresponder a dos barreras laterales o a una barrera simétrica central. Esto último deberá evaluarse en función de la presencia de obstáculos fijos en la mediana (que no sean posibles de remover), como también el ancho disponible de modo que exista compatibilidad de los anchos de trabajo de los sistemas propuestos. En la elección de barreras de segregación, se recomienda el uso de barreras metálicas simétricas y barreras de cables de acero en el eje de la mediana. Ambos casos presentan ventajas de costos y desde el punto de vista de la efectividad ante impactos. El uso de una sola barrera lateral al costado de la mediana, requerirá de un análisis adicional para evitar el impacto de los vehículos en el costado no protegido de este tipo de barreras.

E.5.3. Disposición en Calzadas Desniveladas

Se debe prestar especial atención a la necesidad de barreras para medianas que separan calzadas a diferentes alturas. La capacidad de retornar el control desde la calzada más alta, disminuye a medida que aumenta la diferencia de altura de las calzadas. Por lo tanto, las posibilidades de atravesar la mediana también aumentan.

Cuando se requiere disponer barreras en este tipo de vías y con medianas angostas, se recomienda el uso de la solución indicada en la Lámina 3.3._1 (Anexo). En otros casos, cuando se desea disponer barreras metálicas simples en ambos costados de la mediana, se debe verificar la compatibilidad de los anchos de trabajo combinado de ambos sistemas, ya que pueden encontrarse tan próximos entre sí que se afecte el normal desempeño de las barreras de contención.

También deben analizarse aquellos casos en que se suman dos o más elementos particulares de riesgo, por ejemplo, calzadas desniveladas en rutas con velocidades mayores a 100 km/h y en zonas de curvas con radios próximos al asociado a la velocidad de proyecto. En estos casos, se deberá proponer una solución particular en cuanto a la disposición de los sistemas de contención, considerando los niveles de contención y anchos de trabajo de la o las barreras a proyectar. Dicha proposición deberá contar con la aprobación de la Dirección de Vialidad.

E.5.4. Consideraciones Adicionales en Medianas

La barrera de hormigón es la barrera rígida para medianas más común en la actualidad. Su popularidad se basa en su costo de ciclo de vida relativamente bajo, un desempeño en general efectivo, y características que no requieren mantenimiento. Los diseños de las barreras de hormigón varían en forma, tipo de construcción y refuerzos considerados.

Debe precisarse que existen diferencias en la capacidad de contención de las barreras de hormigón, dependiendo de su disposición, configuración base y método constructivo. Tal es el caso de las barreras modulares prefabricadas, comparadas con las barreras fabricadas en sitio. Se estima que para las primeras, su nivel de contención puede considerarse del tipo Medio, independiente de la altura de cada módulo. Mientras que las barreras de hormigón construidas en sitio pueden alcanzar un nivel de contención Alto, si se considera el diseño con altura de 1070 mm (32").

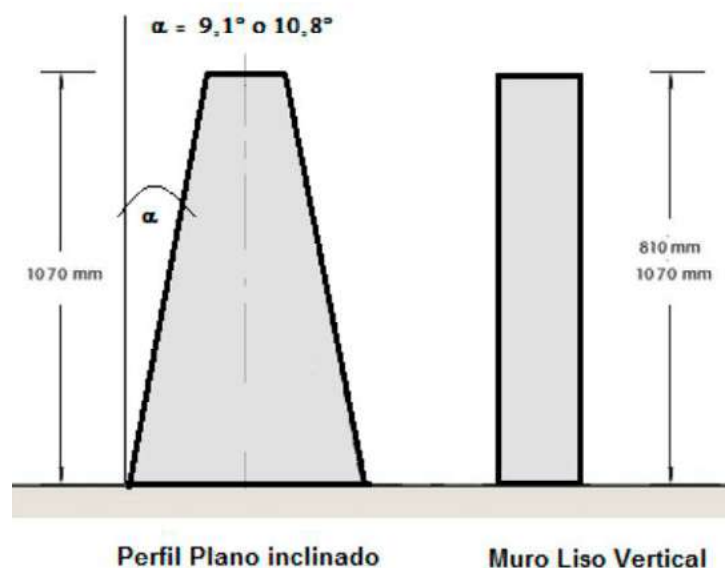
Estudios internacionales han demostrado que las variaciones en la cara de la barrera de hormigón pueden tener un efecto significativo en el desempeño de la barrera. El perfil de las barreras de hormigón que cumplen con los criterios de la norma NCHRP Informe 350 son:

- El perfil New Jersey (se ha descartado su uso en Chile, dados los problemas que presenta ante la excesiva elevación de los vehículos tras un impacto).
- La denominada forma F.
- La barrera de pendiente única o de plano inclinado (existiendo dos variaciones de pendiente).
- La pared lisa vertical. De acuerdo con las recomendaciones de la Federal Highway Administration (FHWA), la solución de pared lisa vertical se puede emplear como última alternativa, dado el importante daño provocado a los usuarios de los vehículos. Además, para su uso debe considerarse una disposición de armaduras tal que garantice una adecuada fundación, y por ende, un correcto comportamiento.

Estas formas pueden ser consideradas con nivel de contención TL -4 (Medio) a la altura estándar de 810 mm y diseño con nivel de contención TL- 5 (Muy Alto) a alturas de 1070 mm o superiores, si en su configuración se emplean las dimensiones, refuerzos y detalles de fundación sean equivalentes a las de diseños exitosamente ensayados.

En la Figura 3.3.2_52 se aprecian las diferencias entre los diferentes perfiles para barreras de hormigón.

Figura 3.3.2_52. Perfiles de Seguridad para Barreras de Hormigón para Medianas.



Los perfiles de las barreras de hormigón mostrados en la Figura 3.3.2_ 52 difieren entre sí, tanto por la severidad esperada, como en el comportamiento de los vehículos durante el impacto. Los perfiles mostrados permiten realizar la contención de vehículos errantes, pero las de perfil de seguridad (perfil F) tienen una menor severidad que las de plano inclinado, y a su vez éstas, una menor severidad que los muros lisos verticales.

Para la disposición de barreras en la mediana, también resulta aplicable el procedimiento de atención del riesgo establecido en Numeral 3.3.2.4.5. (E.2.), teniendo en cuenta que algunas situaciones de riesgo particular pueden afectar el desempeño de los sistemas de contención. Por ejemplo, en zonas de curvas restrictivas, en que $R < R (V_p + 10)$, los ángulos probables de impacto pueden ser cercanos e incluso superiores a los ensayados (25°). Además, en presencia de zonas de velocidad ≥ 100 km/h, sería esperable un aumento de la severidad del impacto. Por lo tanto, se deben evaluar y proponer alternativas en que se aborde globalmente la complejidad del problema, pudiendo considerarse entre otras medidas, la reducción de velocidad en el tramo, el cambio de barreras por otras con menor severidad y/o la reubicación de los ejes de contención inicialmente proyectados.

E.5.5. Espacio entre Vía Expresa y Calles de Servicio

El espacio existente entre una vía expresa y una calle de servicio, ubicada dentro de la zona despejada de la primera, se tratará en forma similar a una mediana, si se dan condiciones análogas tanto físicas como de tránsito. En este caso, el TMDA a considerar será la suma de los vehículos diarios de la calzada expresa y de la calle de servicio que circulen en sentido contrario.

E.6. Barreras en Puentes y Estructuras

La aplicación de los conceptos de gestión del riesgo en puentes y estructuras es diferente en el caso de obras nuevas o existentes, según se explica a continuación.

Tratándose de puentes y estructuras nuevos, se realizará el proceso de detección del nivel de riesgo, según se establece en el Numeral 3.3.2.4.5. (E.1.), para luego disponer un sistema de contención compatible con el riesgo observado, siguiendo las indicaciones del numeral 3.3.2.4.5 (F). Se evaluará el uso de las barreras incluidas, o de barreras certificadas bajo estándares de impacto internacionales, y que satisfagan el nivel de contención necesario. En este último caso, se deberá verificar que la barrera propuesta cuente con sistemas de anclaje, tanto para disponer sobre la estructura (anclajes con pernos y postes placa), como para las aproximaciones a ella (disposición con postes hincados). Alternativamente, podrán disponerse barreras con otros sistemas de anclaje compatibles con la estructura a proteger.

Las eventuales barreras anteriores y posteriores al puente deberán contar con un nivel de contención igual al de las del puente. Para las conexiones entre ellas, véase el numeral 3.3.2.4.5. (M).

En los casos de estructuras existentes, en las que por su antigüedad, incapacidad estructural o materialidad, no sea factible la instalación del sistema de contención que correspondería a una obra nueva, porque afectarían su estabilidad estructural debido a su peso o ante el impacto de un vehículo errante, se aplicará lo indicado en el Numeral 3.3.2.4.5. (E.2.) , en lo relativo a la delineación y delimitación de zonas de riesgo.

E.7. Zonas Laterales

Toda zona lateral de camino o carretera, no considerada en los Números 3.3.2.4.5. (E.4, E.5 y E.6), será objeto de análisis para determinar si satisface las características de zona despejada, establecidas en Numeral 3.3.2.4.5. (E.3). En caso afirmativo, no se requiere instalar barreras de contención. En caso negativo, se les aplicará el procedimiento de atención del riesgo indicado en el Numeral 3.3.2.4.5. (E.2), lo que eventualmente puede determinar la necesidad de un sistema de contención.

F. SELECCIÓN Y DISEÑO DE UNA BARRERA DE CONTENCIÓN

F.1. Niveles de Contención

Uno de los parámetros más importantes de un sistema de contención, lo constituye el Nivel de Contención, que es aquél que permite establecer la resistencia estructural de aquellos elementos encargados de contener y redireccionar en forma segura a un determinado vehículo fuera de control. Este parámetro se determinará en función de la zona de riesgo a tratar, en conjunto con otras variables de entrada particulares, que se deberá evaluar en cada caso.

A modo explicativo, y sin corresponder necesariamente a una clasificación exhaustiva, se distinguen los siguientes niveles de contención:

- **Nivel de Contención Liviano:** corresponde a sistemas capaces de contener vehículos de hasta 2.000 kg, a 100 km/h, o de vehículos de hasta 1.500 kg, a 110 km/h.
- **Nivel de Contención Medio:** corresponde a sistemas capaces de contener vehículos de hasta 10.000 kg, a 70 km/h.
- **Nivel de Contención Medio Alto:** corresponde a sistemas capaces de contener vehículos de hasta 13.000 kg, a 70 km/h.
- **Nivel de Contención Alto:** corresponde a sistemas capaces de contener vehículos de hasta 16.000 kg, a 80 km/h.
- **Nivel de Contención Muy Alto:** corresponde a sistemas capaces de contener vehículos de hasta 38.000 kg, a 65 km/h.

En las Tablas 3.3.2_24 y 3.3.2_25 se clasifican algunos tipos de barreras y sus principales características, desde donde es posible determinar aquellos sistemas que se ajustan a las características de una determinada zona de riesgo y el tipo de vehículo recurrente en dichas vías.

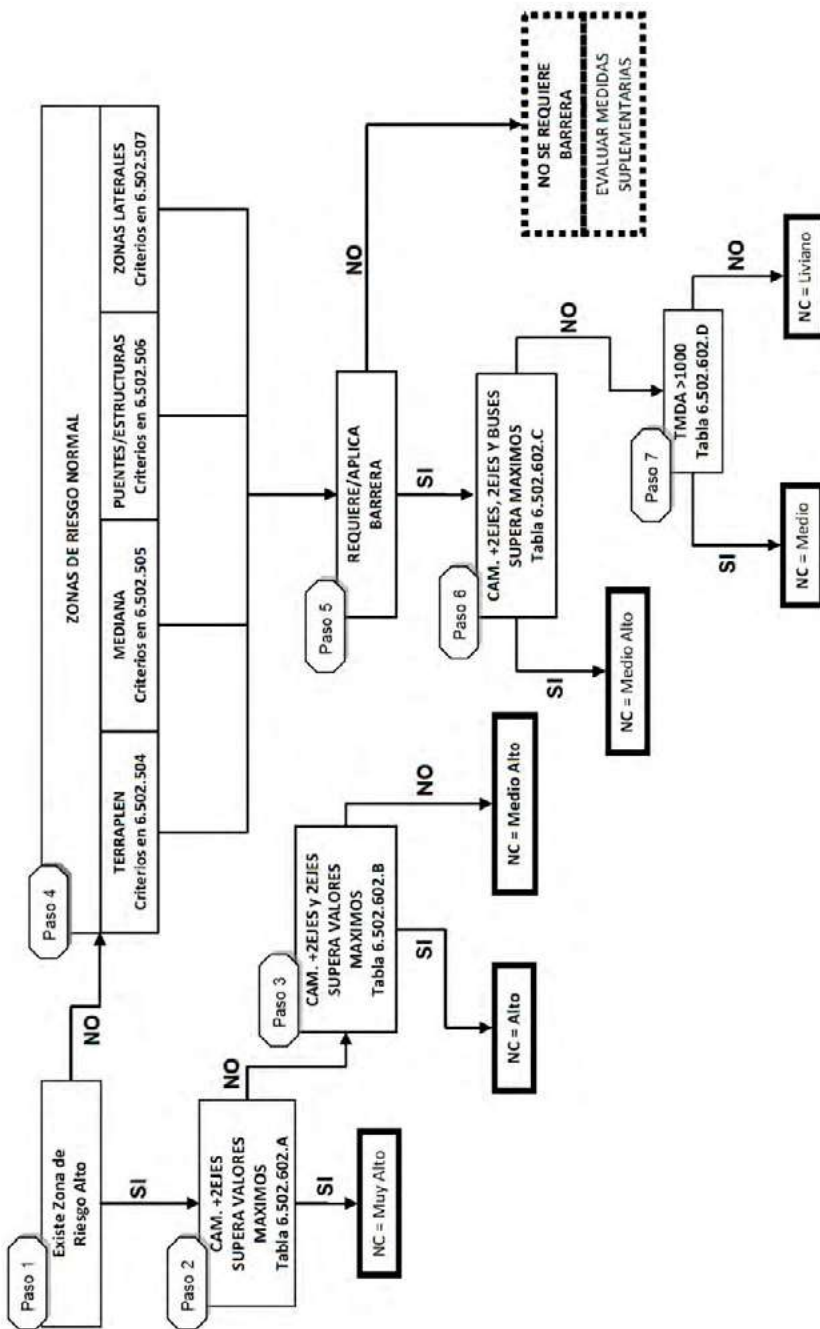
F.2. Detección de Necesidad y Tipo de Barrera

Se definen varios pasos a seguir para diseñar una barrera de contención, tendientes a determinar la necesidad efectiva de su instalación, como también, determinar sus características.

Antes de aplicar este procedimiento de necesidad y/o selección, debe contarse con información de la totalidad de las variables de entrada requeridas. En este punto se analizarán las variables relacionadas con el flujo vehicular que opera en la vía, según lo indicado en el Numeral 3.3.2.4.5. (C.3) de este Capítulo. Es decir, se debe determinar el porcentaje del TMDA correspondiente a cada clasificación de vehículos: livianos, camiones de 2 ejes, camiones de más de 2 ejes, buses y taxibuses.

La figura 3.3.2_53 presenta el diagrama de flujo del procedimiento de detección de necesidad de barrera y el nivel de contención requerido, el que se describe en detalle en 7 pasos.

Figura 3.3.2_53. Proceso de selección de barreras de contención



F.2.1.PASO 1: Determinación de Zona de Riesgo Alto

En primera instancia, se analizan las características del sector en estudio, a fin de diferenciar si corresponde a una zona de riesgo alto o de riesgo normal, según lo indicado en el Numeral 3.3.2.4.5. (E.1).

Si el sector, tramo o área, no presenta alguna de las situaciones que implican riesgo alto, se procede con el Paso 4, correspondiente al tratamiento para zonas de riesgo normal. Por el contrario, si existe riesgo alto, o en aquellas situaciones que hagan prever la ocurrencia de un accidente de severidad elevada o daño a personas, se debe proceder con el Paso 2.

Adicionalmente, se analizan por separado aquellas situaciones en que se sumen dos o más situaciones de riesgo alto; en ellas se deberán proponer soluciones especiales, para atender

la mayor demanda de contención. Dicha proposición deberá contar con la aprobación de la Dirección de Vialidad.

Como posibles soluciones se deberán considerar, entre otras, las siguientes medidas:

- Aumento del nivel de contención del sistema a proponer
- Rediseño del entorno y modificación de los riesgos identificados
- Otras medidas tendientes a reducir la probabilidad de impacto en la zona particular de riesgo identificado.

F.2.2. Aumento del Nivel de Contención Debido a Camiones de Más de Dos Ejes

Se compara el tránsito de camiones de más de 2 ejes, para el sector, tramo o área en estudio, con los valores de la Tabla 3.3.2_20. En caso de superar o igualar alguno de los máximos indicados, las barreras a proyectar deberán tener un nivel de contención MUY ALTO para aquellas zonas de riesgo alto.

Tabla 3.3.2_20. VALORES MAXIMOS DE CAMIONES DE MAS DE 2 EJES REQUERIDOS PARA AUMENTAR EL NIVEL DE CONTENCIÓN

TMDA	Camiones de más de dos Ejes (veh/día)	
	Calzada Bidireccional	Calzada Unidireccional
< 1000	300	360
1000 - 3000	$300 + 0,10*(TMDA - 1000)$	$360 + 0,12*(TMDA - 1000)$
3000 - 7000	$500 + 0,08*(TMDA - 3000)$	$600 + 0,10*(TMDA - 3000)$
> 7000	$820 + 0,06*(TMDA - 7000)$	$1000 + 0,08*(TMDA - 7000)$

En caso de no superar los máximos de la Tabla anterior, se procede a evaluar el nivel de contención requerido mediante el Paso 3.

F.2.3. Aumento del Nivel de Contención Debido a Camiones

Se compara el tránsito de camiones de dos y más ejes con los valores de la Tabla 3.3.2_21. Si se superan los indicados, se instalarán barreras con nivel de contención ALTO en las zonas de riesgo alto.

Tabla 3.3.2_21. VALORES MAXIMOS DE CAMIONES DE 2 Y MAS EJES REQUERIDOS PARA AUMENTAR EL NIVEL DE CONTENCIÓN

TMDA	Camiones de dos y más Ejes	
	Calzada Bidireccional	Calzada Unidireccional
< 1000	120 veh/día	150 veh/día
> 1000	12%	15%

En caso de no superar los máximos de la tabla anterior, las barreras a disponer en las zonas de riesgo alto deberán tener un nivel de contención MEDIO ALTO.

F.2.4.PASO 4: Determinación de Zonas de Riesgo Normal

Las zonas no catalogadas como de riesgo alto corresponden a zonas de riesgo normal. Se pueden clasificar en las siguientes cuatro zonas, que podrían requerir sistemas de contención:

- Terraplén: se determina según lo indicado en el Numeral 3.3.2.4.5. (E.4).
- Mediana: se determina según lo indicado en el Numeral 3.3.2.4.5. (E.5). Si obedece sólo a condiciones de segregación, corresponde diseñar una barrera de nivel de contención LIVIANO y continuar directamente al Numeral 3.3.2.4.5. (F.3.) de esta Sección, considerando adicionalmente las recomendaciones indicadas en 3.3.2.4.5. (E.5.2 y E.5.3).
- Barandas de Puentes y Pasos Superiores: se determina según lo indicado en el Numeral 3.3.2.4.5. (E.6) debiendo determinarse una barrera compatible con los riesgos detectados y la capacidad de la estructura.
- Zona Lateral: se determina según lo indicado en el Numeral 3.3.2.4.5. (E.7.).

F.2.5.PASO 5: Necesidad de Barrera en Zonas de Riesgo Normal.

Sobre la base de los antecedentes analizados en el Paso 4, se establece, para cada una de las diferentes zonas, la necesidad efectiva de disponer de un sistema de contención. En caso de requerirse, se procede al Paso 6. En caso contrario, no se requiere sistema de contención en alguna de estas zonas de riesgo normal y se procede a analizar la necesidad de alguna medida suplementaria [véase Numeral 3.3.2.4.5. (F.2.8.).

F.2.6.PASO 6: Aumento del Nivel de Contención Debido a Buses y Camiones

Se compara el tránsito de buses y camiones de 2 y más ejes con los valores de la Tabla 3.3.2_22. Si se superan los indicados, se instalarán barreras con niveles de contención MEDIO ALTO.

Tabla 3.3.2_22. VALORES MÁXIMOS DE BUSES Y CAMIONES DE 2 Y MÁS EJES REQUERIDOS PARA AUMENTAR EL NIVEL DE CONTENCIÓN

TMDA	Buses y Camiones	
	Calzada Bidireccional	Calzada Unidireccional
< 1000	250 veh/día	300 veh/día
> 1000	25%	30%

En caso de no superar los máximos de la tabla anterior, se procede al Paso 7.

F.2.7.PASO 7: Definición del Nivel de Contención en Función del Tránsito en Zonas de Riesgo Normal

En zonas de riesgo normal, para las que se haya determinado la necesidad de barreras, cuyo tránsito no sobrepase los umbrales establecidos en el Paso 6, el nivel de contención se determinará según el TMDA de la vía, de acuerdo con el siguiente criterio:

Tabla 3.3.2_23. NIVEL DE CONTENCIÓN EN FUNCIÓN DEL TRÁNSITO EN ZONAS DE RIESGO NORMAL

TMDA	Nivel de Contención
≤ 1000	LIVIANO
> 1000	MEDIO

F.2.8. Medidas Suplementarias en Zonas de Riesgo Normal

Si como resultado de los pasos anteriores, en zonas de riesgo normal resulta innecesario contar con un sistema de contención, se debe analizar la necesidad de disponer alguna medida suplementaria en apoyo de la seguridad vial, como por ejemplo, demarcación, señales, alertadores, etc.

F.3. Selección de una Barrera

Una vez determinados la necesidad y el nivel de contención, según se indica en el Numeral 3.3.2.4.5. (F.2.), se podrá escoger alguna de las barreras de contención disponibles en las Tablas 3.3.2_24 y 3.3.2_25.

Tabla 3.3.2_24. CLASIFICACIÓN DE BARRERAS DE CONTENCIÓN NO CERTIFICADAS

Nombre	Tipo Barrera	Nivel de Contención	Tipo Postes (mm)	Distancia Postes (m)	Separador	Ancho de Trabajo Máximo Estimado (m)	Tensor Longitudinal (mm)	Altura Barrera (mm)	Riel Inferior (mm)
BML-2N-1.1	Doble Onda (L)	Liviano	C 120x68x5/18	1,0	Simple	1,8	---	750	---
BML-2N-1.2				2,0		2,0			
BML-2N-1.3				4,0		2,5			
BML-2N-2.1	Doble Onda (L)	Medio	C 120x68x5/18	1,0	Simple	1,5	65x5 / L=4.140	790	---
BML-2N-2.2				2,0		1,8			
BMS-2N-1.1	Doble Onda (S)	Liviano	C 120x68x5/18	1,0	Simétrico	1,3	---	750	---
BMS-2N-1.2				2,0		1,5			
BMS-2N-1.3				4,0		1,8			
BMS-2N-2.1	Doble Onda (S)	Medio	C 120x68x5/18	1,0	Simétrico	1,2	---	900	120x65x4
BMS-2N-2.2				2,0		1,6			
BMS-2N-2.3				4,0		2,0			
BML-3N-1.1	Triple Onda (L)	Medio Alto	U 120x80x6	1,0	Angosto Simple	1,8	65x5 / L=4.140	900	120x65x4
BML-3N-1.2				2,0		2,3			
BML-3N-1.3				4,0		2,6			
BMS-3N-1.1	Triple Onda (S)	Medio Alto	U 120x80x6	1,0	Angosto Simétrico	1,0	---	900	120x65x4
BMS-3N-1.2				2,0		1,5			
BMS-3N-1.3				4,0		2,0			
BI L-1.1	Hormigón Tipo F Prefabricado (L)	Medio (*)	---	---	---	1,2	---	810	---
BHL 1.2			---	---	---	1,0	---	1.070	---
BHS-1.1	Hormigón Tipo F Prefabricado (S)	Medio (*)	---	---	---	1,2	---	810	---
BHS-1.2			---	---	---	1,0	---	1.070	---
BHL-2.1	Hormigón Tipo F en Sitio (L)	Medio	---	---	---	0,5	---	810	---
BI L-2.2		Muy Alto	---	---	---	0,3	---	1.070	---
BHS 2.1	Hormigón Tipo F en Sitio (S)	Medio	---	---	---	0,5	---	810	---
BHS 2.2		Muy Alto	---	---	---	0,3	---	1.070	---

Nota: (BML) indica Barrera Metálica Lateral, (2N) indica doble onda, (3N) indica triple onda (BMS) indica Barrera Metálica Simétricas.

(BHL) indica Barrera Hormigón Lateral.

(BHS) indica Barrera Hormigón Simétrica.

(*) BHL y BHS sólo se podrán utilizar en caminos con velocidades de proyecto menores a 70 km/h.

En la Sección 4.302 del MC-V4 se pueden apreciar esquemas de barreras de contención correspondientes a la Tabla anterior.

Tabla 3.3.2_25. CLASIFICACION DE BARRERAS DE CONTENCION CERTIFICADAS

NIVEL DE CONTENCION	NC (NCHRP350)	NC (EN-1317)	VELOCIDAD DE IMPACTO [km/h]	ANGULO DE IMPACTO [°]	MASA VEHICULO [kg]	CATEGORIA DE VEHICULO
Liviano		N2	110	20	1.500	AUTOS Y CAMIONETAS
	TL2		70	25	2.000	
	TL3		100	25	2.000	
Medio		H1	70	15	10.000	CAMIONES hasta 10 ton
	TL4		80	15	8.000	
Medio Alto		H2	70	20	13.000	BUSES
Alto		H3	80	20	16.000	CAMIONES RIGIDOS hasta 16 ton
Muy Alto		H4a	65	20	30.000	CAMIONES RIGIDOS hasta 38 ton
	TL5		80	15	36.000	
	TL6		80	15	36.000	
		H4b	65	20	38.000	

A esos efectos, se evalúan las características del entorno de las rutas donde se instalarán las barreras, de modo de establecer cuál es el espacio promedio disponible en terreno, tras las bermas o tras las calzadas. Se seleccionará aquella barrera que, cumpliendo el nivel de contención determinado para el flujo de la ruta, posea además el ancho de trabajo que sea compatible con el espacio disponible en terreno.

En el caso de barreras no certificadas, se considerará el nivel de contención y ancho de trabajo indicados en la Tabla 3.3.2_24. Debe aclararse que los valores de dichos parámetros son aproximados. En aquellos casos en que las solicitudes de los impactos probables se encuentren en condiciones límite (entre otros, alta velocidad, ángulo de impacto elevado, anchos de trabajo reducidos en terreno), se recomienda emplear barreras certificadas, cuyos valores han sido previamente determinados por ensayos de prueba a escala real, o equivalentemente, se podrá considerar barreras de contención no certificadas con el nivel de contención inmediatamente superior al inicialmente requerido. Adicionalmente, se podrán modificar las condiciones del Proyecto, con el propósito que los parámetros mencionados se ajusten a los sistemas de contención disponibles. Las indicaciones del ancho de trabajo se especifican en el Numeral 3.3.2.4.5. (C.2.).

En el caso de barreras certificadas, el ancho de trabajo requerido de acuerdo con las condiciones del Proyecto, será uno de los parámetros, junto con el nivel de contención, que deberá cumplir y garantizar el fabricante del sistema de contención. Este ancho de trabajo deberá estar respaldado por los resultados de las pruebas de impacto para los distintos vehículos ensayados. Esos parámetros de los sistemas de contención se determinan en ensayos de prueba, y se registran en los informes de pruebas de impacto; también se registran en el resumen de las características de un determinado dispositivo en los oficios de homologación emitidos por la Dirección de Vialidad.

La selección de las barreras de contención suele ser un proceso iterativo, considerando diversos sistemas que cumplan los requisitos y se ajusten a las condiciones de la vía. Este análisis debe extenderse también al proceso constructivo. Este análisis debe realizarse antes de establecer el sistema seleccionado para un proyecto determinado.

Para evaluar la equivalencia entre sistemas, se deberá comparar inicialmente el nivel de contención de ambos, pudiendo aceptarse como alternativa equivalente aquél sistema que presente

un nivel de contención igual o superior al sistema original. Estas comparaciones podrán realizarse entre sistemas no certificados, certificados o una combinación de ambos.

Posteriormente, se evalúa el ancho de trabajo de los sistemas disponibles. Esta comparación podrá realizarse entre sistemas no certificados, certificados o una combinación de ambos. Se puede aceptar aquél que presente un ancho de trabajo igual o inferior al que permitan las condiciones de la vía.

Finalmente, ante sistemas que presenten equivalencias en niveles de contención y ancho de trabajo, puede considerarse, si corresponde, la severidad del impacto o daño esperado a los ocupantes de los vehículos, optándose por aquél sistema que presente la menor severidad.

Una vez establecido el sistema a emplear, se procederá a indicar las especificaciones técnicas especiales para barreras, terminales y transiciones de la tipología adoptada para el proyecto, que complementan las Especificaciones Técnicas Generales del MC-V5.

Si en alguna fase del proyecto se desea cambiar la tipología de barreras existente, este cambio deberá considerar el procedimiento de selección antes descrito, y el cambio será posteriormente aprobado por el Inspector Fiscal de la obra, incluyendo las especificaciones del sistema que se propone reemplazar.

G. DISPOSICIÓN DE BARRERAS DE CONTENCIÓN

G.1. Generalidades

Uno de los aspectos de mayor relevancia en el funcionamiento de un sistema de contención está relacionado con la disposición o emplazamiento de éste, tanto longitudinal como transversalmente, respecto de la situación de riesgo que se debe paliar.

Junto con lo anterior, otro aspecto que resulta crítico para el buen funcionamiento de una barrera de contención corresponde a la altura de emplazamiento, ya que al ser impactada, podría ser sobrepasada si se ubica en una posición baja o al contrario, si se instala muy alta, los vehículos pequeños quedarían bajo ella durante el impacto.

Siempre se deberá cuidar que el suelo bajo la barrera esté nivelado y libre de obstrucciones, tanto dentro de los espacios correspondientes a las distancias desde el borde de la calzada, como entre las separaciones de los postes y la zona del ancho de trabajo. Paralelamente, se debe prever que la zona próxima a los postes presente características compatibles con el sistema instalado; por ejemplo, en caso de barreras con postes hincados, se debe verificar que el suelo alrededor de ellos esté en condiciones para permitir un adecuado funcionamiento ante un impacto, esto es, libre de pavimentos asfálticos o de hormigón, que pueden generar una trabazón incompatible con el desplazamiento y torsión esperadas para los postes.

G.2. Ubicación Longitudinal de Barreras

En general, una barrera de contención se emplazará paralela al eje central de la vía. De no ser así, el proyectista o un especialista de seguridad vial deberán justificar una ubicación distinta. Se debe tener en cuenta que una barrera debe proyectarse de modo que el impacto de los vehículos sea previsiblemente en un ángulo que se encuentre dentro del rango máximo aceptable para la capacidad de contención, esto es, aproximadamente entre 15° y 25°. Si el ángulo probable de impacto supera dichos valores, deberán proponerse soluciones ad hoc, evaluando los riesgos existentes.

Para que una barrera funcione como un sistema de contención, se debe agregar un parámetro fundamental, que corresponde a la longitud mínima requerida para que, ante un impacto, pueda disiparse la energía producida por el móvil.

La longitud mínima de una barrera metálica no certificada, para que pueda funcionar como un sistema de contención, depende de la velocidad de operación de la vía y se puede apreciar en la Tabla 3.3.2_26, donde no se incluye la longitud de los terminales.

Tabla 3.3.2_26. LONGITUD MÍNIMA DE UNA BARRERA METÁLICA DE CONTENCIÓN NO CERTIFICADA

Velocidad de Proyecto [km/h]	Longitud (*) [m]
< 70	> 28
70 a 100	> 48
> 100	> 60

(*) Esta longitud no incluye terminales. Véase numeral 3.3.2.4.5 (L).

Para barreras certificadas, será el fabricante, sobre la base de los parámetros de la prueba de ensayo, quien indique la longitud mínima del sistema de contención que debe ser instalado.

En caso de diferentes tipos de barreras conectadas entre sí por una transición, se deberá cumplir con la longitud mínima indicada en la Tabla 3.3.2_26 sólo para el sistema con mayor nivel de contención.

Un caso particular de los sistemas de contención lo constituyen los correspondientes a puentes y pasos desnivelados, los que deben evaluarse caso a caso. A esos efectos, una vez determinado el nivel de contención mediante el procedimiento descrito en Numeral 3.3.2.4.5. (F.2.), se procede a establecer las longitudes requeridas de barreras. Si se emplean barreras certificadas, la longitud mínima a disponer será la de la barrera efectivamente ensayada. Si la estructura tiene una longitud inferior a la mínima mencionada, la barrera deberá prolongarse hacia los accesos.

A continuación se analizan las situaciones de emplazamiento de barreras longitudinalmente en terraplenes y ante obstáculos laterales, además de cómo proceder cuando dos sistemas de contención quedan próximos entre sí.

G.2.1. Terraplenes

En los casos en que la barrera se instale para proteger a los usuarios de la vía ante la presencia de un terraplén, según lo indicado en el Numeral 3.3.2.4.5. (E.2.), la longitud total de la barrera de contención, estará compuesta por el largo de la situación de riesgo más lo indicado en el Numeral 3.3.2.4.5. (G.2.2.) y sus terminales respectivos,

En este caso en particular, para obtener las longitudes adicionales de barrera de contención antes y después de esta zona de riesgo, la distancia transversal (D) debe medirse como el ancho que correspondería a la zona despejada de acuerdo a las Tablas 3.3.2_17 y 3.3.2_18.

Por su parte los terminales se seleccionarán de acuerdo a lo señalado en el Numeral 3.3.2.4.5. (L).

Cuando existan cortes cercanos a los terminales de la barrera, se continuará con este elemento de contención hasta insertar sus extremos en el terreno natural del corte, según se indica en el Numeral 3.3.2.4.5. (L.4).

G.2.2. Obstáculos Laterales

En el caso de obstáculos laterales o zonas infranqueables, la longitud de la barrera estará en función del tipo de calzada, la velocidad de proyecto de la vía y una distancia (D), medida desde el borde de la calzada hasta la zona posterior del obstáculo. Véase la Tabla 3.3.2_27.

Tabla 3.3.2_27.

Distancia Transversal (D) (m)	Longitud Mínima de Aproximación (LMA) (m)								
	Calzada Bidireccional			Calzada Unidireccional					
	V≤80	80<V≤100	V>100	V≤80		80<V≤100		V>100	
	L1	L1	L1	L1	L2	L1	L2	L1	L2
0-3	24	36	44	24	8	36	12	44	16
3-5	40	60	76	40	12	60	16	76	20
5-7	56	84	104	56	16	84	20	104	24
> 7	72	108	136	72	20	108	24	136	28

Donde D, L₁ y L₂ pueden apreciarse en las Figuras 3.3.2_53, 3.3.2_54, 3.3.2_55 y 3.3.2_56. Los terminales correspondientes a estas figuras.

De esta forma, la longitud total de la barrera se determinará de la fórmula siguiente:

$$LTB = LMA + LTi + L Tf + \text{LONGITUD OBSTÁCULO}$$

Donde:

LTB: Longitud total de la barrera (se considera L₂ = 0 para barreras de hormigón construidas in situ, en vías unidireccionales).

LMA: Longitud mínima de aproximación; (L₁ + L₂ en calzada unidireccional) ó (2 * L₁ en calzada bidireccional).

LTi: Longitud del terminal inicial de la barrera.

L Tf: Longitud del terminal final de la barrera.

Figura 3.3.2_54. DISPOSICIÓN DE BARRERAS METÁLICAS EN OBSTÁCULOS LATERALES (CALZADA BIDIRECCIONAL)

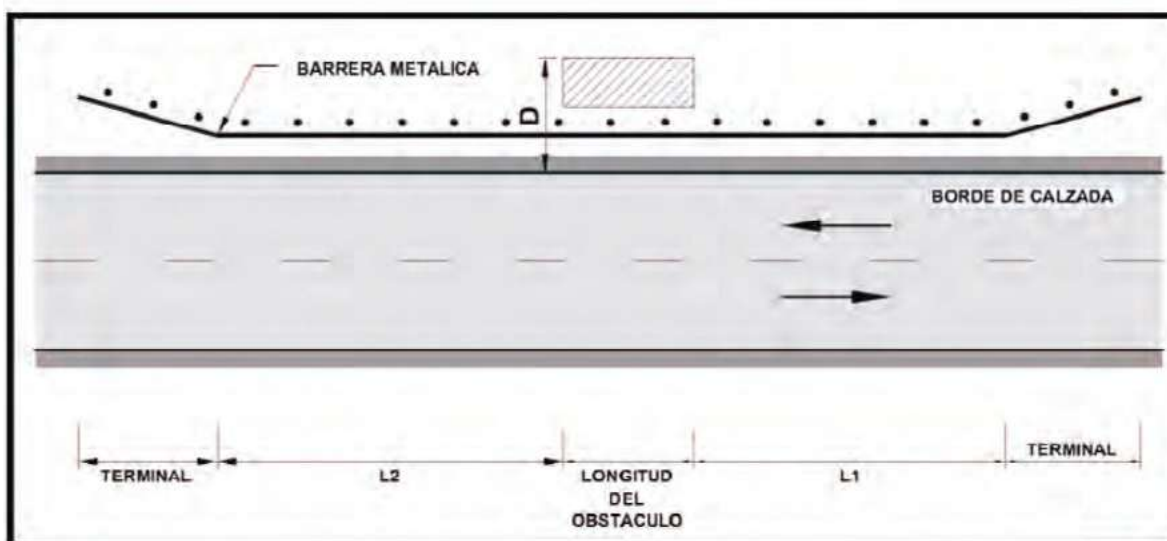


Figura 3.3.2_55. DISPOSICION DE BARRERAS METALICAS EN OBSTACULOS LATERALES (CALZADA UNIDIRECCIONAL)

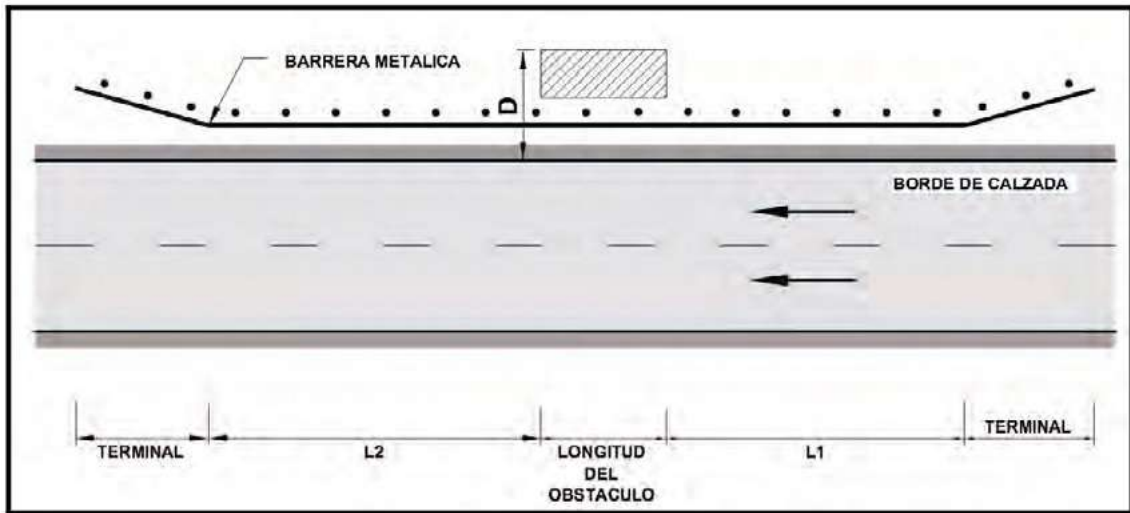


Figura 3.3.2_56. DISPOSICION DE BARRERAS DE HORMIGON TIPO F EN OBSTACULOS LATERALES (CALZADA BIDIRECCIONAL)

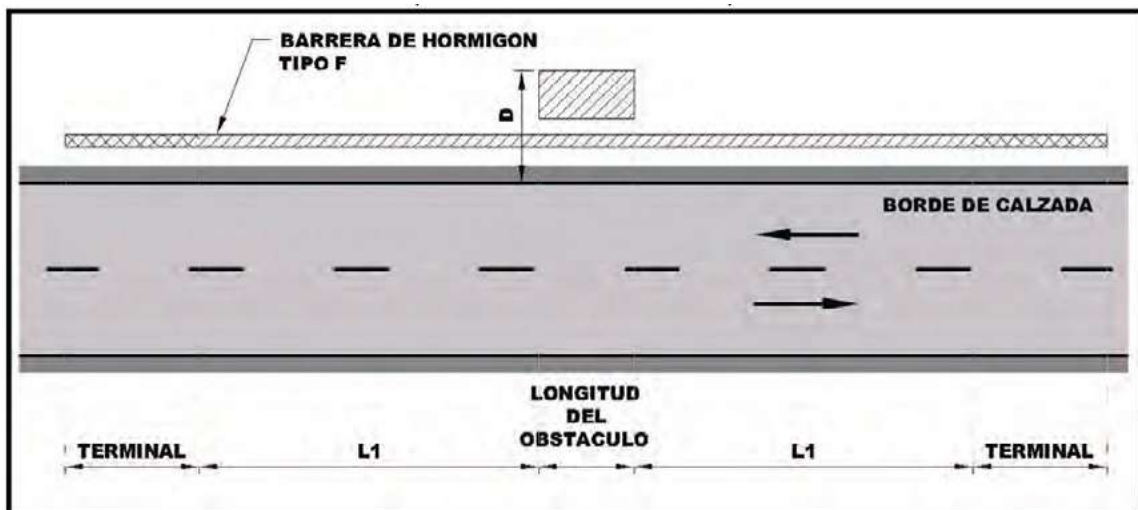
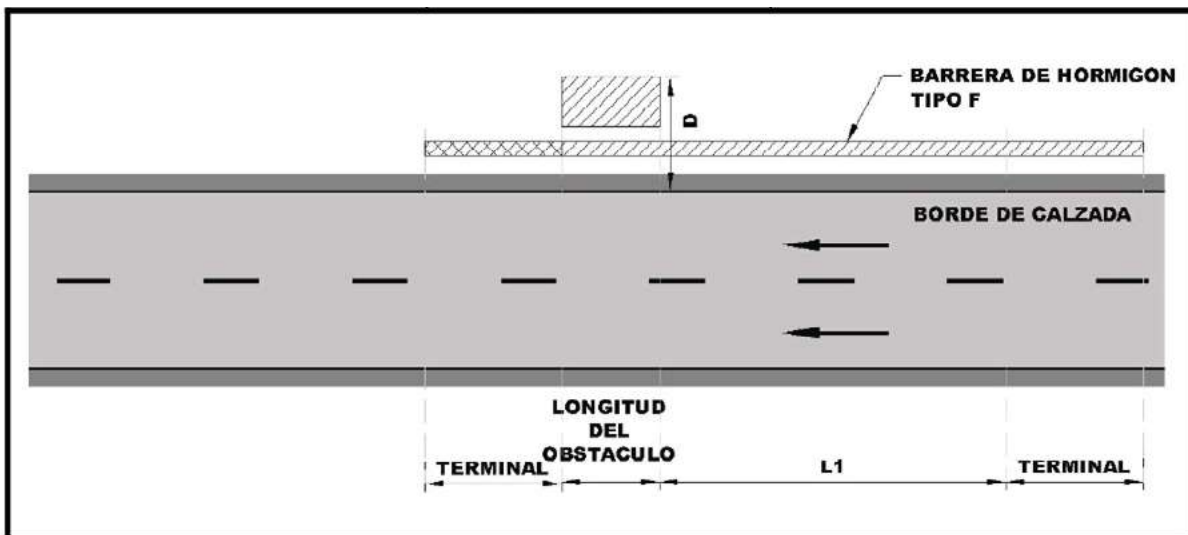


Figura 3.3.2_57. DISPOSICION DE BARRERAS DE HORMIGON EN OBSTACULOS LATERALES (CALZADA UNIDIRECCIONAL)



G.2.3. Conexión de Sistemas de Contención Cercanos

Si dos sistemas laterales de contención se encuentran ubicados muy próximos entre sí, se deberán conectar, generando una solución continua, salvo que existan situaciones tales como intersecciones, cruces, cruces peatonales, etc., que impidan su conexión. El criterio para conectar dos sistemas de contención se establece en la Tabla 3.3.2_28, de modo que, en presencia de distancias menores o iguales a las indicadas en esta Tabla, se deben conectar los sistemas de contención. Las distancias indicadas no consideran el largo de los terminales de cada sistema. Para distancias mayores a las indicadas en la Tabla 3.3.2_28, se deberá analizar técnicamente, en cada caso, la pertinencia de conectar los sistemas, considerando que la discontinuidad en las barreras representa un factor de riesgo para los usuarios.

Tabla 3.3.2_28. DISTANCIA MAXIMA PARA CONEXION DE SISTEMAS DE CONTENCIÓN (m)

Tipo de Vía	TMDA	
	≤ 7500	> 7500
Caminos	40	60
Carreteras	80	100

G.3. Ubicación Lateral de Barreras de Contención

El emplazamiento lateral de una barrera de contención debe ser determinado considerando, principalmente, el parámetro de diseño correspondiente al ancho de trabajo, definido en el Numeral 3.3.2.4.5. (C.2.) de este Capítulo.

Al respecto, la deformación del sistema de contención al ser impactado debe ser inferior o igual a la distancia disponible al obstáculo o riesgo que se desea evitar, por lo que ambas magnitudes serán fundamentales en la determinación del tipo de barrera más adecuado.

En general, la barrera de contención se instalará inmediatamente después de terminada la berma, salvo que ésta no exista, en cuyo caso se considerará una distancia mínima de 0,5 metros del borde de la calzada. Cuando se trate de caminos con capas de rodadura granular, se definirá como borde de calzada la línea imaginaria hasta la cual puede transitar un vehículo sobre la plataforma en condiciones normales de operación.

A continuación, se entregan criterios específicos para el emplazamiento lateral de barreras, considerando la distancia a la calzada y las situaciones más habituales y aquellas que mayor conflicto generan durante la instalación de los sistemas de contención, tales como interacción con obstáculos fijos o zonas infranqueables, terraplenes, y soleras y cunetas.

G.3.1. Distancias al Borde de Calzada

En general, una barrera se instalará a continuación del borde exterior de la berma, coincidiendo la cara externa de la barrera con el final de aquélla. En ningún caso se deberá instalar una barrera a una distancia menor a 0.5 m del borde de la calzada y dependerá de la velocidad de proyecto de la vía.

En la Tabla 3.3.2_29, se entregan las distancias mínimas laterales recomendadas, desde el borde de la calzada, para la instalación de barreras. Se seleccionará el mayor valor, entre el ancho de la berma y los indicados en la Tabla.

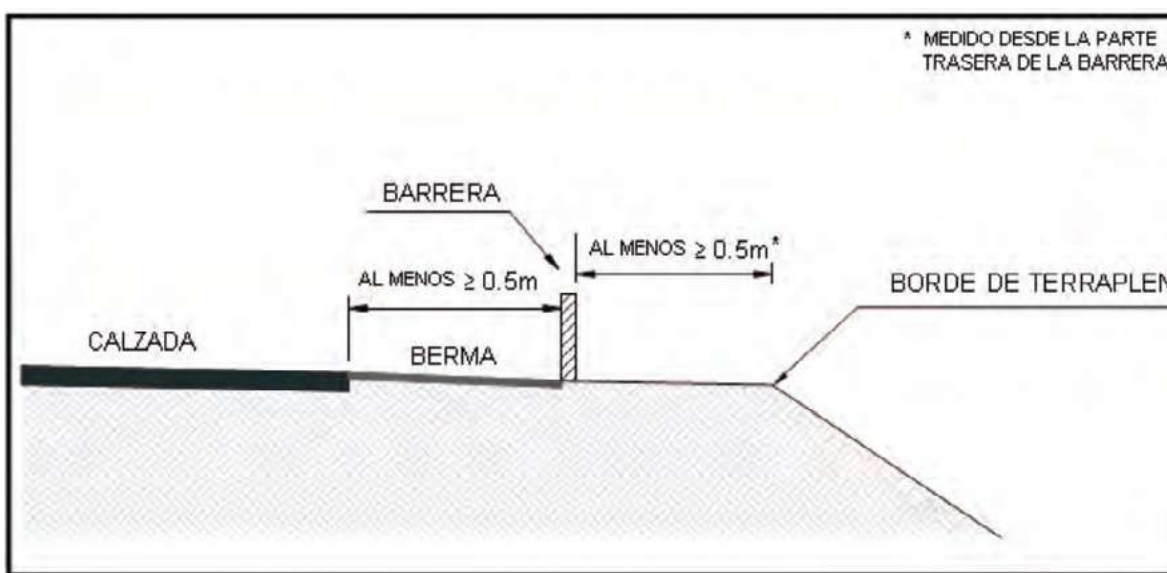
Tabla 3.3.2_29. DISTANCIAS MINIMAS PARA EL EMPLAZAMIENTO LATERAL DE BARRERAS

	Velocidad de Proyecto (km/h)			
	V ≤ 60	70 ≤ V ≤ 80	90 ≤ V ≤ 100	110 ≤ V ≤ 120
Distancia Mínima (m)	0.5	1.5	2.0	2.5

G.3.2. Terraplenes

La ubicación lateral de una barrera en terraplenes deberá respetar una distancia mínima de 0,5 m entre la cara trasera de los postes y el borde del terraplén, medido a nivel de la plataforma, según se indica en la Figura 3.3.2_58.

Figura 3.3.2_58. EMPLAZAMIENTO LATERAL DE BARRERAS DE CONTENCIÓN EN TERRAPLENES



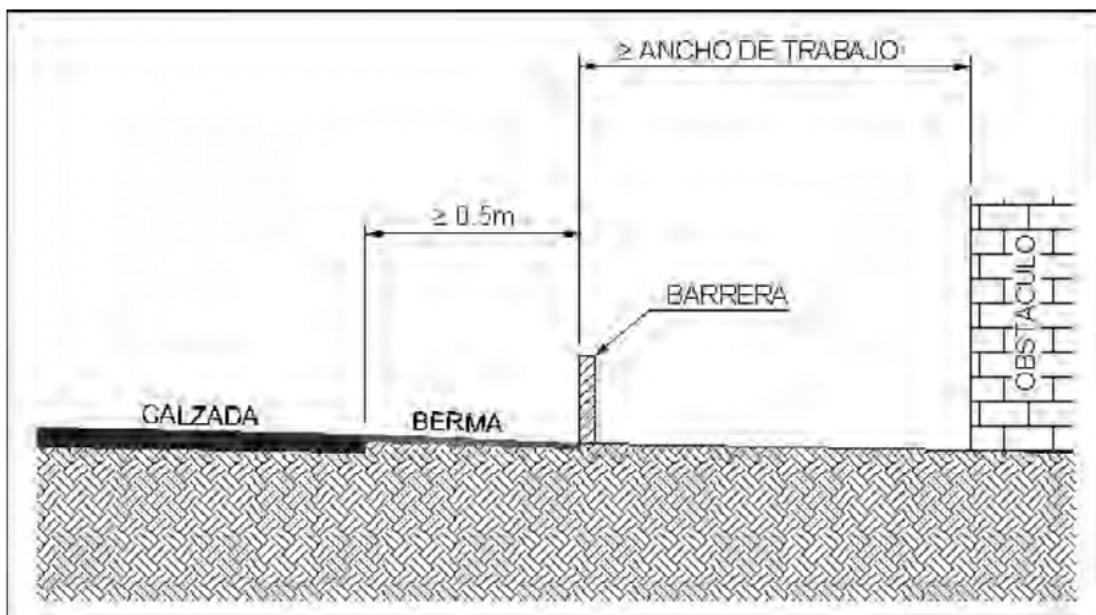
No obstante, deberá procurarse que dicha distancia sea al menos igual a la deflexión dinámica de la barrera que se está proyectando, evaluando para esos efectos el SAP (sobre ancho de la plataforma) disponible.

G.3.3. Obstáculos Laterales

En el caso de obstáculos laterales o situaciones infranqueables se debe disponer que la distancia entre la cara expuesta de la baranda al tránsito y el límite infranqueable, medido a nivel de plataforma, sea como mínimo igual al ancho de trabajo de la barrera (véase la Figura 3.3.2_59).

El espacio disponible de zona despejada es, por lo tanto, determinante para la selección del sistema de contención.

Figura 3.3.2_59. EMPLAZAMIENTO LATERAL DE BARRERAS DE CONTENCION EN OBSTACULOS



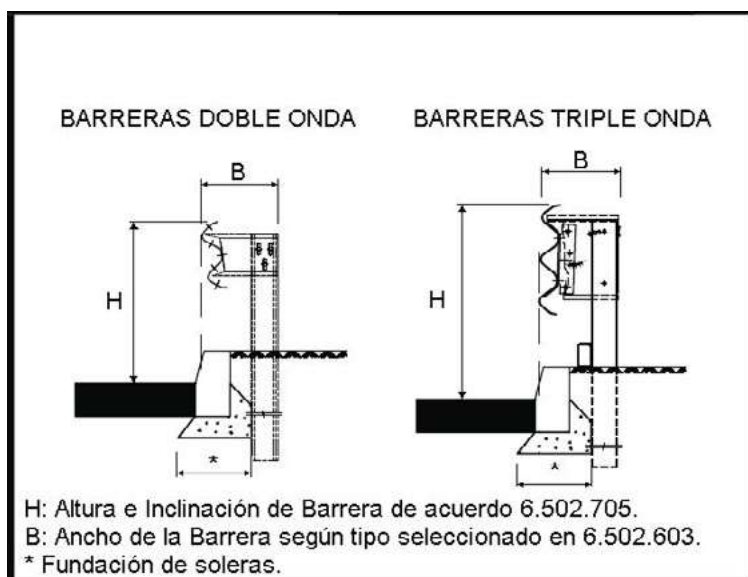
G.3.4. Soleras y Cunetas

Debido a la incertidumbre que existe ante el comportamiento de un vehículo que impacta un sistema de contención que interactúa con soleras y/o cunetas, se deberán adoptar todas las medidas para que esta combinación no se presente en el diseño de una vía. De no ser posible, lo que será dirimido por la Dirección de Vialidad, sólo podrán aceptarse barreras metálicas en combinación con los elementos de saneamiento mencionados, teniendo presente que corresponde a una situación excepcional. No se deben emplear barreras de hormigón en presencia de soleras.

De instalarse una barrera metálica, necesariamente deberá contar con separador, de tal forma que la cara exterior de la baranda sobrepase el plano formado por la cara expuesta de la solera, o en su defecto, deberá quedar alineada con dicha cara. En el caso de cunetas, sólo se aceptará excepcionalmente y en tramos de corta longitud, que los postes de la barrera se ubiquen de tal manera que la baranda cumpla con la condición de emplazamiento descrito en presencia de soleras.

La instalación correcta de una barrera metálica en presencia de solera tipo A se puede apreciar la Figura 3.3.2_60.

Figura 3.3.2_60. DISPOSICION BARRERA EN PRESENCIA DE SOLERA TIPO A



Tanto la altura proyectada, como la inclinación requerida para la instalación de las barreras metálicas se determinarán de acuerdo con lo indicado en el Numeral 3.3.2.4.5 (G.5) de esta Sección.

G.4. Disposición de Barreras en Mediana

G.4.1. Disposición Continua de Barreras

La disposición de barreras en medianas dependerá básicamente de los siguientes antecedentes: velocidad de proyecto, TMDA, ancho disponible, pendiente transversal y existencia de obstáculos (postes, cunetas, etc.).

En general, la pendiente transversal determinará el tipo de barrera a instalar, es decir, simples o dobles. En todo caso, si la mediana cuenta con una pendiente transversal máxima de 10% y no existen obstáculos o sectores infranqueables, se preferirá la instalación de una barrera única, doble. Por otro lado, si la mediana presenta pendientes mayores que 10% y existen obstáculos o sectores infranqueables, se deberán instalar barreras independientes. Cualquiera sea el caso, la ubicación de la barrera de-berá determinarse en función del ancho de trabajo requerido.

En las Figuras 3.3.2_60, 3.3.2_61 y 3.3.2_62 siguientes, se pueden apreciar las disposiciones más características con respecto a la instalación de barreras en medianas.

Figura 3.3.2_61. BARRERA EN MEDIANA CON PENDIENTE MENOR A 10%

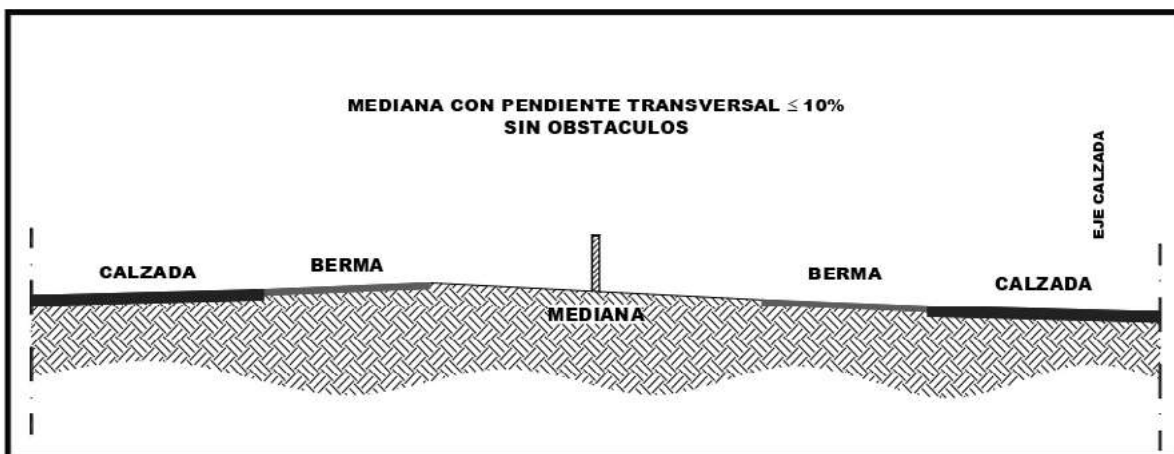


Figura 3.3.2_62. BARRERA EN MEDIANA CON PENDIENTE MAYOR A 10% Y MENOR A 30%

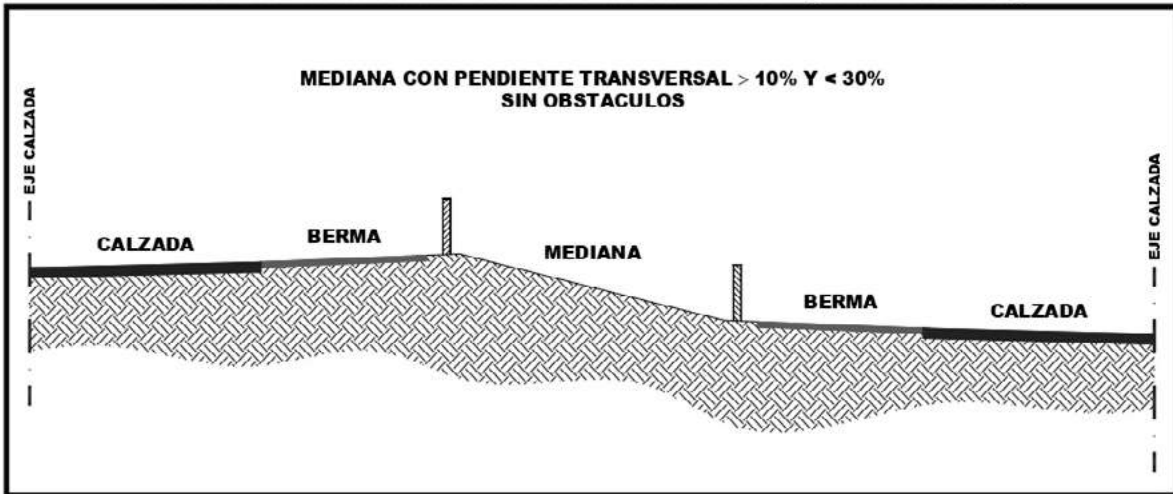
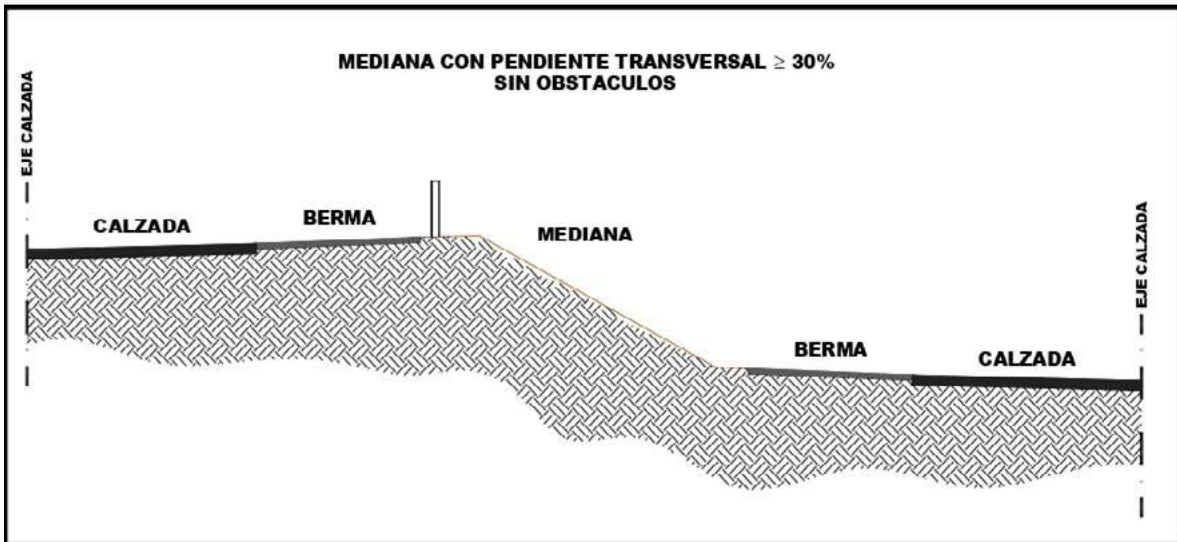
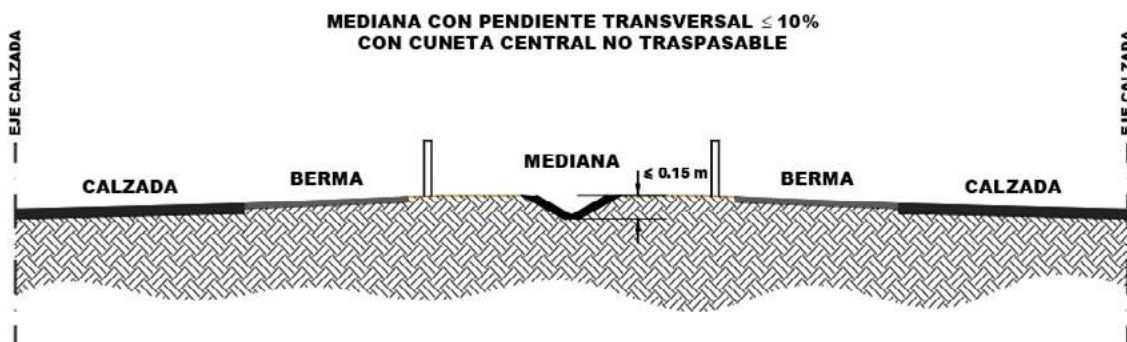


Figura 3.3.2_63. BARRERA EN MEDIANA CON PENDIENTE MAYOR A 30%



En la Figura 3.3.2_64 se presenta la situación cuando no se cuenta con el ancho de trabajo suficiente para evitar invasión de la cuneta central; considerándose en este caso, diseñar ésta con una sección hidráulica que permita ser franqueada por un vehículo liviano, es decir, con una altura no mayor a 15 cm.

Figura 3.3.2_64. BARRERA EN MEDIANA CON PENDIENTE MENOR A 10% Y CUNETAS CENTRAL NO TRASPASABLE



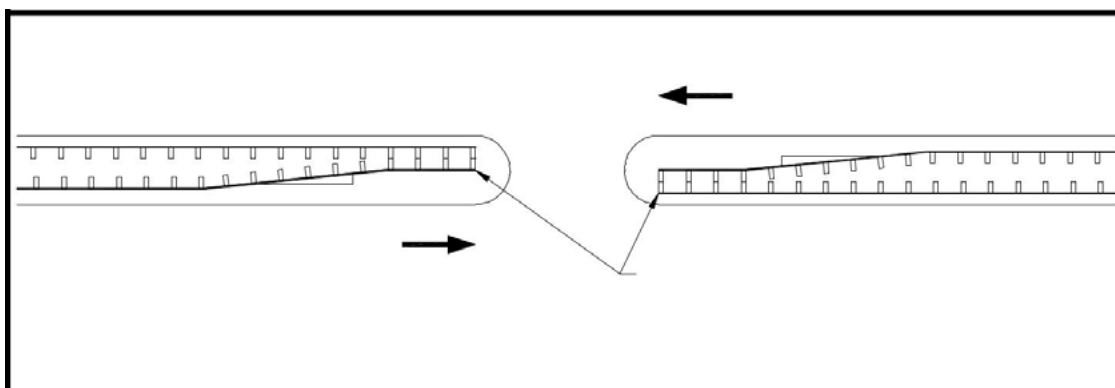
G.4.2. Interrupción de Barreras en la Mediana

Corresponde a una situación que debe ser evitada en carreteras y cuya excepción sólo podrá ser aprobada por el Inspector Fiscal. Dependerá de la jerarquía del camino la factibilidad de generar una interrupción de la barrera en una mediana.

Excepcionalmente, para carreteras con velocidad de proyecto u operación mayores o iguales a 90 km/h, sólo se podrá efectuar mediante dispositivos certificados bajo normas de impacto (NCHRP 350 o EN 1317), que permitan su apertura en casos de emergencia.

En el caso de caminos y excepcionalmente en tramos de carreteras para una velocidad de proyecto u operación menor a 90 km/h, se deberá utilizar una solución como la Figura 3.3.2_65, donde se requiere una pista central de viraje a la izquierda, la cual está protegida por barreras metálicas que cuentan con terminales atenuadores de impacto ó amortiguadores de impacto, según sea la configuración del sistema de contención, es decir, barreras simples o dobles.

Figura 3.3.2_65. INTERRUPCION DE BARRERAS EN LA MEDIANA (V < 90 km/h) (PLANTA)



G.5. Emplazamiento en Altura e Inclinación

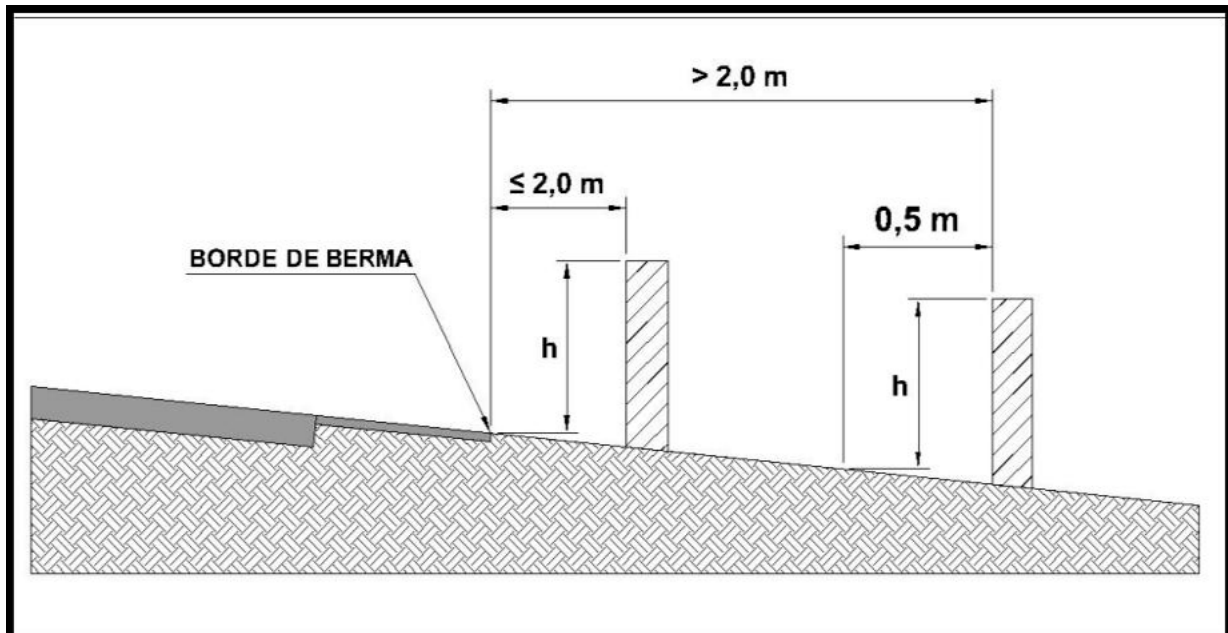
G.5.1. Altura

La altura en que sea ubicada una barrera es un parámetro que debe ser cuidadosamente respetado, ya que tendrá una gran incidencia en la efectividad del sistema de contención al ser impactado, y depende principalmente del nivel de contención para el cual ha sido diseñado.

La altura de las barreras dispuestas en los taludes se medirá de acuerdo con el criterio indicado en la Figura 3.3.2_66. Si la distancia lateral de la barrera respecto del borde de la berma es menor o igual que 2,0 m, la altura se medirá respecto de ese borde. En los demás casos, es decir, barreras dispuestas a más de 2,0 m de la berma, la altura se medirá respecto de la superficie del terreno ubicado a 0,5 m de la cara anterior de la barrera. Con todo, esta última situación no es recomendable, debido a que, por las irregularidades del terreno, el vehículo tiende a cabecear y en consecuencia, a elevarse, por lo que al momento del impacto puede superar el sistema de contención.

Las tolerancias permitidas en la altura, para barreras metálicas dependerán de su configuración y de las tolerancias de cada elemento constituyente. No obstante, se recomienda que sean de 5 cm hacia arriba y 2 cm hacia abajo.

Figura 3.3.2_66. DEFINICIÓN DE ALTURA DE BARRERAS



En presencia de soleras, la altura de la barrera metálica se medirá de acuerdo con lo indicado en la Figura 3.3.2_60, y en ningún caso, desde el borde superior de la solera.

En el caso de barreras certificadas, la altura de instalación será definida por el fabricante, de acuerdo con los requerimientos solicitados y las condiciones de terreno. De esta manera, es el fabricante el responsable de que la instalación se realice en condiciones similares a las utilizadas en los ensayos de impacto respectivos.

Para el caso de barreras de hormigón, deberán tenerse las mismas precauciones en el emplazamiento descrito en la Figura 3.3.2_66. Sin embargo, para las barreras prefabricadas, se debe verificar adicionalmente que la altura de los módulos sea la adecuada, dependiendo de su posición en el SAP.

G.5.2. Inclinación

En lo que respecta a la inclinación de la barrera, se deberá cuidar que su eje en alzado sea perpendicular al plano de la plataforma adyacente. En barreras junto a bermas de ancho menor o igual que 2,0 m, el plano a considerar será el del bombeo o peralte de la calzada. En cambio, para barreras ubicadas junto a bermas de ancho mayor que 2 m, el plano será el de la pendiente transversal de la berma.

En el caso de barreras metálicas, si por razones técnicas, atribuibles a las características de operación del equipo de colocación de postes, no es posible lograr lo indicado en el párrafo anterior, se permitirá una instalación a plomo, es decir vertical, sin importar la inclinación del plano horizontal.

En resumen, más que verificar la verticalidad de los postes, se deberá verificar la perpendicularidad de la barrera con el plano formado por la zona de circulación más probable de los vehículos que impacten las barreras producto de despistes.

La inclinación, en el caso de barreras certificadas, deberá ser definida por el fabricante, de acuerdo con las condiciones particulares del terreno donde serán instaladas.

H. BARRERAS DE HORMIGÓN

H.1. Generalidades

Estas barreras corresponden a estructuras suficientemente rígidas, como para no deformarse sustancialmente frente al impacto de un vehículo de la clase para la cual está diseñada. En esta clasificación, se distingue el perfil tipo "F", que puede instalarse aislado o solidario a una estructura de hormigón, como en el caso de un puente.

A diferencia de las barreras metálicas, las barreras de hormigón tipo F no absorben la energía del impacto por deformación, sino más bien, debido a su geometría, logran que el vehículo se levante moderadamente por la cara expuesta de la barrera, transformando parte de la energía cinética del móvil en energía potencial. Esto evidencia la importancia de cumplir rigurosamente con la geometría especificada para las barreras de hormigón tipo F, según se indica en el Numeral 3.3.2.4.5. (H.5).

Las barreras tipo F se pueden construir en sitio, mediante moldajes fijos o moldajes deslizantes, con acero de refuerzo. Estas barreras también pueden ser prefabricadas como elementos modulares, los que requieren una conexión fuerte entre ellos, ya que durante un impacto serán sometidos a esfuerzos de tracción y volcamiento importantes.

H.2. Clasificación Funcional

En las barreras de hormigón se distinguen los siguientes dos grupos, dependiendo de su dinámica de funcionamiento:

- Barreras prefabricadas, que funcionan gravitacionalmente, es decir, estabilizadas por su peso propio.
- Barreras construidas en sitio o empotradas a una estructura de hormigón (p.ej., en pasillos de estructuras de puentes y pasos superiores).

H.2.1. Barreras de Hormigón Gravitacionales

Corresponden a barreras de hormigón tipo F prefabricadas, cuya geometría se especifica en la Lámina 3.3.2_1. Este tipo de barreras debe contar con un gancho de conexión de un espesor mínimo de 10 mm, requerido para el traspaso de carga durante el impacto, de acuerdo con lo indicado en la Lámina 3.3.2_2, no pudiéndose utilizar bajo ninguna circunstancia empalmes del tipo machihembrado.

H.2.2. Barreras de Hormigón Empotradas o Fabricadas En Sitio

Las barreras de hormigón tipo F, empotradas o fabricadas en sitio, presentan la particularidad de ser enormemente rígidas, en relación con la carga de impacto que la solicita, no presentando deformación o corrimiento lateral. Esta última condición las hace adecuadas como barrera de contención en estructuras viales, tales como puentes y pasos superiores, y en general, en sectores donde no se cuente con anchos de trabajo disponibles.

En el caso de estructuras, se entenderá por barreras empotradas aquellas que se construyan solidarias a una estructura de hormigón, como por ejemplo, formando parte de la losa estructural de hormigón de un puente o paso superior.

Barrera de hormigón tipo F fabricada en sitio es aquella que se construya directamente en terreno y en forma continua. Este tipo de barreras se instalarán preferentemente en medianas que presenten un desnivel, producto de la diferencia de cotas entre ambas calzadas, de acuerdo con lo indicado en la Lámina 3.3.2_3.

H.3. Alternativas de Barreras de Hormigón Tipo F

Dependiendo de su altura, caras de trabajo y condicionantes entre calzadas, se tienen las siguientes alternativas de barreras de hormigón tipo F:

- Barrera lateral de Hormigón Tipo F, H = 810 mm
- Barrera simétrica de Hormigón Tipo F, H = 810 mm
- Barrera lateral de Hormigón Tipo F, H = 1.070 mm
- Barrera simétrica de Hormigón Tipo F, H = 1.070 mm
- Barrera simétrica en calzada desnivelada de Hormigón Tipo F, H1 y H2 variables
- Barrera de otra altura, según Proyecto

H.4. Características Técnicas de los Elementos de las Barreras de Hormigón Tipo F

Las características geométricas, mecánicas y especificaciones de construcción, de los distintos tipos de barreras de hormigón tipo F, serán las especificadas en las Láminas 3.3._1, 3.3._2, 3.3._3, 3.3._4

Las características geométricas, mecánicas y especificaciones de construcción, que deben cumplir las piezas terminales de las barreras de hormigón tipo F, serán las contenidas en la Lámina 3.3_2. No obstante, para poder emplazar este tipo de terminales, la velocidad de proyecto no debe superar 70 km/h; para velocidades mayores, su uso será excepcional y debidamente fundamentado, siendo preferible el empleo de amortiguadores de impacto.

H.5. Teoría de Funcionamiento de las Barreras de Hormigón Tipo F

El perfil Tipo F presenta la geometría indicada en la Figura 3.3.2_67, la que básicamente está compuesta por las siguientes tres secciones:

- Segmento inferior vertical
- Segmento intermedio inclinado 55°
- Segmento superior inclinado 84°

Las funciones que cumple cada segmento del perfil F se describen a continuación.

Segmento Inferior Vertical: La sección inferior, de altura 75 mm, está diseñada con un corte vertical por un requerimiento práctico del diseño general de estructuras de hormigón. En efecto, el ángulo de 55° podría iniciarse desde el pavimento mismo, pero esto generaría una zona débil en la estructura de hormigón, lo que es subsanado por el plano vertical de 75 mm. La altura de 75 mm se determinó sobre la base de numerosas pruebas, en las que se determinó que ella corresponde al valor máximo que evita un efecto negativo ante un impacto de un vehículo pequeño. Además, genera un espacio para agregar espesor de pavimento en eventuales recapados.

Si este elemento del diseño es ampliado por cualquier razón, se generan dos problemas importantes. Primero, se eleva el punto de transición entre el plano de 55° y 84°, aumentando la posibilidad de volcar vehículos pequeños. Segundo, algunos vehículos podrían no pasar por encima de este segmento, anulando la efectividad de la barrera. Si la dimensión del segmento inferior es disminuida, no se afecta el funcionamiento de la barrera.

Segmento Intermedio Inclinado a 55°. La función de este segmento es desviar la trayectoria del vehículo verticalmente, lo que se consigue con el impulso inferior a la rueda que impacta. Para la mayoría de los casos, este segmento provoca que el primer impacto del vehículo contra la

barrera sea en las ruedas y no directamente en su carrocería. Para impactos a baja velocidad el vehículo podrá retomar su pista de circulación con daños menores o, en muchos casos, sin alteraciones.

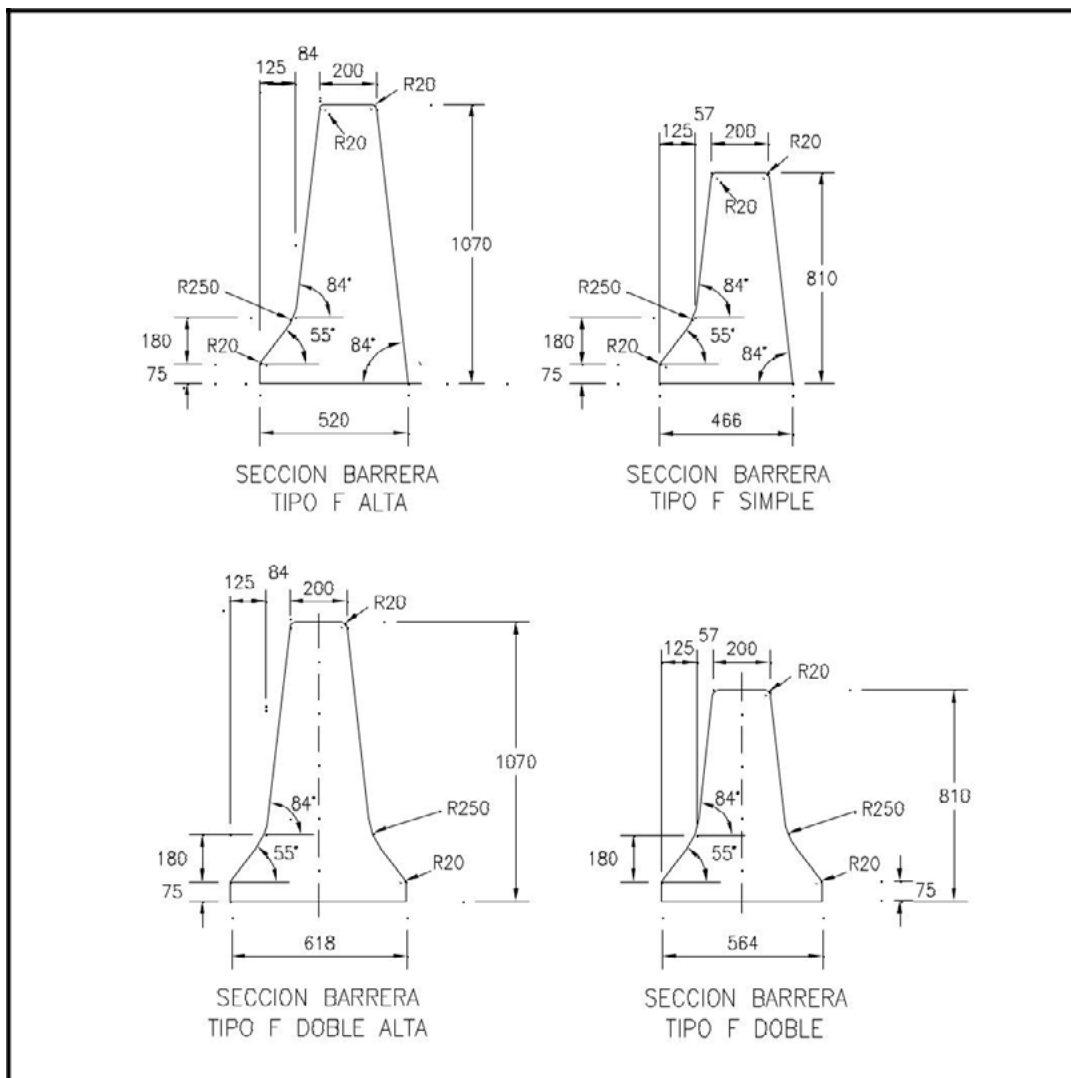
Las pruebas de impacto real han demostrado la conveniencia de levantar de manera moderada el vehículo durante el impacto, ya que esto contribuye a eliminar el contacto entre los neumáticos y el pavimento, facilitando el redireccionamiento horizontal del vehículo.

Segmento Superior Inclinado a 84°. Por último, el segmento superior tiene la función de evitar que el vehículo sobrepase la barrera y es el último elemento responsable del redireccionamiento horizontal de la trayectoria del vehículo. La mayor parte de la energía disipada por el roce entre el vehículo y la barrera también se produce en este tramo. El pequeño ángulo que mantiene con el eje vertical, se relaciona con la conveniencia de mantener el centro de gravedad de la barrera a una baja altura y, adicionalmente, contribuye a disminuir la severidad del impacto horizontal.

En relación a las dimensiones de estas barreras, es necesario tener presente lo siguiente:

- La altura entre la superficie del pavimento adyacente a la barrera y el quiebre entre los planos de 84° y 55° no debe ser menor de 180 mm.
- La altura máxima del segmento inferior nunca debe superar los 75 mm.
- La altura total de la barrera se recomienda en 810 mm, como mínimo.

Figura 3.3.2_67. BARRERA DE HORMIGON TIPO F



H.6. Ventajas de las Barreras de Hormigón Tipo F

Las ventajas que presentan estas barreras frente a las de tipo metálico, son las siguientes:

- Ancho de trabajo reducido, lo que las hace recomendables en zonas en las que no se dispone de espacio (caso de barreras construidas en sitio).
- Conservación rápida y económica en relación con las barreras metálicas.
- En el caso de barreras prefabricadas, pueden ser desmontadas temporalmente y montadas nuevamente, es decir, pueden ser reutilizadas.

I. BARRERAS METÁLICAS DE CONTENCIÓN

En este Tópico se tratan los aspectos relacionados con las barreras metálicas, sean éstas laterales o simétricas. Ambos casos se analizan para perfiles doble onda y triple onda, con sus respectivos terminales, entendiéndose genéricamente que se trata de barreras metálicas.

No obstante, para efectos de este Tópico, las barreras metálicas se definen como un sistema de contención continuo, compuesto básicamente por una baranda doble onda o triple onda, postes y separadores metálicos (con o sin rieles inferiores, tensores longitudinales y/o disipadores de energía), además de una serie de otros elementos complementarios como pernos, tuercas, golillas, etc.

Por lo tanto, cuando se especifiquen barreras metálicas doble onda o triple onda, éstas podrán instalarse tanto en los bordes de la plataforma como en la mediana entre calzadas.

La baranda de una barrera metálica, corresponde a un perfil del tipo “w” y está encargado de contener y redireccionar un vehículo que ha perdido el control; por lo tanto, debe absorber en forma controlada la mayor parte de la energía cinética del impacto del vehículo.

El poste de la barrera de contención, tal como se indicó, corresponde a un perfil metálico, que se inserta en el terreno, generalmente mediante hincado, cuya función principal está orientada a mantener a una altura determinada la baranda de la barrera, disipando una parte de la energía de impacto, trabajando en conjunto con el terreno, producto de lo cual puede deformarse e incluso doblarse, para no transformarse en un obstáculo para el vehículo que ha impactado y permitir que la barrera trabaje libremente. En general, los postes corresponderán a perfiles metálicos tipo C (Costanera) y U (Canal), para barandas doble onda y triple onda respectivamente, tal como se indica en el Numeral 3.3.2.4.5 (F.3.) de este Capítulo.

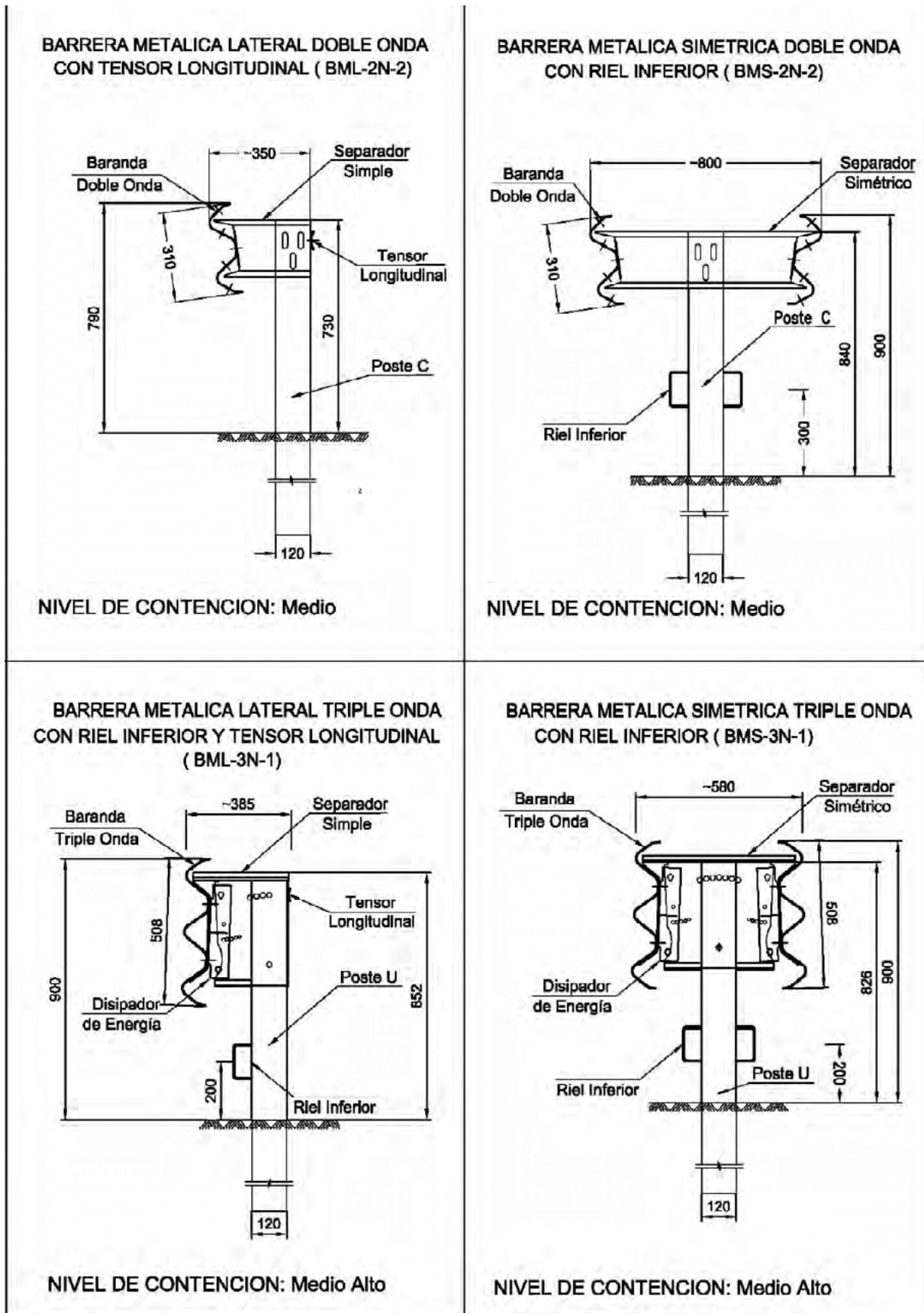
Los separadores permiten conectar los dos elementos anteriores, es decir, la baranda y el poste, con la finalidad de mantener la altura de la barrera prácticamente constante durante el impacto, incluso cuando el poste se va inclinando y, separando así, los postes de las ruedas del vehículo, evitando que puedan engancharse producto del choque.

Adicionalmente a los elementos anteriores, en ocasiones se utiliza, como parte de la barrera de contención, un riel inferior, correspondiente a un perfil metálico del tipo canal, el que se ubica longitudinalmente y paralelo a la baranda, pero, a unos 30 cm y 20 cm del suelo, para barandas doble onda y triple onda respectivamente, con la función principal de evitar que las ruedas de los vehículos pequeños se enganchen con los postes de la barrera durante el impacto.

La ubicación de una barrera metálica, comportamiento, terminales y, otras características, forman parte del contenido de esta Sección y se entrega coordinadamente en distintos tópicos.

Las barreras metálicas podrán fabricarse certificadas o no certificadas, bajo estándares de normas de impacto internacionales, cuya elección dependerá exclusivamente de los niveles de contención previstos, el ancho de trabajo disponible y, el riesgo esperado. En el caso de adoptarse barreras metálicas certificadas, éstas deberán cumplir con todo lo indicado en el Numeral 3.3.2.4.5. (D.2.), incluido en este Capítulo, especialmente en lo relativo a lo especificado en el ensayo desarrollado según la norma norteamericana NCHRP - Reporte 350 o la norma europea EN - 1317.

Detalles con esquemas y configuraciones de barreras metálicas y sus piezas especiales, se pueden apreciar en Láminas 3.3_1 al 3.3_2 del Anexo



J. BARRERAS MIXTAS

Las barreras mixtas corresponden, en general, a un sistema de contención compuesto de barreras de acero recubiertas en madera, cuya principal ventaja está orientada a una aplicación con un alto contenido estético y paisajístico.

En este caso, los elementos metálicos, en especial la viga longitudinal, son los encargados de resistir los esfuerzos de tracción en el momento del impacto.

Este sistema de contención ha sido sometido a ensayos de impacto real, según la normativa EN - 1317, considerando que puede clasificarse con un nivel de contención desde Liviano hasta Medio Alto, según lo indicado en el Numeral 3.3.2.4.5 (F.1.), de este Capítulo.

De acuerdo a lo anterior, este tipo de barreras corresponden a Barreras Metálicas Certificadas y deberán ser sometidas al mismo criterio de evaluación indicado en el Numeral 3.3.2.4.5. (D.2.) de este Capítulo.

En general, un sistema de contención definido como barrera mixta, es decir, metal - madera, cuenta con un conjunto de elementos que interactúan en el momento del impacto, los cuales han sido ensayados bajo normas europeas, previas al impacto real y que cumplen con una certificación de calidad particular para este sistema de contención.

Figura 3.3.2_68. EJEMPLO DE BARRERAS MIXTAS



K. BARRERAS DE CABLES DE ACERO

K.1. Generalidades

Corresponde a una barrera certificada, por lo tanto deberá ser sometida a los criterios de aprobación indicados en el Numeral 3.3.2.4.5. (D.2.). Consiste básicamente en cables de acero montados en postes metálicos. La función principal de los cables es contener y redireccionar a los

vehículos que los impactan, debiendo mantener los postes la elevación de éstos a una altura constante.

En este caso, la energía producida por el impacto es disipada a través de la tensión que absorben los cables de acero. Por lo tanto, será responsabilidad del fabricante de este tipo de barreras, el determinar, en función de los parámetros de diseño, los materiales más adecuados para este sistema de contención.

Es importante considerar que las barreras de cables no tienen elementos de conexión con otro tipo de barreras, por lo tanto, deben ser instaladas en sectores donde su funcionamiento no interactúe con otros sistemas de contención.

K.2. Tipos de Barreras

Para este tipo de barreras se tienen las siguientes clasificaciones:

- Barrera de Triple Cable de Acero.
- Barrera de Cuádruple Cable de Acero.

Es importante destacar que para ambos tipos de barreras de cables, los terminales resultan de gran relevancia para el buen funcionamiento del sistema de contención, en caso de ser impactados, por lo tanto, deben ser diseñados y ubicados de acuerdo a las indicaciones del fabricante.

K.2.1. Barreras de Triple Cable de Acero

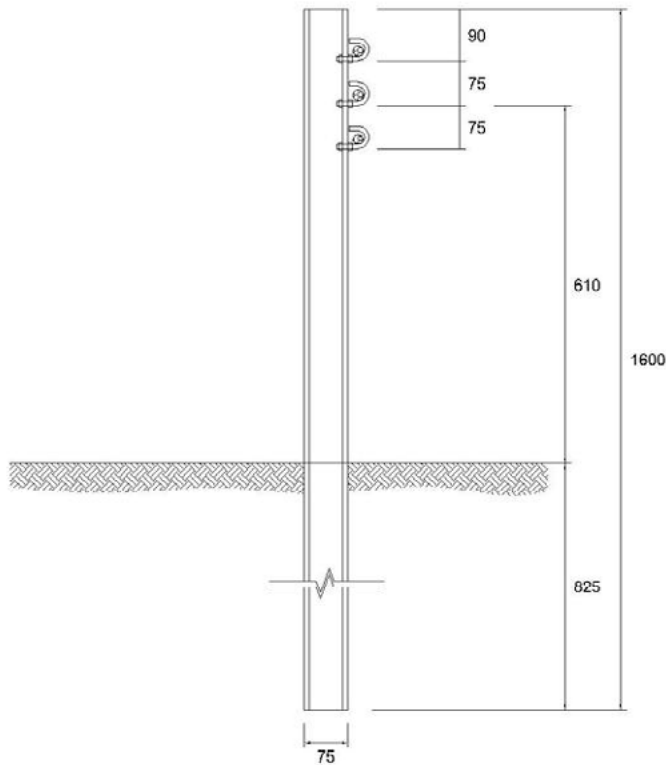
Este tipo de barreras tiene una gran aplicación en Norteamérica, donde se han efectuado numerosos ensayos con la finalidad de determinar la altura óptima de los cables y la separación de postes más apropiada.

La investigación que se ha desarrollado en forma paralela en varios Estados de EE.UU., ha definido consideraciones adicionales al alcance de la barrera como, por ejemplo, la aceptación de una pendiente transversal máxima de 1:2 (V:H) en la zona considerada como ancho de trabajo.

Otras consideraciones especiales se refieren al caso de ubicar la barrera en zonas de curvas. En particular, se distinguirán dos situaciones, la primera se refiere al caso de la curva a la derecha con la barrera ubicada al costado izquierdo, donde sólo bastará con disponer de un ancho de trabajo mayor al considerado en una zona recta. En cambio, una situación más difícil de resolver se produce cuando la curva es a la derecha con la barrera ubicada al lado derecho. En este caso, a pesar de ser considerado menos probable, la barrera de cable no se recomienda. Esto tiene especial relevancia cuando se trata de zona de curvas sucesivas o riesgos adyacentes importantes, para los cuales tampoco se recomienda su instalación.

Un ejemplo de este tipo de barreras de triple cable, se puede apreciar en la Figura 3.3.2_69.

Figura 3.3.2_69. BARRERA DE TRIPLE CABLE DE ACERO



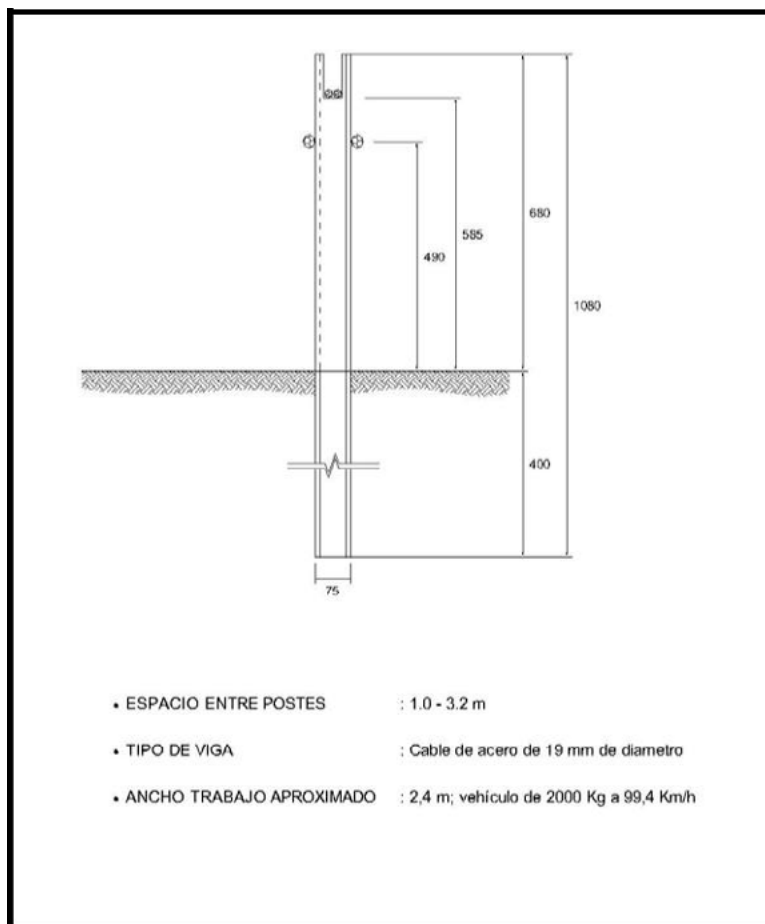
- ESPACIO ENTRE POSTES : 5 m
- TIPO DE VIGA : Cable de acero de 19 mm de diámetro
- ANCHO TRABAJO APROXIMADO : 3,3 m; vehículo de 1600 Kg a 100 Km/h

UNIDADES EN MILIMETROS

K.2.2. Barreras de Cuádruple Cable de Acero

Un caso especial en lo que respecta a las barreras flexibles, lo ocupa la barrera de cuatro cables, usada ampliamente en rutas australianas y algunas autopistas de Inglaterra. Es un caso similar a la de tres cables norteamericana, pero cuenta con una disposición simétrica de los cables que permite su empleo tanto, como una barrera lateral ó una barrera central para medianas, previa verificación del espacio, en relación al ancho de trabajo.

Figura 3.3.2_70. BARRERA DE CUADRUPLE CABLE DE ACERO



K.3. Ventajas de las Barreras de Cables de Acero

En general, las mayores ventajas que presentan las barreras de cables de acero son las siguientes:

- Conservación y/o reparación, rápida y económica en relación a otras barreras de contención.
- Pueden ser desmontadas temporalmente y montadas nuevamente, es decir, pueden ser reutilizables.
- Bajo costo inicial.
- Eficaz contención y redireccionamiento para vehículos livianos. Las fuerzas de deceleración en los ocupantes del vehículo son bajas.
- Son apropiadas para zonas con nieve o arena, porque su perfil, casi transparente, facilita los trabajos de mantenimiento y despeje de la vía.
- Facilidad de transporte y almacenamiento en espacios reducidos, además de su rápida instalación.

K.4. Desventajas de las Barreras de Cables de Acero

Las mayores desventajas del uso de barreras de cable son las siguientes:

- Inconveniencia de instalarlas en tramos largos.
- Necesidad de reparación inmediata luego de un impacto, ya que el tramo colapsará completamente.

- El área despejada que se necesita detrás de la barrera para su ancho de trabajo, en general, requiere de gran espacio.
- Efectividad reducida en las curvas, especialmente cuando éstas son de radios pequeños.
- Alta probabilidad de ser robada o sufrir actos vandálicos, ya que su material principal, cable de acero, es útil en muchas otras aplicaciones.

L. TERMINALES DE SISTEMAS DE CONTENCIÓN

L.1. Generalidades

Los terminales corresponden a dispositivos de anclaje del sistema de contención, ubicados en los extremos de una barrera. La principal función de los terminales está orientada a que el sistema de contención, en su conjunto, no falle en el momento de ser impactado. Además, se deben instalar de forma que no constituyan un punto duro que aumente el riesgo de los usuarios de la vía.

Todas las barreras, sean éstas laterales o centrales, deberán contar con terminales. No obstante, éstos no forman parte de la longitud de barrera destinada a la contención directa del vehículo. Por lo tanto, la longitud de los terminales debe sumarse a la longitud de barrera, calculada en el proyecto para proteger al usuario de la condición de riesgo detectada.

Considerando lo anterior, el terminal deberá ubicarse en sectores con la menor probabilidad de impacto, y donde, ante la eventualidad de ser traspasado, los riesgos involucrados no presenten condiciones que agraven el accidente. Por ello, se deberá analizar preferentemente, para todo tipo de barreras, la alternativa de inserción en cortes, cuando ello resulte factible.

En el caso de barreras metálicas, para la fundación de los postes de terminales se deberá considerar lo especificado en la Lámina 3.3.2_5. Los postes se instalarán a una distancia de 1,33 metros entre sí. Todas las perforaciones de cualquier elemento de la barrera, incluso en las piezas especiales, deberán efectuarse en fábrica y bajo ninguna circunstancia, en terreno.

Existen varias soluciones para los terminales, siendo los más comunes los siguientes:

- Terminal simplemente abatido
- Terminal abatido y esviado
- Terminal inserto en corte
- Terminal atenuador de impacto (certificado de acuerdo con pruebas de impacto)

L.2. Terminal Simplemente Abatido

Este terminal considera sólo abatir verticalmente la barrera, enterrando completamente cualquier extremo que pueda constituir un riesgo para los usuarios.

Este tipo de terminal sólo puede ser utilizado en vías unidireccionales e instalado en el extremo de salida de las barreras, esto es, no estará enfrentado al tránsito.

En el caso de barreras metálicas de doble onda, esta condición geométrica de los terminales suele lograrse mediante el uso de piezas especiales, que permiten el emplazamiento de los distintos elementos, sin necesidad de forzar parte del sistema de contención.

En el caso de barreras metálicas de triple onda, para realizar un terminal simplemente abatido, se puede emplear una pieza especial o hacer una transición previa a un tramo de barrera metálica de doble onda, para luego realizar el abatimiento según lo indicado en el párrafo anterior.

Respecto de terminales de barreras prefabricadas de hormigón, debe considerarse lo indicado en la Lámina 3.3_2.

La longitud de estos terminales será de 8 metros para el caso de barreras metálicas y de 12 metros en el caso de barreras de hormigón.

L.3. Terminal Abatido y Esviado

Esta solución consiste en abatir verticalmente la barrera y esviarla horizontalmente (véase Lámina 3.3.2_6. Al igual que el caso de terminal simplemente abatido, debe cumplirse con la utilización de piezas o elementos especiales prefabricados, para lograr la ubicación y emplazamiento, sin que esto requiera forzar ningún elemento del sistema de contención.

En rutas bidireccionales se podrán usar estos terminales, debiendo ser largos, de 12 metros en el caso de barreras metálicas, y de 18 metros en el caso de barreras de hormigón, e instalarse en ambos extremos de las barreras.

En rutas unidireccionales, el terminal de inicio de la barrera debe ser largo de 12 metros, en el caso de barreras metálicas, y de 18 metros en el caso de barreras de hormigón y el de salida, corto según lo indicado en el Numeral 3.3.2.4.5. (L.2).

La velocidad de proyecto no debe superar los 70 km/h, para poder emplazar este tipo de terminales. Para velocidades superiores, su uso será excepcional y debidamente fundamentado.

Este tipo de terminal sólo podrá utilizarse cuando, por condiciones de terreno, no sea posible insertar la barrera en corte, según se señala en el Numeral 3.3.2.4.5. (L.4). En el caso del esviaje, este dependerá de la categoría de la vía y del espacio disponible, manteniéndose en lo posible dentro de los rangos señalados en la Tabla 3.3.2_30.

Tabla 3.3.2_30. ESVAJE DE TERMINALES DE BARRERAS

Categoría de la Vía	Esviaje	
	Barreras de Hormigón (V:H)	Barreras Metálicas (V:H)
Carreteras	1:20 a 1:16	1:15 a 1:12
Caminos	1:14 a 1:8	1:11 a 1:7

L.4. Terminales Insertos en Corte

Corresponde a la situación de instalación más recomendada, ya que no expone ninguna pieza frontal al tránsito y mantiene, en general, la altura de la barrera metálica hasta llegar a su extremo. Se preferirá enterrar la barrera sin esviaje, tangente al borde del corte, o de ser necesario, introducir un leve esviaje sólo para efectos de acomodo para el empalme. Esto, debido a que el esviaje aumenta el ángulo de impacto en un accidente y, considerando que no estará expuesto el extremo de la barrera, no se justifica en la práctica esta modificación geométrica.

Cuando el corte esté compuesto de suelo definido como terreno de cualquier naturaleza, se deberá dejar inserto el terminal en el corte en una longitud mínima de 1 metro. En cambio, si el empalme se produce en roca, será necesario ocultar el terminal en una longitud mínima de 0,50 metros. Además en dicho caso, se deberá analizar la necesidad de utilizar las piezas especiales de conexión indicadas en la Lámina 3.3.2_7. En la Lámina 3.3.2_5 se puede observar la instalación correspondiente a un terminal de barrera metálica inserto en corte.

En todo el sector de instalación de la barrera se cuidará de mantener el terreno parejo y despejado, asegurando que se cumpla en toda su extensión con la altura definida para la barrera en Numeral 3.3.2.4.5 (G.5), incluyendo además, la eventual presencia de una cuneta al pie del corte.

L.5. Terminal Atenuador de Impacto

El terminal atenuador de impacto, corresponde a un sistema de contención que se adhiere a una barrera lateral en los extremos, con la finalidad de mitigar y disminuir la gravedad de un accidente al ser impactado por un vehículo.

Los terminales en barreras, salvo que puedan ser enterrados en un corte, representan un punto de riesgo para el usuario, por lo tanto, siempre se busca aislarlo del tránsito o ubicarlo en los sectores que presentan una menor probabilidad de impacto. No obstante, cuando no se cuenta con las condiciones para lograr una buena ubicación y se emplazan con un alto riesgo para los conductores, se deberá considerar la instalación de un terminal atenuador de impacto, el que si bien queda expuesto al tránsito, presenta la facultad de deformarse ante un choque frontal, activando un sistema que, en su conjunto, es capaz de absorber la energía liberada por el accidente hasta lograr detener el vehículo, en forma tal, que minimiza las consecuencias sobre los ocupantes.

En general, la mayor parte de los atenuadores de impacto están diseñados para vehículos livianos, con un peso no mayor a los 2.000 kilos, avalados en base al resultado de numerosas pruebas de impacto directo. Es decir, corresponden a sistemas de contención Certificados de acuerdo a la Norma Europea 1317 ó la Norteamericana Reporte 350 de la NCHRP, lo cual, debe ser verificado previo a su instalación, mediante lo indicado en el Numeral 3.3.2.4.5. (D.2.) de este Capítulo.

Principalmente, los terminales atenuadores de impacto serán exigidos en todo tipo de carreteras donde no puedan instalarse los terminales indicados anteriormente. Por otro lado, sólo podrán considerarse en caminos, cuando el terminal de la barrera no pueda ser aislado del tránsito y su instalación represente un alto riesgo para los usuarios, y solamente, una vez que se han analizado detalladamente las posibilidades de instalación de los otros tipos de terminales, lo cual deberá ser validado por el Inspector Fiscal.

No se considera la instalación de terminales atenuadores de impacto en caminos definidos como de desarrollo o locales. No obstante, en casos justificados técnicamente, un especialista de la Dirección de Vialidad podrá aprobar su aplicación.

Para la instalación de los terminales, se deberán tomar todas las precauciones que correspondan, para que estas labores se realicen completamente en el mismo día.

Para el caso de terminales de barreras en la mediana o en algunas bifurcaciones, se recomienda la utilización de amortiguadores de impacto, los que si bien pueden presentar un funcionamiento, como sistema de contención, similares a los terminales atenuadores de impacto, cuentan con una configuración y aplicación distinta.

L.5.1. Terminal Atenuador del Tipo Extrusor

Un terminal extrusor es un sistema atenuador de impacto que funciona de dos maneras. Primero, cualquier impacto lateral es resistido por los postes y por la resistencia a la tracción de la viga. Esta resistencia a la tracción de la viga es generada por un cable, conectado entre el pie del primer poste y la intersección de la viga con el segundo poste. Segundo, cualquier impacto frontal rompe el primer poste, liberando el cable y permitiendo que el cabezal corra a lo largo de la viga, deformándola y absorbiendo la energía del vehículo que impacta.

Son varios los modelos y configuraciones de terminales extrusores, algunos requieren esviaje y otros están diseñados para aplicarse sin esta condición. Una ventaja de este diseño de terminal

es que el cabezal y algunos otros elementos del terminal, son reutilizables y pueden ser reinstalados, luego de un impacto, lo que deberá ser evaluado en cada caso.

El cabezal tiene dos secciones, una en la cual se aplasta la viga doble onda, y la segunda, en la cual se dobla la viga planchada. Cuando este elemento es impactado de frente, la energía del vehículo se disipa cuando el cabezal es empujado a lo largo de la barrera. Al pasar por la viga doble onda, el cabezal la deforma, transformándola en una lámina plana, para luego, por la acción de un elemento con un radio pequeño, expulsarla hacia fuera de la plataforma del camino.

Estos sistemas incluyen un número de componentes especiales para su reparación, por lo que es fundamental la especialización del personal de mantenimiento, de manera que éste realice una evaluación detallada, luego de un impacto, con el objeto de seleccionar los componentes reutilizables.

Dado que, por lo general, se cuenta con poco espacio lateral, conviene utilizar los terminales extrusores de diseño tangente, los cuales, son sistemas terminales de barrera metálica que no requieren esvaje.

Se han realizado diversos ensayos de impacto a este tipo de dispositivos para verificar el cumplimiento de los criterios establecidos en las normativas respectivas. Éstos han incluido ensayos de impactos frontales y laterales, con vehículos de hasta 2.000 kilogramos, efectuados, en general a 100 km/h, obteniéndose un resultado satisfactorio en los casos de ángulos de impacto de hasta 20°.

Se debe evitar su utilización en combinación con soleras tipo A o muy cercano a obstáculos que impidan su funcionamiento, dejando al menos un ancho de trabajo de 2 metros. Por lo tanto, en general, para su ubicación se considerará como mínimo una superficie libre de 12 metros de largo y 2 metros de ancho. En todo caso, las indicaciones básicas para el diseño e instalación, deberán ser entregadas por el fabricante de acuerdo a las condiciones de solicitud y las características del terreno.

Figura 3.3.2_71. TERMINAL ATENUADOR DEL TIPO EXTRUSOR



L.5.2. Terminal Atenuador del Tipo Europeo

Este terminal, diseñado en Europa, está ensayado de acuerdo a la normas europeas EN 1317 propuestas para terminales, las que consideran pruebas a velocidades de 80, 100 y 110 km/h.

Se trata de un sistema con postes de acero, donde los primeros 9 postes están compuestos por dos piezas o partes, una mayor que se hincra en el suelo y una de menor sección inserta en la primera, mediante la instalación de un pasador. Al ser el cabezal impactado frontalmente, la

fuerza del impacto se traspassa a los postes cortando secuencialmente los pasadores y la viga doble onda, la cual posee dos líneas de ranuras, que van colapsando cuando los segmentos de viga se desplazan, generando de esta forma la disipación de energía.

Cualquier impacto lateral es resistido por los postes y por la tracción de la viga. La resistencia a la tracción de la viga es generada por un cable, conectado entre el pie del primer poste y la intersección de la viga con el segundo poste. Este cable se suelta con un impacto frontal cuando el primer poste quiebra el pasador.

Figura 3.3.2_72. TERMINAL ATENUADOR DEL TIPO EUROPEO



M. TRANSICIÓN ENTRE BARRERAS

Uno de los aspectos importantes de solucionar en cualquier ruta, consiste en el empalme de sistemas de distinto ancho de trabajo, donde es necesario diseñar una transición adecuada y proveer de los elementos especiales de conexión. De esta forma, generalmente en base a una disminución de la distancia entre postes, se logrará rigidizar paulatinamente el elemento de contención más flexible, antes de que empalme con el sistema de contención más rígido. Esta transición será obligatoria en vías bidireccionales de una pista por sentido. En cambio, para rutas bidireccionales con dos o más pistas por sentido y vías unidireccionales, esta obligatoriedad se dará cuando, en el sentido de tránsito, se pasa de un elemento de mayor deflexión a uno de menor deflexión, resultando optativa en el caso contrario.

La longitud de la transición se calcula mediante la siguiente relación:

$$L = |d_i - d_f| * 8 \text{ (caminos)}$$

$$L = |d_i - d_f| * 12 \text{ (carreteras)}$$

donde:

L = Longitud de transición (m).

d_i = Deflexión típica del primer sistema (m).

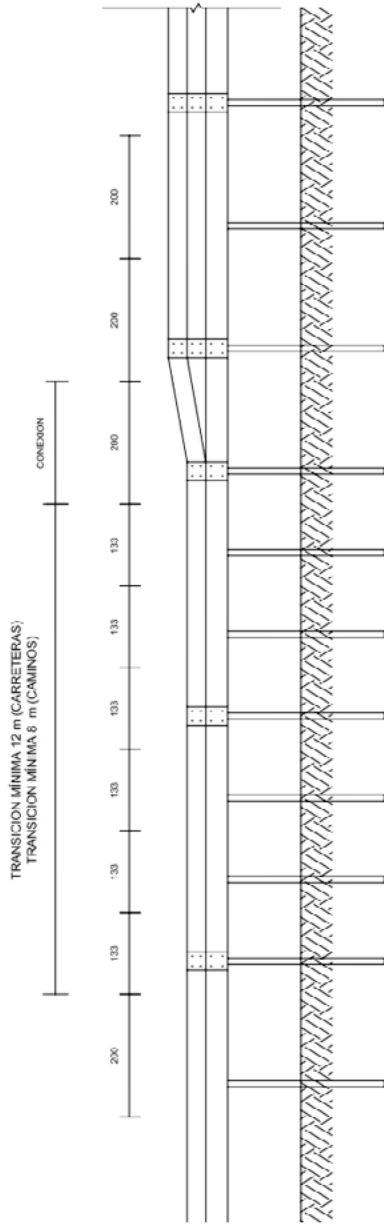
d_f = Deflexión típica del segundo sistema (m).

El resultado obtenido de las fórmulas anteriores se aproximará al entero múltiplo de 4 inmediatamente superior.

En general, las conexiones más habituales entre sistemas de contención con distinto ancho de trabajo serán las siguientes:

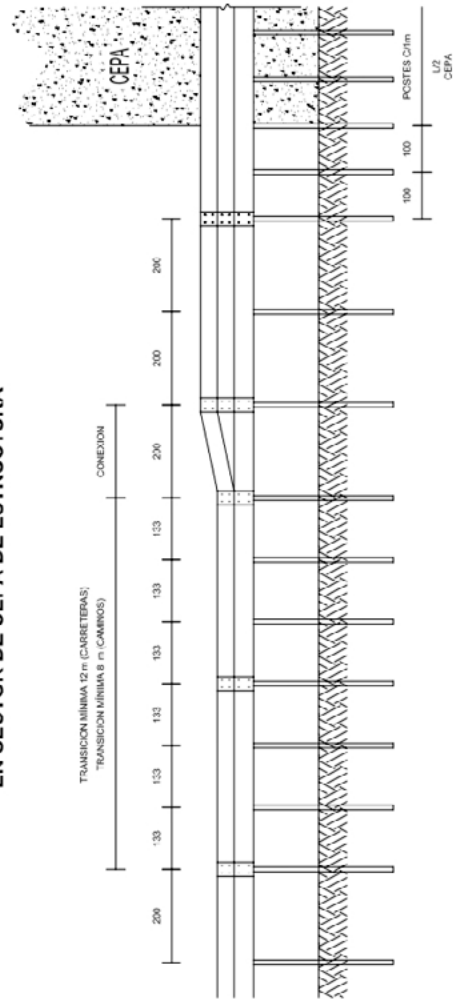
- Barrera metálica doble onda a barrera metálica triple onda,
- Barrera metálica doble onda a barrera o muro de hormigón,
- Barrera metálica triple onda a barrera o muro de hormigón,
- A continuación, se señalan otros aspectos de especial importancia para el diseño de transiciones y conexiones.
- El sector de empalme o conexión entre una barrera metálica de aproximación y una barrera de hormigón de un puente o estructura debe ser fuerte y resistente, de manera que en condiciones de impacto, la conexión no colapse. Se deberá dar preferencia al anclaje mediante la conexión con pernos pasados en la barrera de hormigón, cuyo número y características deberán estar en correspondencia con la necesidad de asegurar el funcionamiento del sistema. Las perforaciones en las barreras de hormigón para la instalación de los pernos de anclaje deberán ser consideradas durante la construcción en sitio, previo al hormigonado, o venir de fábrica, en el caso de elementos prefabricados.
- La unión estructural entre barreras debe ser diseñada para minimizar la probabilidad de enganamiento con un vehículo fuera de control, incluyendo los que se dirijan en sentido contrario del tránsito, en una vía bidireccional.

BARRERA DOBLE ONDA A TRIPLE ONDA

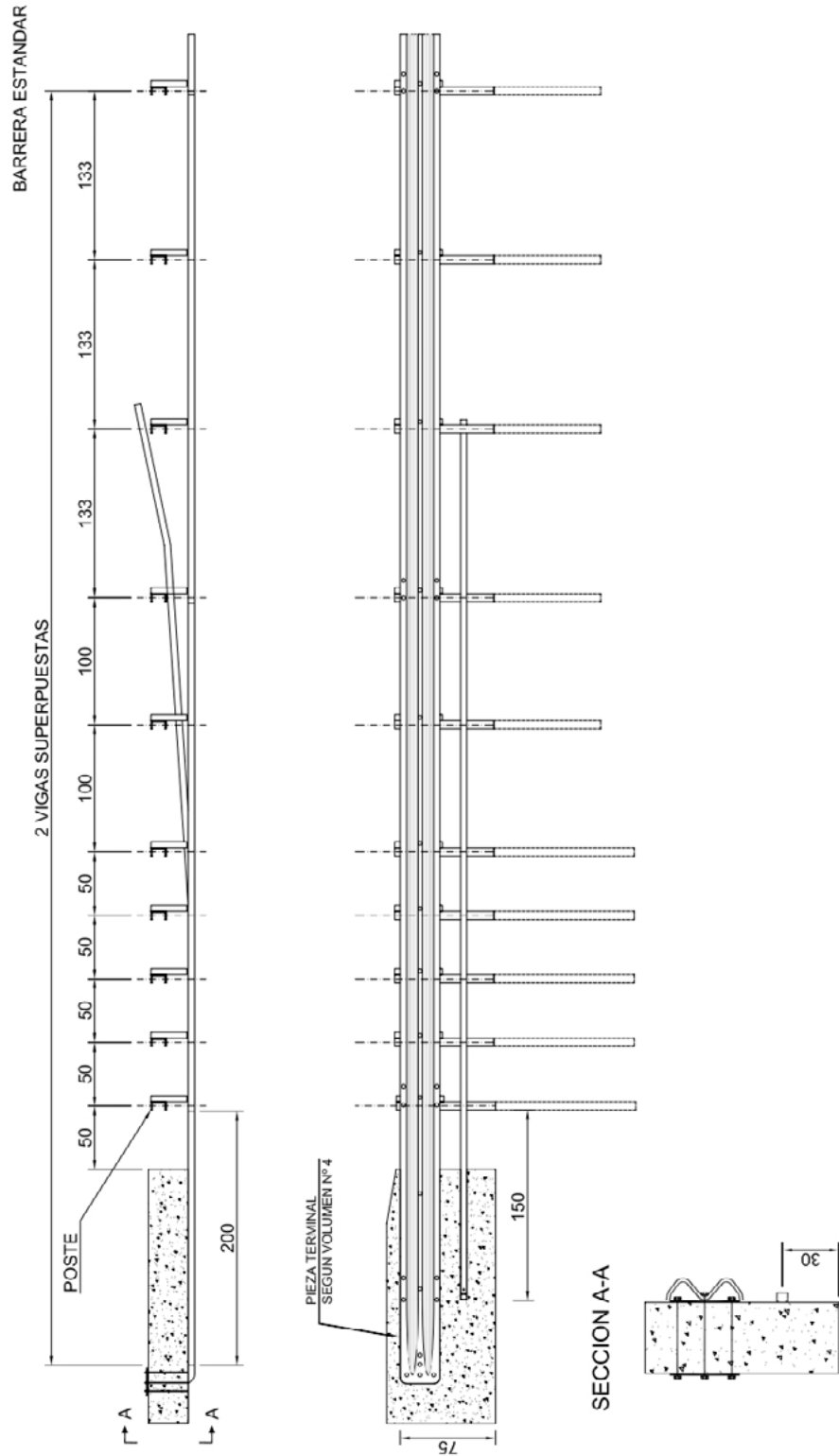


MEDIDAS EN CENTIMETROS

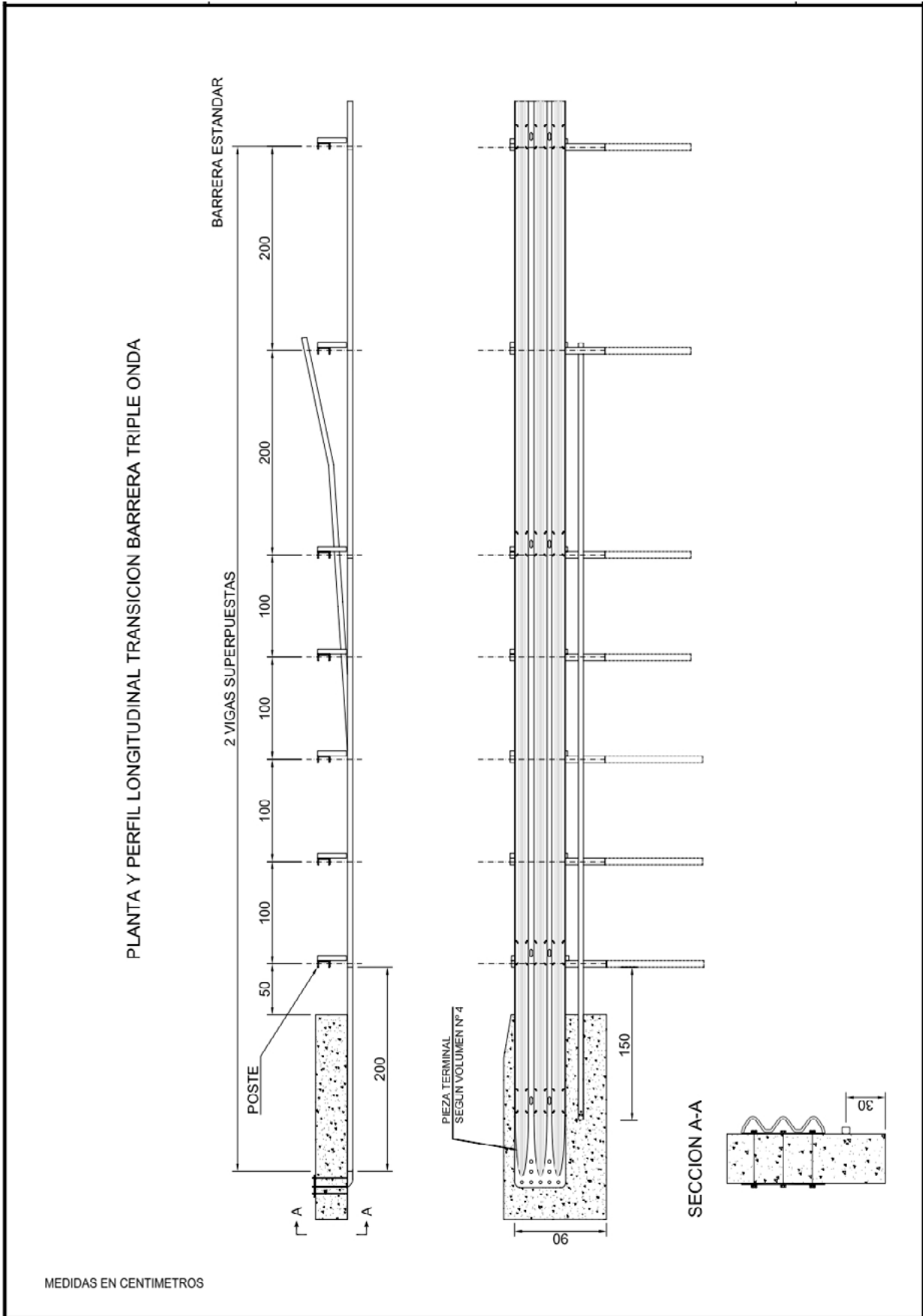
BARRERA DOBLE ONDA A TRIPLE ONDA EN SECTOR DE CEPA DE ESTRUCTURA



PLANTA Y PERFIL LONGITUDINAL TRANSICION BARRERA DOBLE ONDA



MEDIDAS EN CENTIMETROS



N. FUNDACIÓN DE BARRERAS METÁLICAS

En general, en beneficio de la rapidez, menor costo de instalación y en especial, del mejor funcionamiento del sistema, la fundación de postes de barreras metálicas se efectuará mediante hincado en terreno.

No obstante, debido a que los terrenos presentan características variables, se entregan a continuación criterios para fundación de postes de barreras metálicas.

N.1. Terreno Natural o Terraplén

Un terreno de cualquier naturaleza se considerará apto para la fundación de postes de barreras metálicas si cumple con las condiciones definidas para un terraplén.

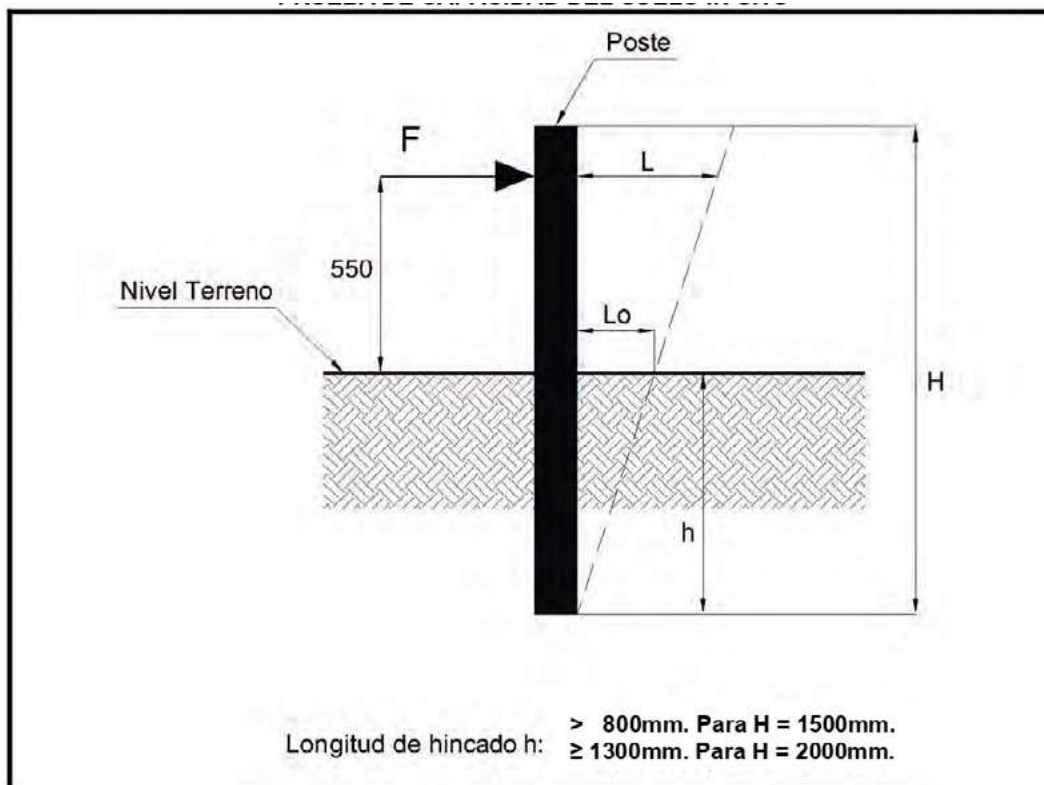
En los casos en que el suelo de fundación no cumpla con las características mínimas indicadas para la instalación de postes de barreras metálicas, se deberá efectuar la prueba in situ descrita en el Numeral 3.3.2.4.5. (N.2) siguiente.

N.2. Prueba de Capacidad de Suelo In Situ

El siguiente ensaye en sitio, acorde con lo indicado en la Figura 3.3.2_ 73, se empleará para verificar si el suelo presenta las condiciones mínimas para el hincado de postes de barreras metálicas:

- Esta prueba se realizará cada 250 metros o tramo de barrera, si es menor.
- Sobre un poste hincado aislado se aplica una fuerza paralela al terreno y perpendicular a la dirección de la circulación del tránsito adyacente, dirigida hacia el exterior de la vía.
- El punto de aplicación de la fuerza estará a 55 cm de altura con respecto al nivel del terreno y se medirá el desplazamiento lateral de dicho punto y de la sección del poste a nivel de terreno. Esta fuerza se irá incrementado hasta que el desplazamiento del punto de aplicación alcance los 45 cm.
- Se considerará que la resistencia del terreno es adecuada si se cumplen simultáneamente las siguientes condiciones:
 - La fuerza que produce un desplazamiento “L” de su punto de aplicación igual a 25 cm es superior a 8 kN.
 - Para un desplazamiento “L” del punto de aplicación de la fuerza igual a 45 cm, el del poste “Lo” es inferior a 15 cm.

Figura 3.3.2_73. PRUEBA DE CAPACIDAD DEL SUELO IN SITU



N.3.Suelos de Baja Resistencia

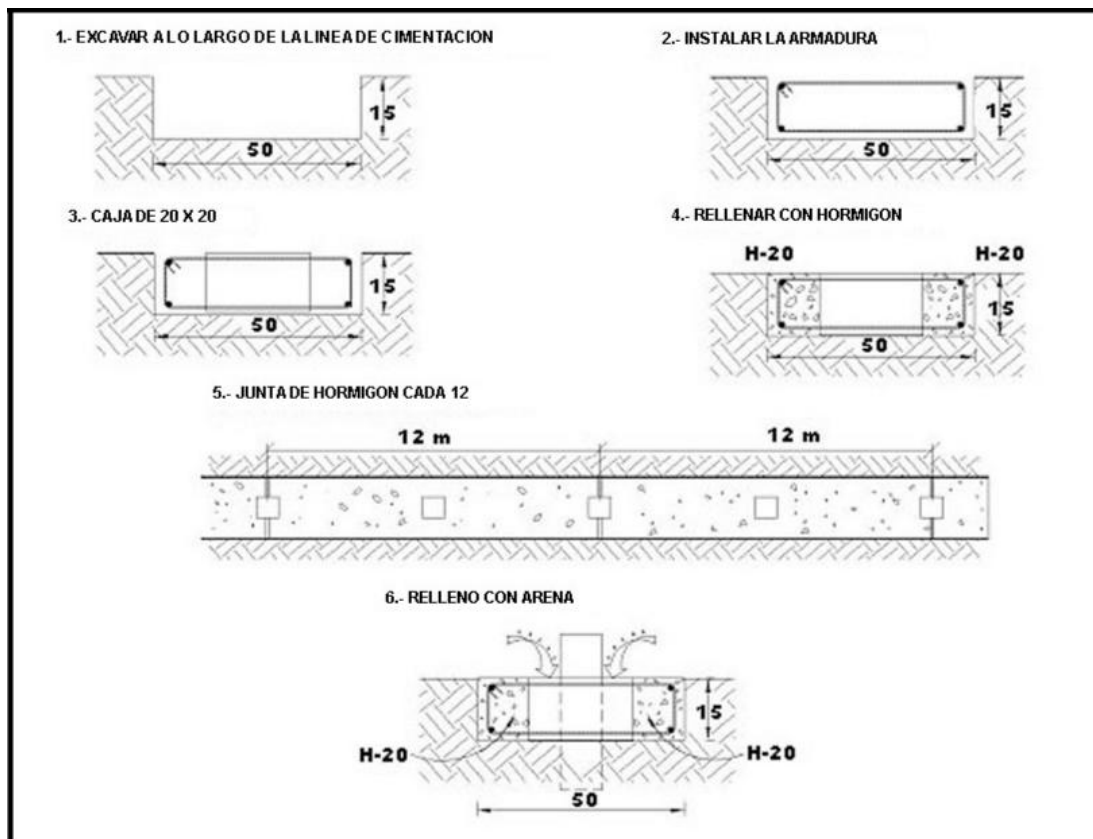
Si el terreno no tiene la resistencia estipulada en el Numeral 3.3.2.4.5. (N.2), se considera que no cuenta con la capacidad de fundación para un poste de barrera metálica.

En dicho caso, para la instalación de las barreras se considerará en una primera instancia el uso de postes de 2.0 metros de longitud, reduciendo su separación a la mitad del diseño original.

Si durante la construcción se observan deficiencias con este método, se procederá a reforzar el suelo mediante un sistema de viga armada, debiendo seguirse el siguiente procedimiento:

- Realizar una zapata corrida de 50 cm de ancho por 15 cm de profundidad a lo largo de la línea de cimentación de los postes.
- Luego, se dispondrá dentro de la zapata una armadura longitudinal 4 ϕ 12 con estribos ϕ 8 a 50 cm, de acero A63-42H.
- Después se instalarán moldajes tipo caja de 20 cm de lado en el eje de la excavación, y con un distanciamiento igual al espaciamento entre postes, los que posteriormente se hincarán en este lugar.
- Luego se hincan los postes y se rellena con hormigón H-20 la zona entre el terreno natural y la caja de 20 cm, dejando libre este espacio.
- El espacio vacío entre el poste y la caja, se rellena con arena y se impermeabiliza superficialmente.
- Finalmente, deben construirse juntas de hormigonado cada 12 m.

Figura 3.3.2_74. SECUENCIA CONSTRUCTIVA DE FUNDACION PARA TERRENOS DE BAJA RESISTENCIA



3.3.2.4.6. AMORTIGUADORES DE IMPACTO

A. GENERALIDADES Y CONCEPTOS BÁSICOS

Los amortiguadores de impacto pueden considerarse como un caso particular de terminales de barrera.

Los objetivos principales de un amortiguador de impacto, son evitar que se produzca una detención violenta y brusca del vehículo en un choque frontal con un punto duro o que algún elemento de una barrera doble penetre al compartimiento interior del móvil, y además, servir como terminal del sistema de contención en un impacto lateral.

Así, los amortiguadores de impacto tienen como función detener un vehículo de una manera controlada o redireccionarlo, evitando que impacte con un lugar de riesgo o un objeto fijo peligroso.

La mayoría de estos sistemas están diseñados para las sollicitaciones impuestas por vehículos livianos, debido a que, generalmente, tanto en carreteras como en caminos no se cuenta con los espacios requeridos para ubicar los elementos que se necesitarían para disipar la energía de vehículos pesados. Aún con esta limitación, un amortiguador de impacto, diseñado para vehículos livianos, de ser impactado por un vehículo pesado, tendrá efectos positivos, especialmente si el accidente se produce a baja velocidad.

Los impactos con barreras sin amortiguadores adecuados son, por lo general, muy graves, ya que los extremos de éstas tienen una sección transversal pequeña y rígida, que fácilmente puede penetrar el habitáculo de un vehículo durante el accidente.

Es importante destacar que los amortiguadores de impacto son sistemas de contención certificados y, cualquiera sea su tipo, deberán cumplir con los requerimientos del Reporte 350 de la NCHRP ó la Normativa EN-1317, validados de acuerdo a lo indicado en el Numeral 3.3.2.4.5. (D.2.) de este Capítulo.

B. CLASIFICACIÓN DE AMORTIGUADORES DE IMPACTO

Los amortiguadores de impacto se pueden clasificar en tres grupos:

- amortiguadores de impacto sin capacidad de redireccionamiento.
- amortiguadores de impacto con capacidad de redireccionamiento.
- amortiguadores de impacto móviles.

C. TIPOS DE AMORTIGUADORES DE IMPACTO

C.1. Amortiguadores de Impacto Sin Capacidad de Redireccionamiento

Amortiguador de Impacto sin capacidad de redireccionamiento, es aquel que permite a un vehículo que impacta en un determinado ángulo, poder en general, atravesar el dispositivo manteniendo su trayectoria original.

Los amortiguadores de impacto más conocidos en esta categoría, corresponden a los tambores de plástico con arena interior, los cuales se diseñan según el espacio disponible, el ancho del elemento de riesgo y la energía que se requiere disipar, parámetros determinados en función de la velocidad y la masa del vehículo.

Al impactar los tambores, el vehículo los rompe y con esto se comienza a desplazar la arena contenida en ellos, transmitiéndose la energía del móvil a la arena, causando la deceleración y posterior detención de éste.

La disposición de los tambores se realiza en orden creciente de masa en dirección hacia el obstáculo. De esta manera, se logra un dispositivo que va aumentando su resistencia, permitiendo que ante el impacto de un vehículo liviano, no resulte un cambio de velocidad muy brusco. De esta forma, el vehículo pequeño solicita sólo los tambores de menos masa, localizados al frente del dispositivo. Al contrario, un vehículo de mayor masa, solicita tanto los tambores de menor masa como los siguientes que contienen mayor cantidad de arena.

Antecedentes proporcionados por los fabricantes de estos sistemas de contención, indican que pueden detener hasta un vehículo de 2.000 k g, impactando a una velocidad de 113 km/h, sin causar daños a sus ocupantes. En algunos casos, después de un accidente, el conductor del vehículo puede continuar su viaje sin grandes contratiempos. No obstante, se aceptará utilizar este tipo de sistemas de contención en vías con una velocidad de proyecto u operación de hasta 90 km/h. En todo caso, es importante recalcar que será el fabricante quien determine la cantidad de elementos a utilizar, la disposición de éstos, el contenido de arena, etc.

Por su naturaleza, estos dispositivos son de menor costo pero, en general, después de un impacto no son reutilizables. Considerando que los tambores no tienen capacidad de redireccionamiento, estos dispositivos tienen que ser alineados para responder a distintos ángulos de impacto esperados, resultando agrupaciones de tambores de distinto ancho y longitud.

En general, este tipo de dispositivos se ubicará en bifurcaciones divergentes o singularidades en vías bidireccionales, con presencia de un punto duro factible de ser impactado por un vehículo fuera de control, donde pueda ser instalado en un ángulo máximo de 10° con respecto a una línea central del obstáculo y cuente con una superficie libre, de al menos un ancho de 76 cm. a cada lado del borde externo de éste, en una longitud variable que dependerá de la configuración de cada sistema.

Junto con lo anterior, como criterios de instalación se pueden mencionar los siguientes:

- Pendiente máxima de 5 %.
- No se permite su instalación cuando existan soleras de altura mayor a 10 cm.
- Se puede instalar sobre pavimentos asfálticos u hormigón.

Figura 3.3.2_75. TAMBORES DE PLASTICO CON ARENA



Entre las principales ventajas, se tiene:

- Solución de bajo costo.
- No requiere de personal especializado para su mantención y reparación.
- Repuestos versátiles. Pueden mezclarse distintos tipos de tambores.
- En general, daños razonables en los vehículos que han impactado.

Como desventajas, se pueden mencionar las siguientes:

- Nivel de contención incierto ante impactos no frontales.
- Requiere mantención periódica.
- Necesita una superficie libre de instalación mayor que los amortiguadores con capacidad de redireccionamiento.
- Afecto a vandalismo.
- Después de un impacto, se pueden dispersar fácilmente elementos (arena y tapas de tambores) que afecten la operación de otros vehículos.

C.2. Amortiguadores de Impacto con Capacidad de Redireccionamiento

Se puede contar con una gran variedad de estos amortiguadores, cuyo funcionamiento se basa en distintas formas de lograr la disipación de energía al sufrir un impacto en su parte frontal y, el redireccionamiento del vehículo en caso de un choque lateral, pudiendo conducir al vehículo impactante a una detención controlada.

La disipación de la energía se logra mediante una deformación, permanente o temporal, de los elementos que constituyen el amortiguador, los cuales normalmente son piezas comprimibles o cilindros deformables de caucho, plástico o acero. El redireccionamiento ante un impacto lateral, se consigue mediante las barandas o revestimiento que envuelve los elementos disipadores, actuando en forma similar al funcionamiento de una barrera metálica, logrando que el vehículo retorne en forma controlada.

Este tipo de sistemas de contención podrán instalarse sobre pavimentos de asfalto u hormigón o superficies no pavimentadas, siempre que estén niveladas y compactadas. Además, cuando existan soleras, situación que no es recomendable, éstas no podrán tener una altura mayor a 10 cm.

Se utilizarán en todo tipo de carreteras o caminos, debiendo ser dispositivos certificados de acuerdo a su funcionamiento. Para esto, antes de su instalación, el fabricante deberá presentar al Inspector Fiscal, toda la documentación indicada en el Numeral 3.3.2.4.5. (D.2.) de este Capítulo.

En carreteras, donde la mayor parte de la ruta cuente con una velocidad de diseño u operación igual o superior a 100 km/h, deberá considerarse el uso de amortiguadores de impacto en puntos duros que puedan ser impactados frontalmente por los vehículos, especialmente en bifurcaciones divergentes, además de sectores de interrupción de la mediana que cuenten con barreras dobles o elementos rígidos.

Figura 3.3.2_76. AMORTIGUADORES DE IMPACTO CON CAPACIDAD DE REDIRECCIONAMIENTO



Entre las ventajas de este tipo de dispositivos se cuentan las siguientes:

- Eficientes ante impactos de vehículos livianos a alta velocidad (hasta 110 km/h).
- Comportamiento adecuado ante el impacto de vehículos pesados a media velocidad. Permiten mitigar la gravedad del accidente.

- Ante impactos laterales, funciona redireccionando controladamente los vehículos livianos.
- Generalmente, después de un impacto, genera muy pocos escombros que puedan afectar la operación de otros vehículos.
- Después de un impacto, algunos amortiguadores pueden ser rápidamente puestos en servicio.
- En general, requieren de menor espacio, en comparación con los amortiguadores sin capacidad de redireccionamiento.

Por otro lado, en lo respecta a las desventajas, se pueden mencionar:

- Alto costo de adquisición y en algunos casos, también de mantenimiento.
- Repuestos muy específicos. Algunos dispositivos requieren mantener un stock de diferentes piezas.

C.3. Amortiguadores de Impacto Móviles

Los sistemas amortiguadores de impacto móviles, corresponden a aquellos que son instalados como dispositivo complementario de seguridad, en la parte posterior de vehículos o, en una plataforma que pueda desplazarse con el amortiguador.

Estos amortiguadores de impacto, se montan en aquellos vehículos, generalmente de servicio, que desarrollan trabajos en la vía o conservación de ella, que constituyen un serio obstáculo, sobre todo cuando deben transitar a bajas velocidades e incluso permanecer detenidos en la calzada y/o bermas. Ante un eventual impacto, estos dispositivos, cuya tecnología es similar a los sistemas fijos, protegen al camión y sus operadores, y a los ocupantes del vehículo colisionante.

Este sistema de contención, podrá ser utilizado en cualquier tipo de carretera o camino; teniendo que ser considerado su uso en rutas donde la velocidad de diseño u operación sea igual o superior a 100 km/h.

Será el fabricante quien determine el sistema de contención a utilizar, de acuerdo a los requerimientos solicitados. Previo a su utilización, considerando que se trata de un dispositivo certificado, el amortiguador de impacto móvil deberá cumplir con todo lo indicado en el Numeral 3.3.2.4.5. (D.2.) de este Capítulo.

Figura 3.3.2_77. AMORTIGUADOR DE IMPACTO MOVIL MONTADO SOBRE CAMION



D. CRITERIOS DE SELECCIÓN

Se escogerá el tipo de amortiguador de impacto que, cumpliendo con el Reporte 350 de la NCHRP o la Norma EN-1317, pueda satisfacer los requerimientos de seguridad vial especificados. Para esto, en base a los antecedentes entregados por el proyectista y el fabricante responsable del sistema de contención, se podrá seleccionar de acuerdo a la gama de alternativas que existan en el mercado. Al respecto, ningún amortiguador de impacto podrá ser instalado sin antes cumplir con lo indicado en el Numeral 3.3.2.4.5. (D.2.) de este Capítulo.

Una vez que se determine la necesidad de usar un amortiguador de impacto, el proyectista deberá considerar, como mínimo, los siguientes factores para seleccionar el sistema más apropiado:

D.1. Características del Lugar

Luego de identificar la necesidad de un amortiguador de impacto, se debe analizar el espacio disponible en cada lugar. Esto asegura que el sistema seleccionado pueda funcionar correctamente y sea posible efectuar su mantenimiento después de un impacto, para de esta forma, lograr sus objetivos como elemento de seguridad vial.

Las dimensiones y la configuración de un amortiguador de impacto se pueden apreciar en la Tabla 3.3.2_20 y la Figura 3.3.2_77 de esta Sección.

Un factor importante será el análisis de las condiciones bajo las cuales fue ensayado el amortiguador de impacto, las cuales, junto con las limitantes, deben ser proporcionadas por el fabricante. En todo caso, no se aceptará la instalación de este tipo de sistemas de contención, en sectores donde se ubiquen soleras mayores a 10 cm. de altura o cunetas.

D.2. Características Estructurales y Operativas de Sistemas Disponibles

En caso de estar analizando más de un sistema, el proyectista deberá evaluar los elementos estructurales y parámetros de seguridad de cada uno. Entre ellos, las deceleraciones, capacidad de redireccionamiento, requerimientos de anclaje o de muro de reacción y posibles escombros generados por impactos, se considerarán antecedentes de gran importancia para la selección del amortiguador de impacto.

En general, los sistemas de contención con redireccionamiento tienen la capacidad de disipar la energía cinética de un vehículo liviano (hasta 2.000 kg) cuando son impactados de frente, a una velocidad de 100 km/h, llevando controladamente este vehículo a una condición detenida o redireccionándolo en un ángulo aceptable. En todo caso, la mayoría de estos sistemas pueden diseñarse para velocidades menores, lo que debe derivar en un factor de economía.

Tal como se ha mencionado, el espacio disponible y la capacidad de redireccionamiento, serán parámetros fundamentales para la selección de un amortiguador de impacto desde el punto de vista operacional.

D.3. Análisis de Costos

Es importante considerar siempre las probabilidades que tiene un dispositivo de ser impactado. De ser altas, es decir, que sucesivas colisiones ocurran en un plazo corto, conviene optar por uno de los sistemas altamente reutilizables y con bajo costo de mantención, aunque su costo inicial sea mucho mayor. También se dará alta relevancia a los requisitos de mantenimiento que involucra cada alternativa de solución.

En general, se deberá prestar atención a la relación costo - efectividad que involucra la compra de un amortiguador de impacto. Sin embargo, hay variaciones en los costos de mantenimiento y reparación de éstos, que pueden influir directamente en la decisión final. Algunos sistemas normalmente deben reemplazarse después de un impacto mayor, pero los costos iniciales de

este tipo de dispositivos son bajos. Los tambores de plástico con arena es un ejemplo que se enmarca en esta categoría.

Otros dispositivos amortiguadores de impacto tienen altos costos iniciales, pero pueden ser fácilmente restaurados en el sitio después de un impacto, permitiendo incluso ser utilizado otra vez sin necesidad de reemplazar sus componentes disipadores de energía. Estos amortiguadores de impacto pueden ser una buena opción en instalaciones que se espera sean impactadas frecuentemente.

Muchas veces, un sistema con un bajo costo inicial, probablemente no permita ser reparado en el sitio tan rápidamente y es recomendable que se utilicen en lugares donde las probabilidades de impacto frecuente sean bajas.

Todos los amortiguadores de impacto, han sido sometidos a ensayos de impacto a nivel de terreno, por lo que es importante que las instalaciones in situ, sean diseñadas lo más aproximadas a las condiciones reales de ensayo.

D.4. Mantenimiento de Amortiguadores de Impacto

D.4.1. Mantenimiento Rutinario

Se considera que el mantenimiento de rutina es aquel que no es efectuado por causas de un impacto. Como parte de estos trabajos de mantenimiento rutinario están, entre otros, los siguientes:

- Inspecciones visuales periódicas.
- Limpieza de acumulaciones de escombros y arena, y despeje de maleza.
- Reposición de piezas por vandalismo o robo.
- Ajustes de tensión de cables guías.

D.4.2. Mantenimiento por Accidente

Después de un impacto, los dispositivos necesitan una inspección y análisis detenido, para definir las piezas que requieren reemplazo y los elementos que necesitan un reposicionamiento o ajuste.

En general, conviene contar con un completo abastecimiento de piezas, especialmente las frecuentemente dañadas durante los impactos. Nunca se deberá demorar la restauración de estos dispositivos a su condición original, ya que un impacto con un sistema no rehabilitado, resultará en un accidente muy severo para el afectado y daños de gran consideración al dispositivo.

E. CRITERIOS DE DISEÑO

E.1. Conceptos Básicos

Para poder aplicar las tecnologías de amortiguadores de impacto, es importante entender los conceptos en la cual se basa su funcionamiento.

E.1.1. Energía Cinética

Los amortiguadores, en general, pueden ser impactados por vehículos errantes, tanto en la zona frontal como en la zona lateral. Cuando un vehículo impacta la zona frontal se provoca una deceleración del móvil hasta que llega a detenerse. En otras palabras, la energía cinética que lleva el vehículo, previo al impacto, se disipa durante el choque, deformando el amortiguador. La energía cinética (E_c) se define de la siguiente forma:

$$E_c = \frac{1}{2} .m.v^2$$

Donde:

m : masa del vehículo.
 v : velocidad del vehículo previo al impacto.

La energía se conserva, no es creada ni destruida en el proceso. El trabajo realizado en la deformación del amortiguador de impacto (y del vehículo), T, será igual a la energía cinética inicial del vehículo:

$$E_c = T$$

Muchos amortiguadores de impacto que operan actualmente, fueron diseñados utilizando este principio básico de la conservación de la energía. Esta clase de amortiguadores requiere algún tipo de estructura de reacción, que tenga la capacidad de resistir la fuerza del impacto al producirse el colapso del amortiguador.

E.1.2.Conservación del Momentum

Otra clase de amortiguadores de impacto han sido diseñados utilizando un diferente principio básico de la física, el principio de la conservación del momento lineal. El momento lineal que se genera en un vehículo en movimiento, es igual al producto de la masa por la velocidad del mismo:

$$\text{Momento} = m * v$$

Una parte o la totalidad de este momento, puede ser transferido a una masa inerte de material puesto en la trayectoria del vehículo. Por ejemplo, una serie de contenedores, con cantidades variadas de arena, pueden ser impactados por el vehículo fuera de control. Dado que el momento total del sistema, compuesto por los contenedores de arena más el del vehículo, debe conservarse, el momento del vehículo es reducido por la suma de momentos de las partículas individuales de arena.

El resultado neto, es que la velocidad del vehículo es reducida de una forma controlada durante el impacto. Los amortiguadores de impacto que operan bajo el principio de la conservación del momento no requieren una estructura de reacción.

E.1.3.Condiciones de Ensayo

En general, los requerimientos para ensayos de impacto real contenidos en la norma europea EN 1317 son muy recientes, por lo que la experiencia europea acumulada en este tipo de dispositivos es bastante limitada, lo que nos lleva a adoptar antecedentes norteamericanos al respecto.

El Reporte 350 de la NCHRP especifica los procedimientos de ensayo y los criterios de evaluación a seguir en la medición de la efectividad de los sistemas de seguridad para carreteras. El funcionamiento del dispositivo es juzgado sobre la base de tres factores:

- La suficiencia estructural.
- El riesgo de los ocupantes del vehículo.
- La trayectoria del vehículo después de la colisión.

La eficiencia estructural del amortiguador de impacto es evaluada por su capacidad de contener o redireccionar, en forma predecible y aceptable, las condiciones de impacto especificadas. Los ensayos deben ser satisfactorios en un rango selecto de distintos tamaños de vehículos. La unidad deberá conservarse intacta durante el impacto o bien sus restos no deben representar un riesgo para los usuarios de la vía.

La evaluación del riesgo de los ocupantes de un vehículo, está basada en la respuesta calculada de un móvil hipotético durante el impacto contra el elemento amortiguador. La cinemática del vehículo se usa para estimar la velocidad de impacto y desaceleraciones del ocupante durante el colapso del dispositivo, recomendándose valores límite.

Otro requerimiento esencial de un ensayo de impacto es que el vehículo se mantenga en posición vertical durante y después de la colisión y que se asegure la integridad del compartimento de pasajeros.

La trayectoria del vehículo después del impacto resulta altamente relevante, esto debido al gran riesgo involucrado para los diferentes usuarios de la vía, por lo tanto, es uno de los factores que deben controlarse. Sólo se podrá aceptar un mínimo de invasión de las pistas adyacentes después de la colisión.

Para los ensayos, se asume que antes del impacto los ocupantes tendrán la misma velocidad que el vehículo y, luego, al producirse la colisión, con la deceleración del móvil éstos tendrán una velocidad mayor, hasta que impacten algún elemento al interior del vehículo. Asumiendo una deceleración lineal, desde ese instante en adelante, el vehículo y los ocupantes sufrirán las mismas deceleraciones. Esta deceleración es conocida como "Ride Down".

Las pautas de evaluación de seguridad y matriz de prueba para amortiguadores de impacto del Reporte 350 de la NCHRP contienen tres niveles de ensayo y subdivide los amortiguadores de impacto en dos categorías; redireccionables y no redireccionables. Por lo tanto, este será uno de los factores que deberá indicarse al fabricante, como parte de los antecedentes que se requieren para la selección de un amortiguador de impacto.

F. DISPOSICIÓN DE AMORTIGUADORES DE IMPACTO

El espacio disponible y la disposición o ubicación donde deben ser instalados los amortiguadores de impacto tiene directa relación con la elección del tipo de dispositivo. Por ejemplo, en espacios amplios, es posible que convenga elegir un amortiguador conformado por tambores plásticos rellenos con arena, en cambio, si la disponibilidad de espacio es reducida, la alternativa más probable será la de disponer de un amortiguador esbelto, del tipo "telescópico".

Será el Contratista, atendiendo las sugerencias del fabricante, quien en función del sistema seleccionado y tomando en cuenta las características particulares del terreno, deberá validar la ubicación y garantizar la certificación del producto según se especifica en el Numeral 3.3.2.4.5. (D.2.). En el caso de una ruta concesionada, además de lo indicado, el administrador de la vía tendrá que asegurar el buen funcionamiento del amortiguador de impacto, reparándolo a la brevedad en caso de accidente. Por lo tanto, las indicaciones aquí planteadas tienen una connotación orientadora, que no reemplaza las determinaciones de los especialistas en el tema. No obstante, sólo el Inspector Fiscal de la Obra podrá aprobar la instalación final de estos dispositivos, apoyándose en los especialistas de la Dirección de Vialidad según corresponda.

F.1. Emplazamiento de Amortiguadores Sin Capacidad de Redireccionamiento

- Tambores de Plástico con Arena

Puede haber un gran número de configuraciones de estos sistemas, por lo cual su emplazamiento variará en relación a ello. Las distintas opciones incluyen el número de tambores, la configuración del grupo, el peso de la arena en cada línea de la serie y el tamaño del tambor.

Debido a que los amortiguadores de impacto de tambores de plástico con arena, son dispositivos sin capacidad de redireccionamiento, es importante posicionar cuidadosamente los tambores posteriores. Si el sistema no ha sido diseñado apropiadamente, los impactos en los tambores posteriores de estos dispositivos pueden ocasionar el enganchamiento en la esquina del obstáculo rígido. Por esto, se recomienda que los módulos exteriores, en las últimas tres líneas posteriores, traslapen en su ancho al objeto fijo del cual se quiere defender, para de esta forma evitar impactos laterales.

En general, el uso de tambores de plástico será excepcional y en condiciones altamente eficientes, desde el punto de vista de la seguridad vial, en relación con los requerimientos del proyecto y las recomendaciones del fabricante. En la Sección 4.302 del MC-V4 se encuentran más antecedentes sobre este sistema de contención.

F.2. Emplazamiento de Amortiguadores Con Capacidad de Redireccionamiento

F.2.1. Sistema Telescópico

En la Figura 3.3.2_78, se entregan las dimensiones del área que se debe disponer para la instalación de amortiguadores de impacto con capacidad de redireccionamiento. Aunque muestra el espacio necesario para una bifurcación, sus requerimientos se pueden aplicar para cualquier objeto que pueda necesitar protección.

Las dimensiones listadas en la columna “recomendado”, deben ser consideradas como óptimas, porque aseguran mejor que los dispositivos puedan funcionar correctamente y dan suficiente espacio para su eventual mantenimiento.

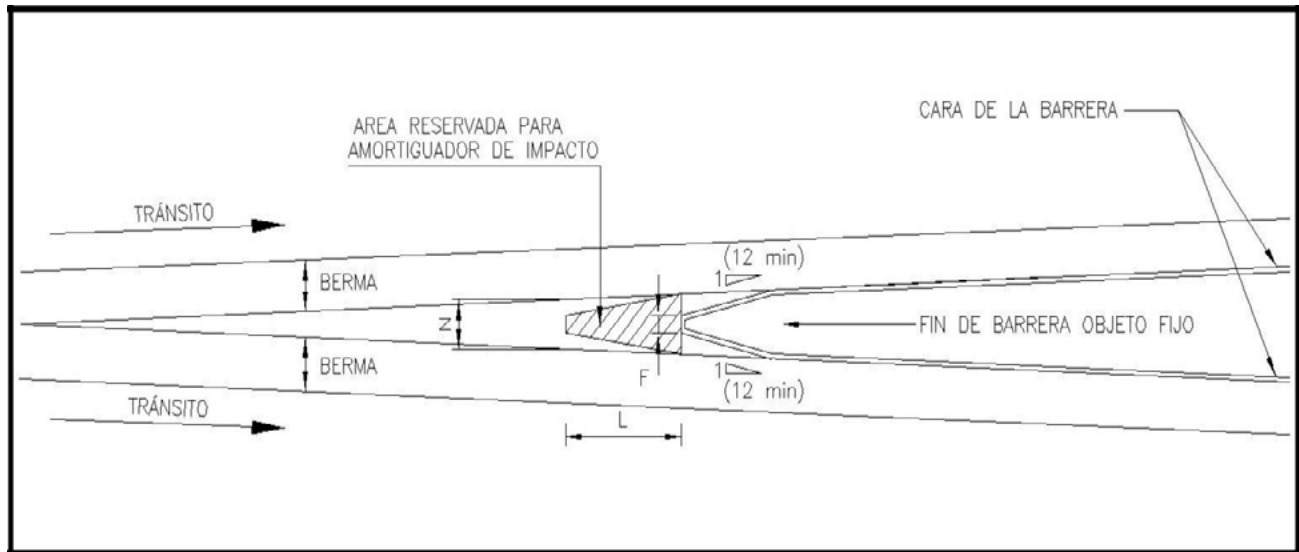
La condición “no restrictiva” representa las dimensiones mínimas para una función adecuada de un amortiguador de impacto. Sólo en caminos y en aquellos sitios donde se pueda demostrar que lograr las dimensiones de la condición “no restrictiva” aumenta demasiado los costos, se podrán usar las dimensiones mínimas de la condición “restrictiva”. Debido a que en la condición “restrictiva”, ante algunos impactos, el amortiguador podrá no responder adecuadamente y el mantenimiento requerirá cerrar transitoriamente pistas adyacentes, se requiere que un especialista la analice detalladamente para ese caso, proponiéndola al Inspector Fiscal del proyecto o de la obra, según corresponda, quien deberá aprobarla en base a los antecedentes presentados.

Tabla 3.3.2_31. EMPLAZAMIENTO DE AMORTIGUADORES CON CAPACIDAD DE REDIRECCIONAMIENTO

Velocidad de Proyecto (km/h)	Dimensiones del Amortiguador de Impacto (m)								
	Mínimo						Recomendado		
	Condición Restrictiva			Condición NO Restrictiva					
	N	L	F	N	L	F	N	L	F
50	2	2.5	0.5	2.5	3.5	1	3.5	5	1.5
80	2	5.0	0.5	2.5	7.5	1	3.5	10	1.5
110	2	8.5	0.5	2.5	13.5	1	3.5	17	1.5
130	2	11.0	0.5	2.5	17.0	1	3.5	21	1.5

Fuente: RDG 2002

Figura 3.3.2_78. UBICACION DE AMORTIGUADORES CON CAPACIDAD DE REDIRECCIONAMIENTO (PLANTA)



Fuente: RDG 2002

De no contar con el espacio de reserva indicado, se debe modificar el diseño del proyecto, con la finalidad de obtener la superficie requerida.

La información entregada en la Tabla 3.3.2_31 es genérica y podría dejar fuera de consideración a algunos sistemas. Se recomienda que el proyectista elija entre varias opciones de amortiguadores de impacto disponibles, además de conocer los requerimientos de espacio necesario entregado por el fabricante. El proyectista debe tener claro que las condiciones del lugar de emplazamiento, a veces, puede ser determinante al momento de elegir el dispositivo.

3.3.2.4.7. PISTAS DE EMERGENCIA

A. GENERALIDADES Y CONCEPTOS BÁSICOS

La combinación de vehículos de grandes dimensiones, como camiones y buses, con pendientes fuertes, representan un gran riesgo para los usuarios de las rutas y para quienes habitan en propiedades colindantes a éstas.

Características topográficas accidentadas, compuestas de continuos desniveles, muy frecuentes en nuestros caminos, generan rutas con pendientes pronunciadas, lo que se traduce en condiciones inseguras para la circulación de vehículos, debido a que se ven expuestos a constantes cambios de velocidad, utilización permanente de los frenos y acción retardante de los motores, al llevarlos enganchados continuamente, medidas que no son siempre suficientes para mantener a los vehículos bajo control, derivando a menudo en accidentes de gravedad.

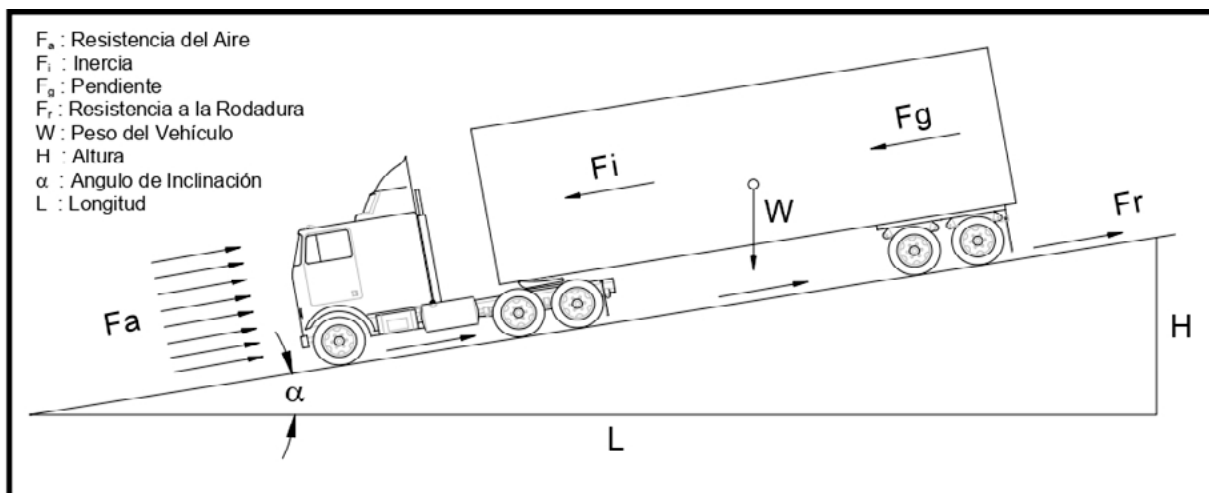
Así, las pistas de emergencia, tienen su origen en la observación de la reacción permanente de los conductores frente a sucesos en la ruta. Obviamente, los operadores de camiones que experimentaban este problema sintieron que era preferible realizar una maniobra controlada de escaparse del camino, a perder totalmente el control. Es por ello que antes de diseñarse y desarrollarse las pistas de emergencia, los vehículos fuera de control, se estrellaban contra montículos de arena o grava que se encontraban ubicados en la berma de los caminos, para fines de mantenimiento de los mismos. En algunas ocasiones, los operadores de los vehículos fuera de control se salían del camino en dirección a las lomas ascendentes o hacia caminos laterales para atenuar la velocidad del vehículo.

Algunas investigaciones aportaron datos relativos a las características y la velocidad de los camiones que ingresaban a una pista de emergencia, midiendo así la distancia recorrida antes de

ser detenidos. A partir de esa información, se elaboraron fórmulas para determinar la longitud de estas pistas, en función de la velocidad de ingreso de los vehículos, la inclinación de éstas y la resistencia a la rodadura de su superficie.

Las fuerzas que actúan en cada vehículo y que afectan la velocidad de éstos, incluye al motor, frenos y la sumatoria de fuerzas presentes directamente sobre el móvil. En todo caso, la fuerza del motor y de los frenos puede ser ignorada en el diseño de las pistas de emergencia, puesto que éstas deberán ser proyectadas considerando el caso más desfavorable, es decir, que los vehículos estén completamente fuera de control y los frenos descompuestos.

Figura 3.3.2_79. FACTORES QUE ACTUAN SOBRE UN VEHICULO EN PENDIENTE



Ahora bien, la sumatoria de fuerzas que actúa sobre el vehículo corresponde a la inercia, el aire, la resistencia a la rodadura y la pendiente.

La inercia, puede ser definida como una fuerza que se opone al movimiento del vehículo cuando está detenido, o a detenerse cuando está en movimiento, a menos que sobre el vehículo actúe una fuerza externa. La inercia podría ser superada por un incremento o una disminución de la velocidad del vehículo. La resistencia a la rodadura y la gradiente pueden contribuir a equiparar o superar la inercia de un vehículo.

La resistencia a la rodadura, es la resistencia al movimiento generado por el roce en área de contacto entre los neumáticos de los vehículos y la superficie de la capa de rodadura y es aplicable solamente cuando el vehículo está en movimiento. Su influencia depende principalmente del tipo de superficie en la que el móvil se desplace.

La inclinación hace que se manifieste la fuerza de gravedad, pudiendo ser aquella positiva (gradiente) o negativa (pendiente). Se expresa como la fuerza requerida para mover un vehículo venciendo un desnivel.

La última fuerza es la resistencia del aire, que es una fuerza negativa y que retarda el movimiento, debido a que está en contacto con diferentes superficies del vehículo. El aire causa una significativa resistencia para velocidades por encima de los 80 km/h y es despreciable bajo los 30 km/h. Generalmente, el efecto de la resistencia del aire ha sido despreciable en la determinación de las longitudes de las pistas de emergencia, debido a que introduce un pequeño factor de seguridad en su diseño.

B. TIPOS DE PISTAS DE EMERGENCIA

Existen tres categorías para identificar los tipos de pistas de emergencia más utilizadas, estas son: rampas de escape gravitacionales, montículos de arena y lechos de frenado.

Las rampas de escape gravitacionales, tienen un pavimento o material granular compactado densamente en la superficie, confiando fundamentalmente en la fuerza de gravedad para dis-

minuir y detener la carrera de los vehículos. Este tipo de rampa por lo general es de una gran longitud, debe tener una importante gradiente, y requiere de un control topográfico continuo. El mayor inconveniente que presenta este tipo de rampa, es que una vez que se ha logrado la detención del móvil, podría comenzar el descenso de éste, debido a que no cuenta con su sistema de frenos, generando una situación de riesgo para el conductor y para el resto de los vehículos que circulan por la vía. Por lo tanto, este tipo de pistas de emergencia sólo debe ser utilizada en rutas de poco tránsito y bajo condiciones controladas.

En el caso de las rampas de montículos de arena, están compuestas de arena suelta y seca, y su longitud normalmente no sobrepasa los 120 m. La influencia de la gravedad depende de la pendiente de la superficie. El incremento de la resistencia a la rodadura es suministrado por la arena suelta. Las desaceleraciones en los montículos de arena usualmente son muy severas y la arena puede ser afectada por el clima. Por sus características de deceleración brusca, este tipo de rampa presenta un importante riesgo para los conductores, por lo que no se recomienda en general.

Por último, para el caso de los lechos de frenado, éstos son construidos normalmente paralelos y adyacentes a las rutas. Este tipo de pista utiliza material granular suelto, de manera tal que aumente la resistencia a la rodadura, a medida que avanza el vehículo, generando la detención final de éste.

Donde la topografía es adecuada, el lecho de frenado horizontal es una buena opción. Construido en una pendiente suave, este tipo de pistas de emergencia incrementa la resistencia a la rodadura a partir del agregado suelto, teniendo como resultado la disminución y detención del vehículo fuera de control.

El más común de los lechos de frenado es el de pendiente ascendente, ya que tiene la gran ventaja de utilizar la inclinación del terreno, como complemento de los materiales granulares utilizados en la construcción de él, reduciendo así su longitud.

Cada una de las pistas de emergencia descritas, son aplicables para ciertas situaciones particulares, que en general, se relacionan con la topografía y la ubicación del lugar de emplazamiento. Los procedimientos usados para el análisis de estas pistas, son esencialmente los mismos para cada una de las categorías o tipos identificados. Lo que marca la diferencia en los diferentes procedimientos, es el tipo de material utilizado, ya que éste influirá directamente en el factor de resistencia a la rodadura requerido para disminuir y detener en forma segura a los vehículos. En todo caso, debido a que ofrece mejores condiciones de seguridad para los usuarios, en esta Sección se preferirá la instalación de lechos de frenado, los que se describen a continuación. No obstante, en el Numeral 3.302.602 del MC-V3 se pueden encontrar antecedentes complementarios con respecto a este tipo de pistas de emergencia.

C. CRITERIOS DE DISEÑO PARA PISTAS DE EMERGENCIA

C.1. Fundamentos Básicos

Existen algunos fundamentos básicos en el diseño de las pistas de emergencia, en general, relacionados con las características físicas, pero también consideran lo relativo a la seguridad de los usuarios.

Nunca debe olvidarse que el diseño de las pistas de emergencia está orientado a salvar vidas y que la persona que conduce un vehículo, que está completamente fuera de control, no se encuentra en condiciones de tomar decisiones o realizar acciones complejas.

Por lo tanto, al diseñar una pista de emergencia, incluyendo su señalización, el proyectista debe generar las condiciones necesarias para que el conductor de un vehículo con averías, conozca o reconozca la existencia de esta pista, entienda las maniobras que debe realizar y, sienta la confianza suficiente de ingresar y no continuar por la ruta principal.

Las condiciones mínimas que se deben cumplir en el diseño de una pista de emergencia son:

- Contar con un acceso amplio y en un ángulo máximo de 15°.
- Tener una buena visibilidad de toda la rampa, la mayor cantidad de tiempo posible (si el conductor percibe discontinuidades, aunque éstas no sean importantes, no entrará en ella).
- Tener una longitud suficiente y ser recta.
- Colocar los materiales adecuados.
- Contar con una pista auxiliar para remover vehículos y permitir su mantenimiento.
- Otro elemento que favorece la seguridad de las rampas de escape es la iluminación nocturna.

C.2.Situaciones que Justifican la Existencia de una Pista de Emergencia

En general, se justificará la instalación de una pista de emergencia en las siguientes situaciones:

- Lugares con estadística de accidentes, causados por vehículos pesados fuera de control, debido a averías en el sistema de frenos.
- El concepto de frenos humeantes, que tiene relación con la condición que presenta el sistema de frenos de un vehículo al ser constantemente utilizado y conlleva un análisis visual en la ruta.
- El volumen total de tránsito y, en especial, el flujo de los camiones.
- El número de pistas en la pendiente.
- Geometría horizontal. Determinar la existencia de curvas que generen que la mayoría de los camiones fuera de control, se salgan antes de llegar a una pista de emergencia.
- Geometría vertical. Analizar la longitud y dimensión de las pendientes.
- Zonas con importante tránsito de camiones y con pendiente sostenida superior a 5%, y que además se cumpla que:

$$L * i^2 > 60.$$

Donde:

L = Longitud en pendiente (km)

i = Pendiente (%)

Si después de la pendiente sostenida y, antes de llegar a una curva restrictiva, continúa un tramo de pendiente nula o en contrapendiente, de longitud suficiente para detener el vehículo fuera de control, se deberá analizar no implementar la pista de emergencia.

Junto con lo anterior, se deberán analizar el riesgo para los habitantes aledaños a la ruta o para las diferentes actividades que se desarrollen adyacentes a la vía ya que, en algunos casos, son razones suficientes para la instalación de una pista de emergencia.

C.3.Ubicación de la Pista de Emergencia

En general, los factores que más comúnmente son considerados a la hora de proyectar una pista de emergencia, y que deben ser evaluados, como mínimo, corresponden a:

- Deberá estar ubicada en un punto de la pendiente que permita interceptar la mayor cantidad de vehículos fuera de control y por supuesto, antes del lugar donde se hayan registrado accidentes asociados.
- Deberán ser construidas antes de las curvas que no pueden ser enfrentadas en forma segura, por un vehículo fuera de control. No es aconsejable disponer rampas en tramos con fuerte curvatura horizontal, ya que seguramente el vehículo saldrá fuera de la ruta antes de llegar a ésta.
- Deberán ser visibles desde una larga distancia, de manera que el conductor pueda preparar la maniobra de acceso con antelación. No es aconsejable disponer rampas luego de una curva vertical convexa.
- Deberán ubicarse siempre en el costado derecho de la vía y lo más tangente posible a ésta. Sólo en vías unidireccionales se podrá emplazar una rampa en el costado izquierdo, cuidando en todo caso, que el lugar tenga una adecuada visibilidad, tanto para el conductor del vehículo siniestrado, como para los otros usuarios de la vía.
- Deberán tener una adecuada preseñalización y ser perfectamente distinguibles, especialmente de noche, de manera de evitar que un conductor las pueda confundir con la vía principal. Disponer iluminación nocturna en los casos de geometría complicada.

C.4. Geometría de una Pista de Emergencia

C.4.1. Acceso y Ancho

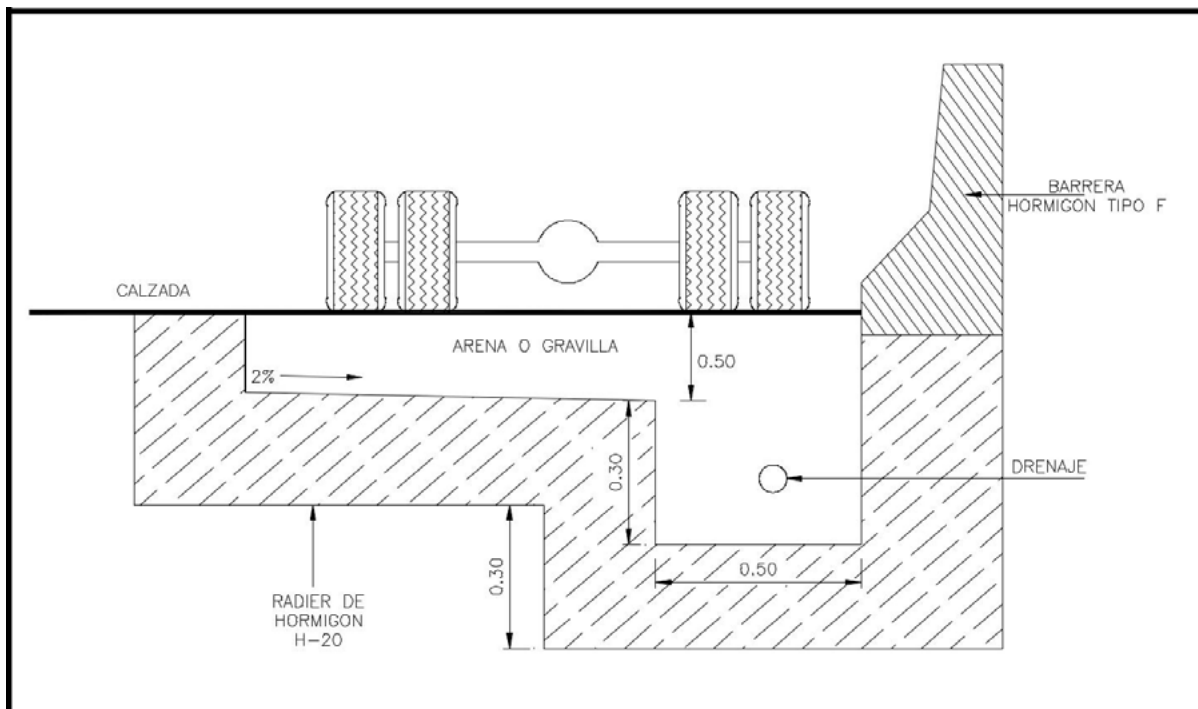
El acceso a las pistas de emergencia debe ser perfectamente distinguible y estar completamente despejado. El ángulo del acceso respecto a la vía principal no debiera superar los 15°.

Tan importante como lo indicado anteriormente, es la instalación de una señal especial con fondo de color rojo que señale el acceso o entrada a la pista de emergencia. La señal se sustentará mediante dos postes con base colapsable para impedir que el vehículo impactado se encuentre con un punto duro.

La señalización correspondiente a las pistas de emergencia, se encuentra detallada en el Capítulo 6.300 de este Volumen.

El ancho de la pista de emergencia tendrá como mínimo 5 metros. Cuando esté ubicada junto a un terraplén o una ladera, que involucre un peligro de caída del vehículo fuera de control, se recomienda la instalación de una barrera de hormigón tipo F en el costado de riesgo, tal como lo muestra la Figura 3.3.2_80.

Figura 3.3.2_80. BARRERAS TIPO F EN BORDES DE PISTAS DE EMERGENCIA



C.4.2. Longitud

La longitud de la pista de emergencia, se determinará utilizando la siguiente ecuación desarrollada por la AASHTO:

$$L = \frac{V^2}{254 \cdot (R + i)}$$

Donde:

L = Distancia de detención (m).

V = Velocidad de entrada (km/hr). Se considera $V = V_p + 20$ km/h.

i = Pendiente o gradiente de la pista de emergencia, dividida por 100 (pendiente (-), gradiente (+)). Rangos entre +12% y -12%.

R = Resistencia a la rodadura del material de la pista de emergencia, expresado como un equivalente de la pendiente, dividido por 100.

La longitud total mínima (LT) del lecho de frenado debiera ser, por razones de seguridad:

$$LT = 1,25 \times L \text{ (m)}$$

La resistencia a la rodadura "R" se entrega en la siguiente Tabla, para algunos de los tip-pos de materiales con que se puede confeccionar una pista de emergencia:

Tabla 3.3.2_32. RESISTENCIA A LA RODADURA

Material Superficial de la Pista de Emergencia	Resistencia a la rodadura (kg/1000 kg)	Grado Equivalente (R)
Concreto con Cemento Portland	10	0.010
Concreto Asfáltico	12	0.012
Grava Compactada	15	0.015
Tierra Arenosa Suelta	37	0.037
Agregado Molido Suelto	50	0.050
Grava suelta	100	0.100
Arena	150	0.150
Gravilla de tamaño uniforme	250	0.250

FUENTE: A POLICY ON GEOMETRIC DESIGN OF HIGWAYS AND STREETS (AASHTO, 1994)

La Tabla 3.3.2_33 presenta un ejemplo con los largos para pistas de emergencia, correspondientes a dos tipos de materiales diferentes (arena y grava suelta) y una pendiente de 8%, en función de la velocidad de entrada del vehículo.

Tabla 3.3.2_33. EJEMPLO DE LARGOS TIPICOS DE PISTAS DE EMERGENCIA PARA GRAVA Y ARENA (PENDIENTE 8%)

Velocidad (km/hr)	Largo Total Mínimo (m) (Grava Suelta)	Largo Total Mínimo (m) (Arena)
50	69	54
60	99	77
70	135	105
80	175	138
90	222	174
100	274	215
120	394	308

De la Tabla anterior, por ejemplo, si se asume que las condiciones topográficas en un sector seleccionado para diseñar una pista de emergencia, imponen una gradiente de 8%, implica un valor $i = + 0.08$. Además, si el lecho de frenado se construirá con una grava suelta, le corresponde un valor de $R = 0,10$ y la velocidad de entrada del vehículo es de 100 km/h, se obtiene una longitud de diseño de 219 m, pero, al incrementar en 25%, se llega a la longitud total mínima de 274 m que tendrá la pista de emergencia.

Cuando la pendiente varía dentro del lecho de frenado, la velocidad final al término de la primera pendiente puede ser calculada y utilizada como la velocidad inicial en la segunda pendiente, y así sucesivamente.

Utilizando la misma fórmula se tiene:

$$V_f^2 = V_i^2 - 254 L(R \pm i)$$

Donde:

V_i = Velocidad al inicio del tramo. Corresponde a $V_i = V_p + 20$ km/h.

V_f = Velocidad final del tramo.

La velocidad del vehículo es determinada en cada cambio de pendiente de la rampa. La velocidad final de un tramo corresponderá a la velocidad inicial del próximo tramo.

C.4.3. Profundidad

En general, en el caso de lechos de frenado, la pista de emergencia debe ser construida con profundidades variables para evitar desaceleraciones excesivas. Es recomendable comenzar con una profundidad de 75 a 100 mm en la entrada, hasta llegar paulatinamente a la profundidad total, considerando una pendiente relativa del fondo entre 1 y 2%. La profundidad total debiera ser mínimo 0,5 m, pudiendo llegar a 1,0 m o más en lechos diseñados con grava de río.

D. TIPOS DE MATERIALES

Los materiales a ser utilizados en la superficie de los lechos de frenado deben estar limpios, no deben ser fáciles de compactar y contener un alto coeficiente de resistencia a la rodadura.

Cuando se utilicen áridos, éstos deben estar compuestos de elementos redondeados, predominantemente de un mismo tamaño y limpio de partículas y contaminación. El uso de un tipo de material grande y de tamaño regular, minimizará los problemas derivados de la retención de humedad y congelamiento, así como también disminuirá el mantenimiento requerido.

El material que se recomienda es la gravilla de tamaño uniforme, suave, redondeada y no compactada, cuyo tamaño ideal debe estar comprendido dentro del rango $\frac{1}{4}$ " a $1\frac{1}{2}$ ", con un promedio de las mismas entre $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{4}$ ". No obstante lo anterior, también puede utilizarse grava suelta o arena.

Para asegurar la durabilidad y resistencia al desgaste del material tipo grava o gravilla en las pistas de emergencia, se debe realizar la determinación del desgaste de Los Ángeles, considerándose como máximo un valor de 30% según el Método 8.202.11 del MC-V8.

E. DRENAJE

El drenaje es un factor fundamental en la vida útil de los lechos de frenado, principalmente por dos razones. La primera es que el congelamiento anula la eficacia de este tipo de pistas de emergencia en climas fríos, y segundo, el saneamiento inadecuado puede llevar a la acumulación de partículas que llenen los huecos, compacte los áridos y finalmente reduzca el rendimiento de los lechos de frenado.

Una de las medidas para contrarrestar lo anterior, consiste en diseñar el fondo del lecho de frenado con pendiente, de manera de instalar un dren longitudinal que intercepte y desvíe las aguas que entren a la pista de emergencia. En zonas de alta pluviometría se recomienda, además, incorporar un sistema interceptor consistente en drenes transversales.

Para evitar la colmatación de los drenes y la contaminación del material del lecho de frenado, se debe impedir la infiltración de material fino desde el suelo natural, para lo cual se recomienda utilizar geotextiles o pavimento en la subrasante.

Cuando exista una probabilidad de contaminación por petróleo u otro tipo de material, es conveniente pavimentar la base del lecho de frenado y colocar estanques de almacenamiento para retener los contaminantes que eventualmente puedan caer de los vehículos en emergencia.

F. RESCATE DE VEHÍCULOS

El diseño adecuado de una pista de emergencia, no sólo debe estar orientado a mitigar las consecuencias de los vehículos fuera de control que sufren un accidente, sino que además debe considerar disposiciones para facilitar la remoción de éstos por medio de grúas u otros equipos de rescate. Para ello, es indispensable diseñar pistas auxiliares de servicio y pilares de seguridad, de manera tal que, en conjunto, formen un diseño integral de las pistas de emergencia.

Ahora bien, estos elementos adicionales deben estar diseñados de tal forma que el conductor que viene en un vehículo fuera de control, no los confunda con la pista de emergencia. Esta distinción tiene especial relevancia sobretodo en una conducción nocturna.

Para esto, se deberá disponer de un camino auxiliar con un ancho mínimo de 3,0 m, adyacente al lecho de frenado y al mismo costado donde se ubica la vía, o bien, como se muestra en la Lámina 6.504.6.A. Este camino auxiliar, debe permitir el acceso a camiones de remolque que acudan a retirar los vehículos atrapados y provea una superficie dura, alejada de la ruta principal, hacia la cual se puedan arrastrar los vehículos rescatados. Este camino puede estar diseñado con una capa granular de rodadura. No obstante, especialmente en zonas de lluvia, se preferirá pavimentado.

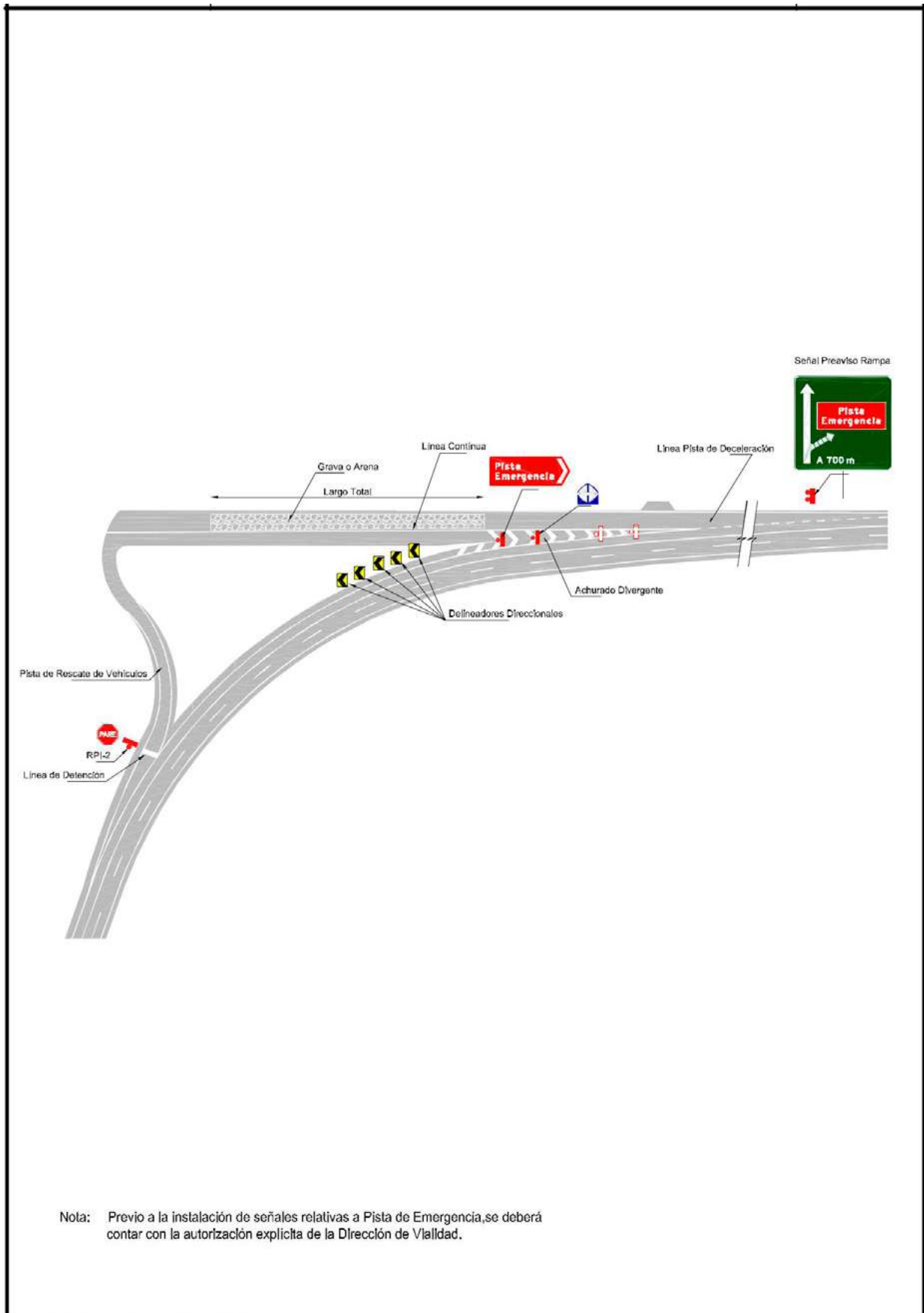
Los pilares de seguridad deberán estar ubicados a distancias regulares, de entre 50 y 100 m entre si, y emplazados en el camino auxiliar, alejados del lecho de frenado, pero, partiendo desde el inicio de la pista de emergencia, lo que facilitará el rescate de los vehículos que sólo hayan entrado una corta distancia en el lecho de frenado.

Donde las condiciones topográficas lo permitan, se deberá diseñar el camino auxiliar con un retorno al camino principal. Esto facilitará, tanto a la grúa como al vehículo rescatado, el ingreso a la ruta.

G. SEÑALIZACIÓN DE UNA PISTA DE EMERGENCIA

Se utilizarán, como mínimo, dos señales de preseñalización (IP), ubicando la primera al inicio de la cuesta y la última, al menos 700 metros antes de la ubicación de la Pista de Emergencia. Estas señales se complementarán con balizas de acercamiento (ID-3), indicando la proximidad de la pista a 300, 200 y 100 metros. Finalmente, se ubicará una señal de dirección (ID) la que determina exactamente el lugar de la entrada a la pista de emergencia.

Previo a la instalación de las señales de Pista de Emergencia, se deberá contar con la autorización explícita de la Dirección de Vialidad.



MOP - DGOP - DIRECCIÓN DE VIALIDAD - CHILE

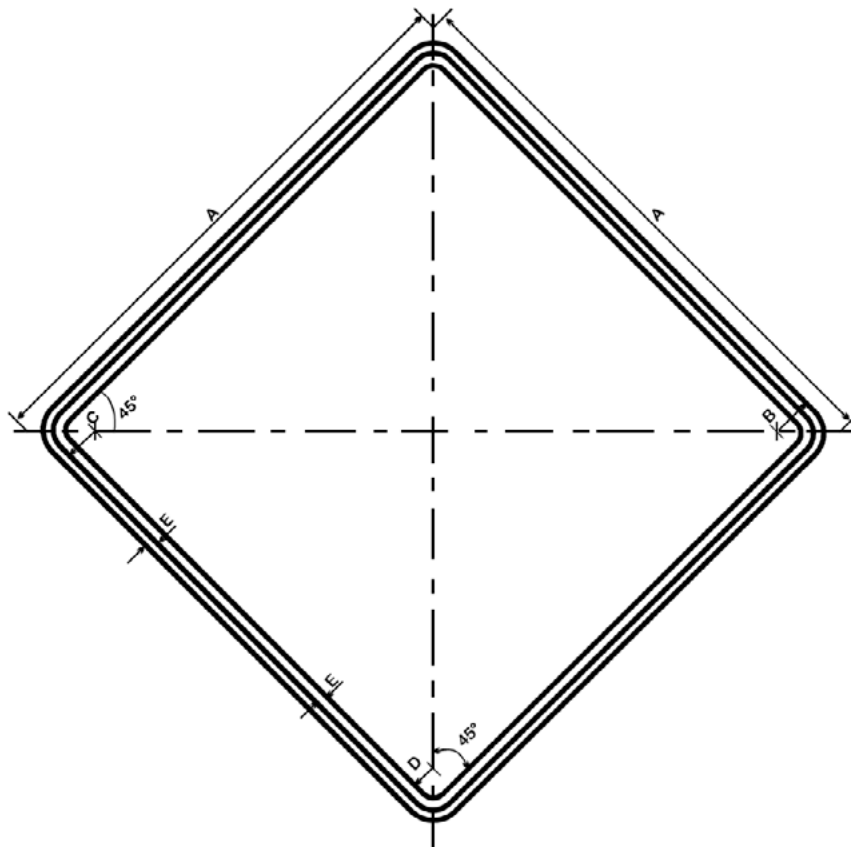
SECCION 3.3.2.5. | DISEÑO DE LAS SEÑALES VERTICALES

En esta sección se hace referencia a las características y diseños que deben cumplir los materiales utilizados para la señalización de vías.

3.3.2.5.1. SEÑALES PREVENTIVAS

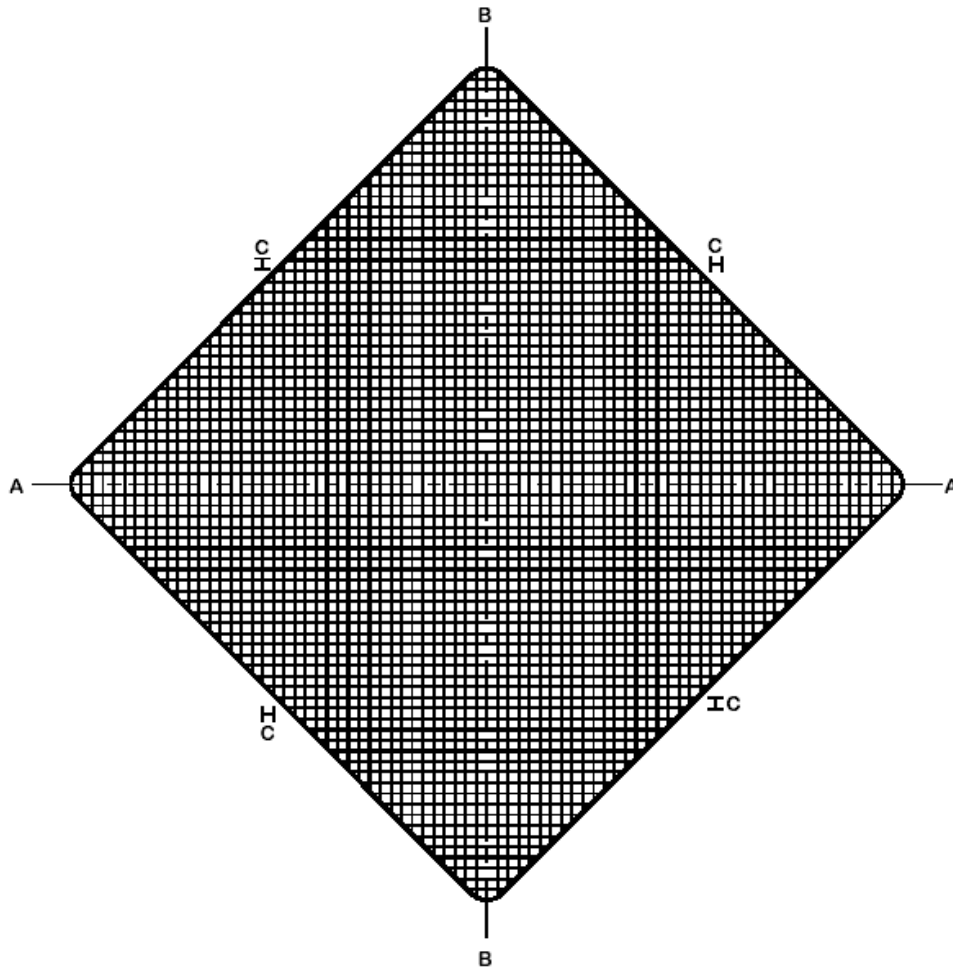
A.

A.1. FORMA, COLORES Y DIMENSIONES PARA EL DISEÑO DE SEÑALES VERTICALES PARA CALLES Y CARRETERAS



COLOR		SEÑAL	DIMENSIONES (cm)				
FONDO	AMARILLO		A	B	C	D	E
SÍMBOLO	NEGRO	60,00	60,00	4,00	3,00	2,00	1,00
ORLA	NEGRO	75,00	75,00	5,00	3,75	2,50	1,25
		90,00	90,00	6,00	4,50	3,00	1,50
		120,00	8,00	6,00	4,00	2,00	

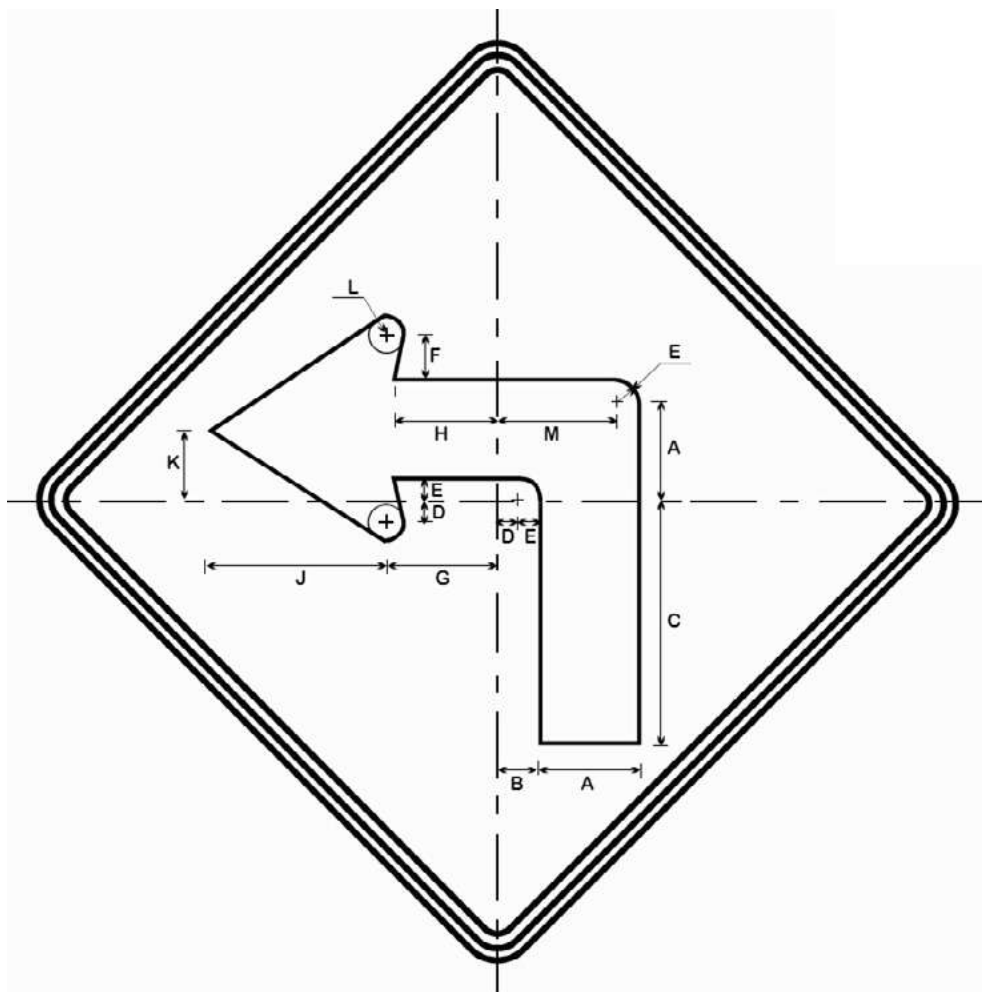
A.2. DIMENSIONES DE CUADRÍCULA



SEÑAL	DIMENSIONES CUADRÍCULA
	(cm)
60.00	C = 1.00
75.00	C = 1.25
90.00	C = 1.50
120.00	C = 2.00

B. SEÑALES VERTICALES PREVENTIVAS PARA DESCRIBIR CARACTERÍSTICAS DE LA VÍA

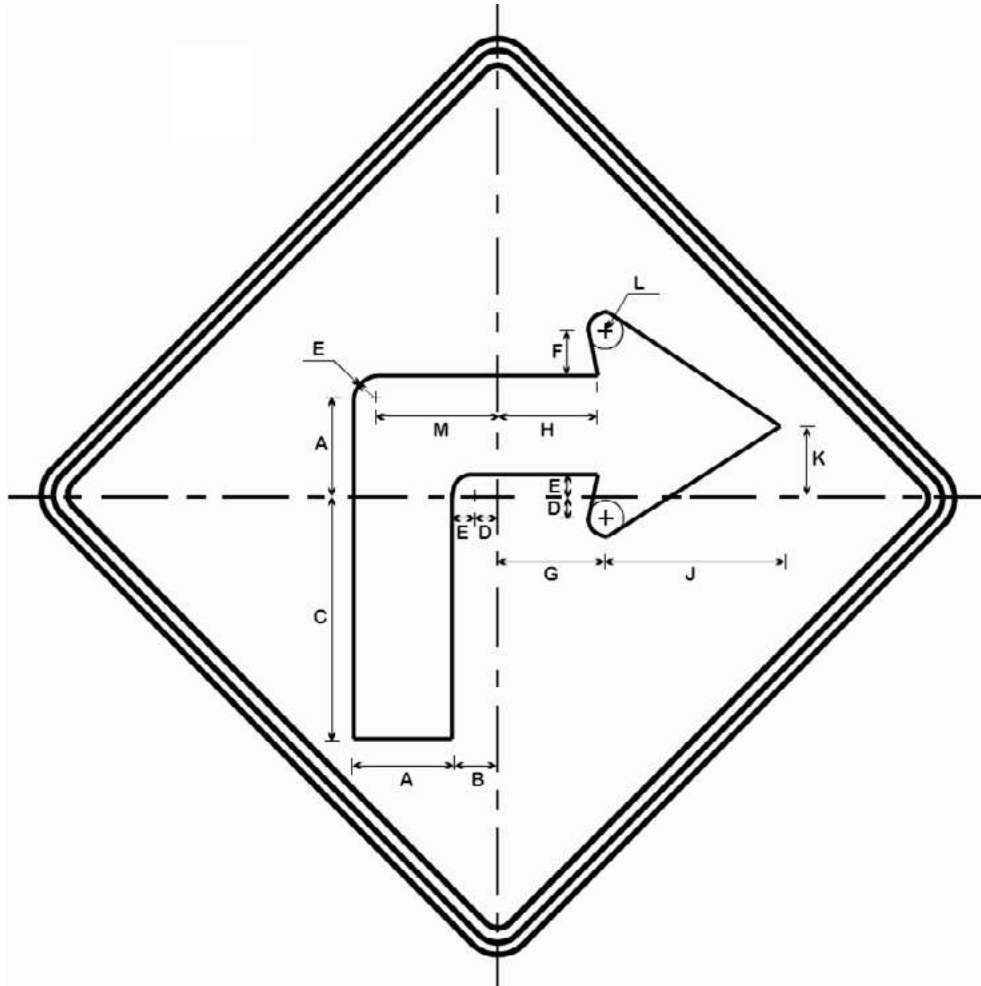
B.1. P-01: CURVA PELIGROSA A LA IZQUIERDA



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)											
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M
60,00	9,00	5,00	22,00	3,00	2,00	4,95	8,00	7,70	16,85	6,50	0,90	12,00
75,00	11,0	6,00	27,50	3,50	2,50	6,00	10,50	10,15	20,50	8,00	1,10	14,50

Nota.- Señal aplicable para velocidad ≤ 50 km/h.

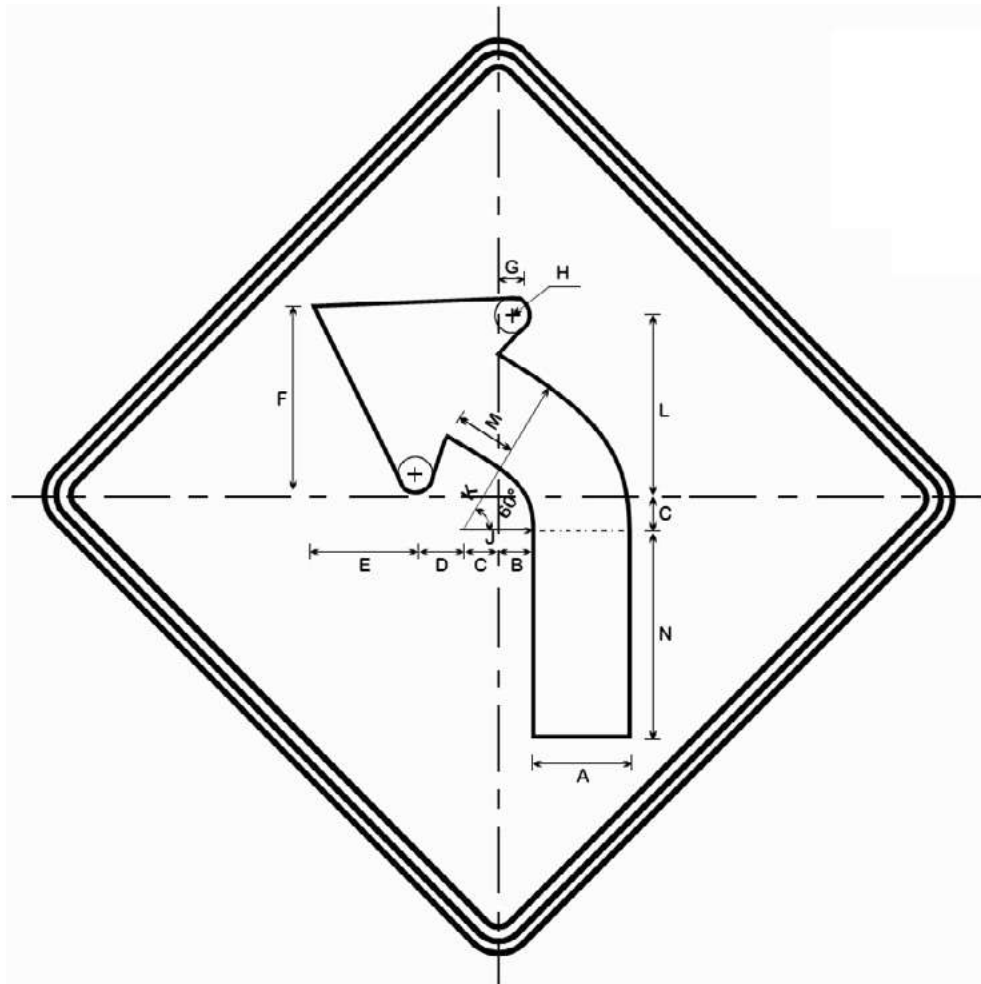
B.2. P-02: CURVA PELIGROSA A LA DERECHA



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)											
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M
60,00	9,00	5,00	22,00	3,00	2,00	4,95	8,00	7,70	16,85	6,50	0,90	12,00
75,00	11,0	6,00	27,50	3,50	2,50	6,00	10,50	10,15	20,50	8,00	1,10	14,50

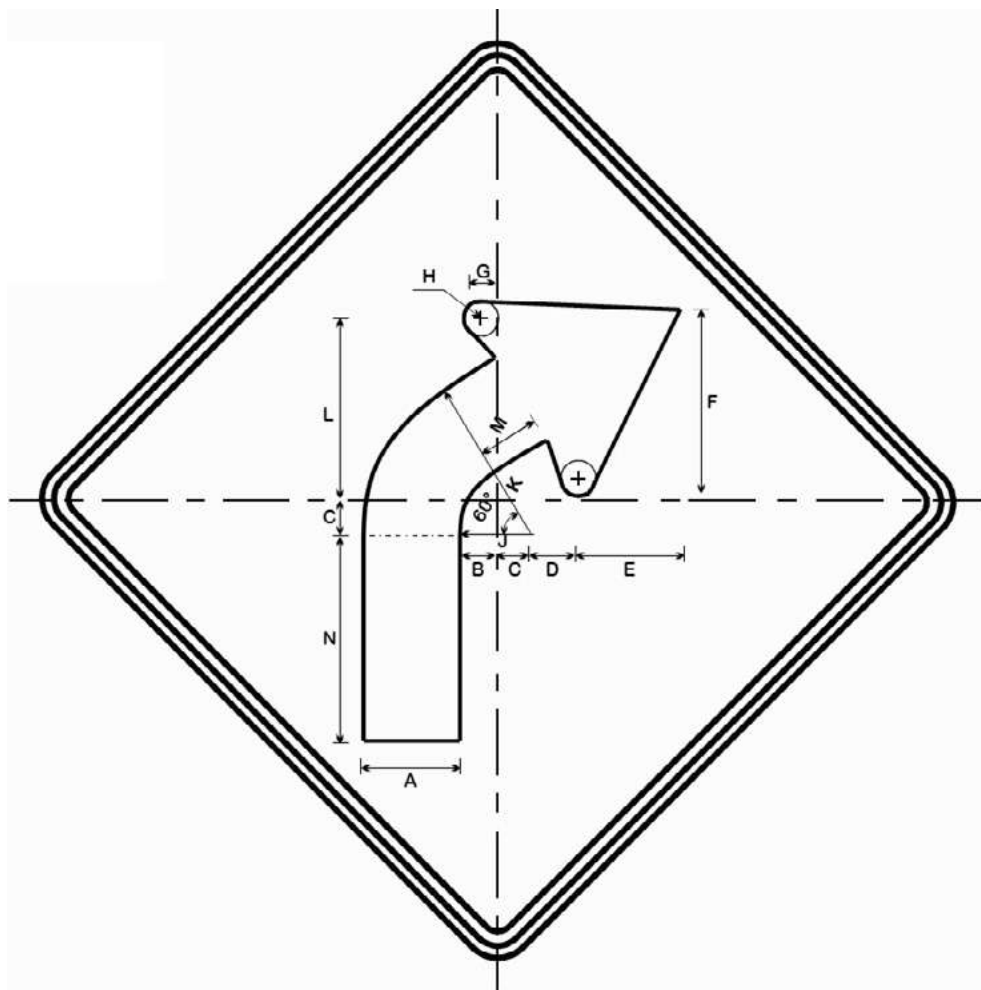
Nota.- Señal aplicable para velocidad ≤ 50 km/h.

B.3. P-03: CURVA PRONUNCIADA A LA IZQUIERDA



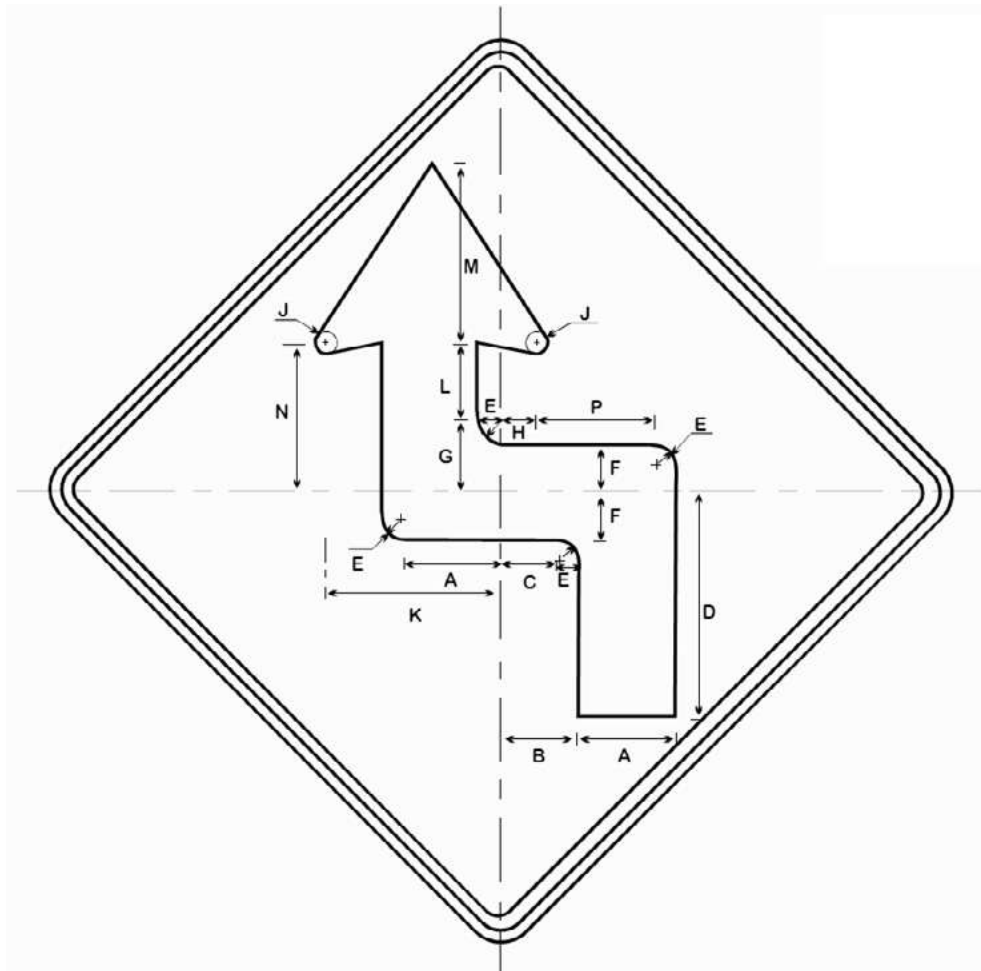
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)												
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N
60,00	9,00	3,40	3,40	3,80	10,00	17,60	2,25	0,90	6,80	15,80	17,20	5,30	19,00
75,00	11,0	4,00	3,80	5,00	12,00	21,30	2,70	1,10	7,80	18,80	20,90	6,50	23,50
90,00	14,00	5,10	5,10	6,70	15,00	26,40	3,37	1,35	10,20	23,70	25,80	7,95	28,50
120,00	18,00	6,80	6,80	7,60	20,00	35,20	4,50	1,80	13,60	31,60	34,40	10,60	38,00

B.4. P-04: CURVA PRONUNCIADA A LA DERECHA



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)												
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N
60,00	9,00	3,40	3,40	3,80	10,00	17,60	2,25	0,90	6,80	15,80	17,20	5,30	19,00
75,00	11,0	4,00	3,80	5,00	12,00	21,30	2,70	1,10	7,80	18,80	20,90	6,50	23,50
90,00	14,00	5,10	5,10	6,70	15,00	26,40	3,37	1,35	10,20	23,70	25,80	7,95	28,50
120,00	18,00	6,80	6,80	7,60	20,00	35,20	4,50	1,80	13,60	31,60	34,40	10,60	38,00

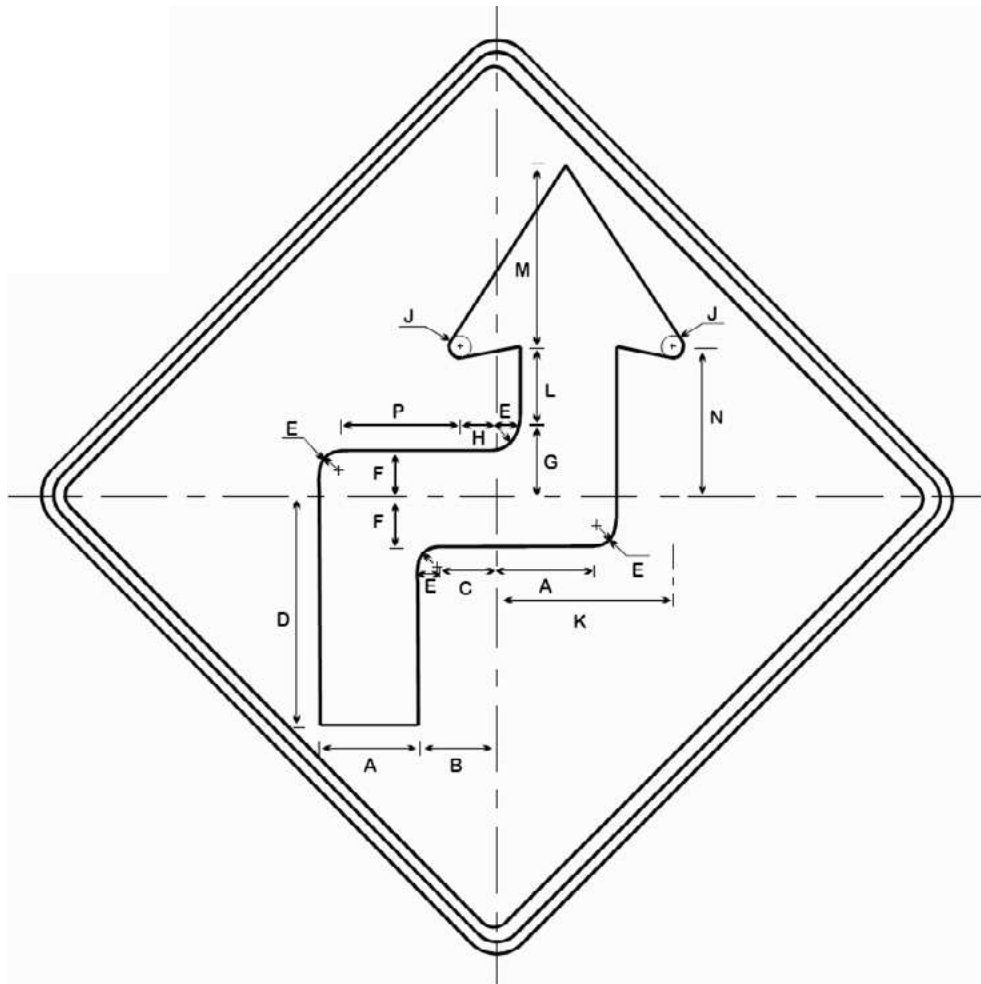
B.5. P-05: CURVA Y CONTRACURVA PELIGROSAS (IZQUIERDA- DERECHA)



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)													
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P
60,00	9,00	7,00	5,00	20,50	2,00	4,50	6,50	3,00	0,90	16,00	7,00	17,15	13,75	11,00
75,00	11,0	8,50	6,00	25,50	2,50	5,50	8,00	3,50	1,10	19,50	8,50	20,85	16,90	13,50

Nota.- Señal aplicable para velocidad ≤ 50 km/h.

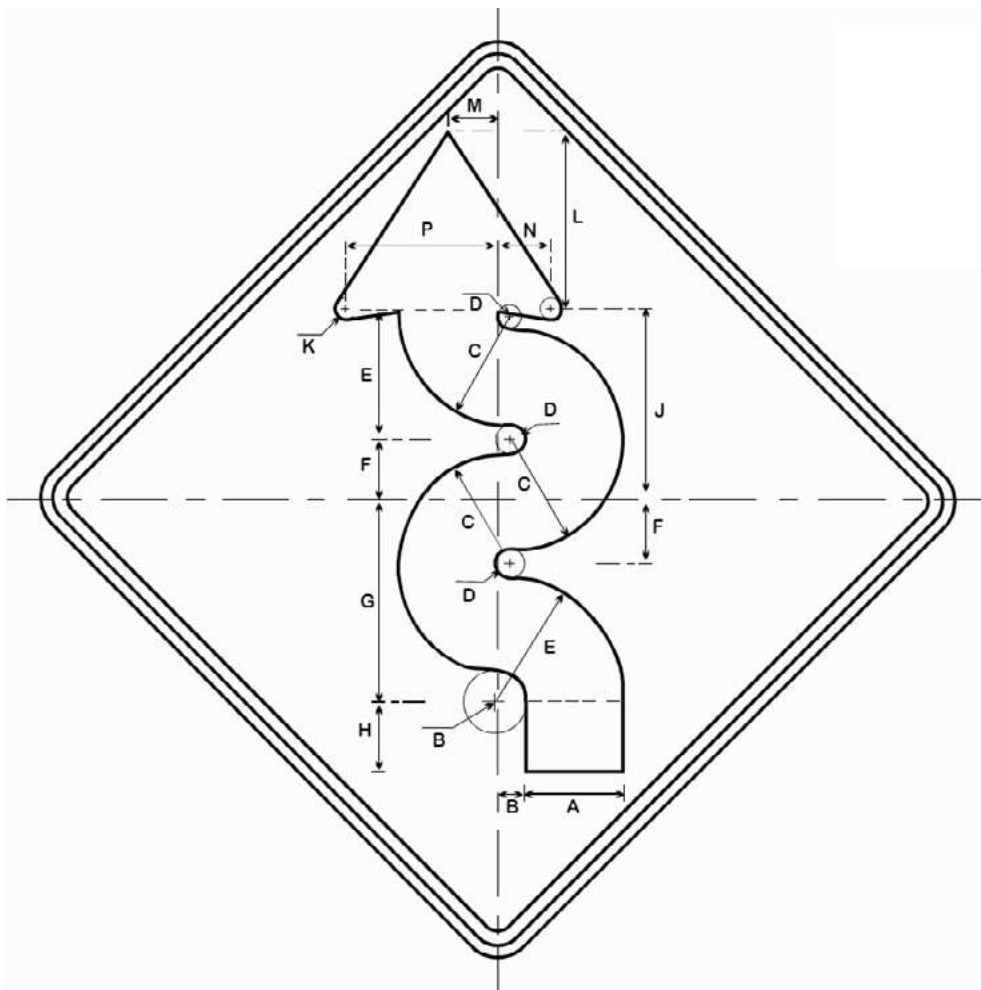
B.6. P-06: CURVA Y CONTRACURVA PELIGROSAS (DERECHA- IZQUIERDA)



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)													
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P
60,00	9,00	7,00	5,00	20,50	2,00	4,50	6,50	3,00	0,90	16,00	7,00	17,15	13,75	11,00
75,00	11,0	8,50	6,00	25,50	2,50	5,50	8,00	3,50	1,10	19,50	8,50	20,85	16,90	13,50

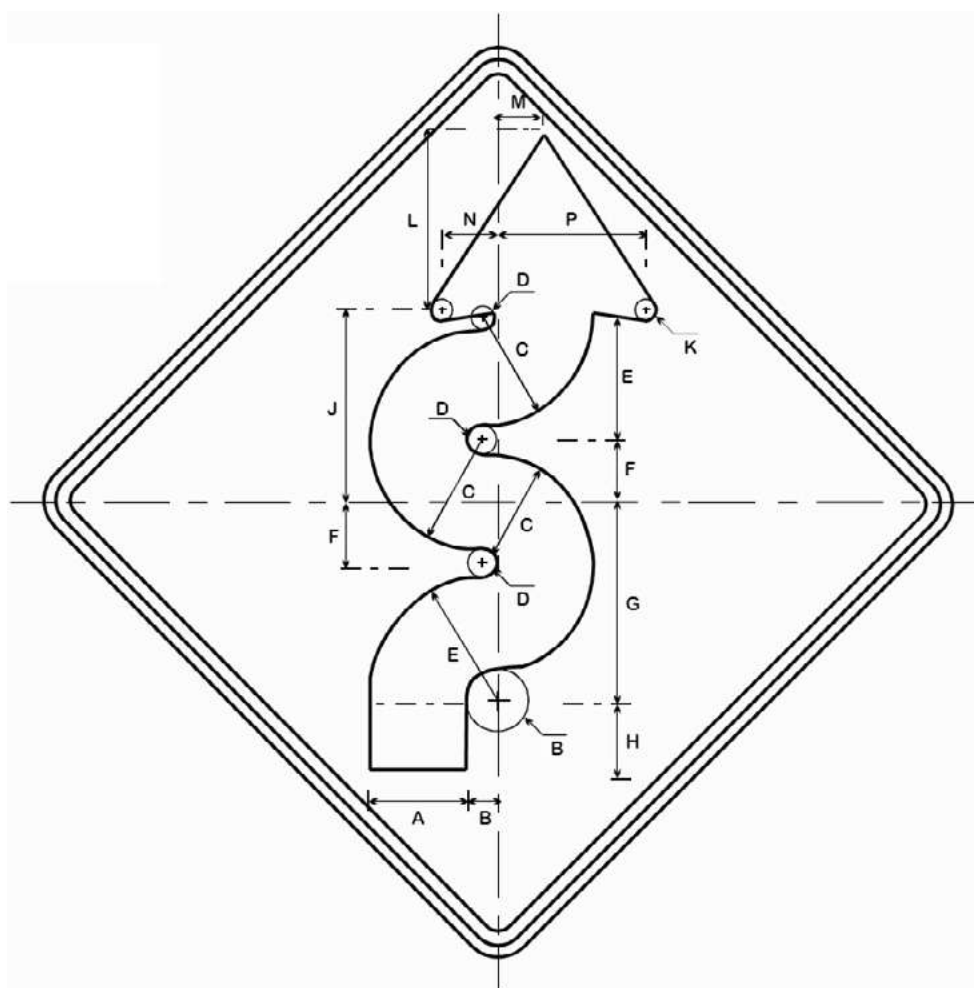
Nota.- Señal aplicable para velocidad ≤ 50 km/h.

B.7. P-07: CAMINO SINUOSO A LA IZQUIERDA



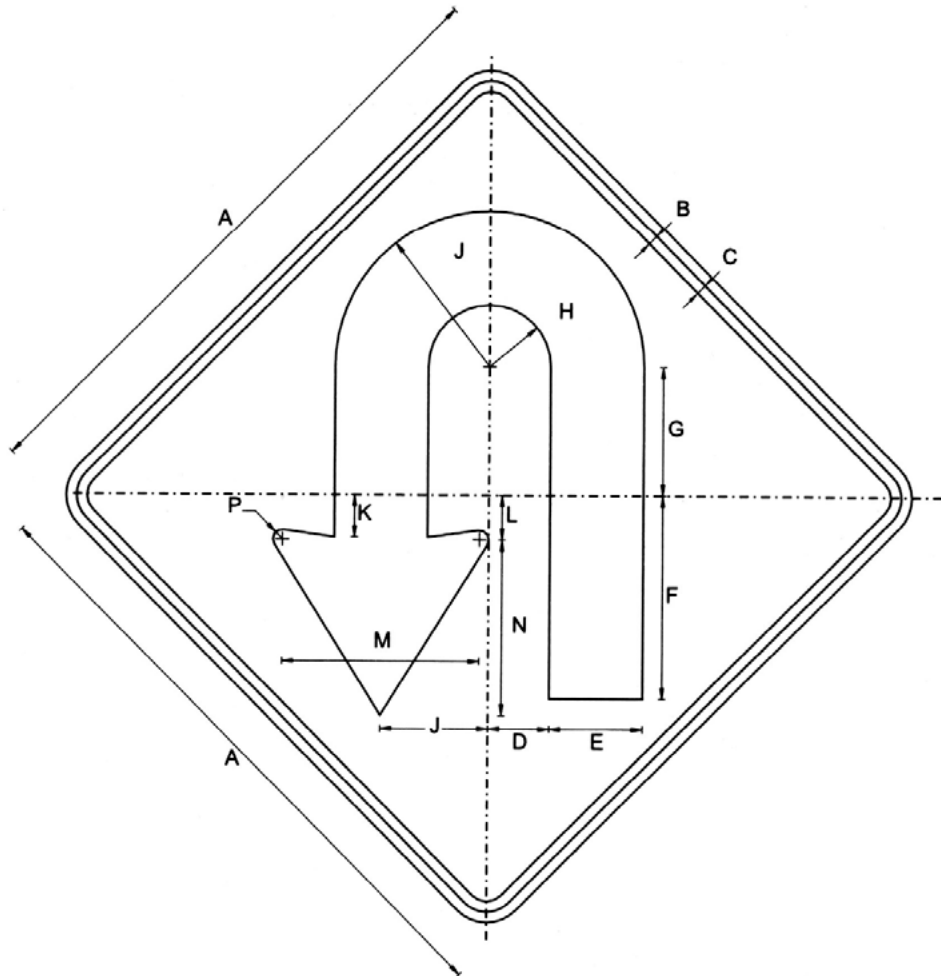
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)													
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P
60,00	9,00	2,40	10,20	1,20	11,40	5,70	18,30	6,75	17,40	0,90	16,85	4,50	4,95	13,95
75,00	11,00	3,00	12,50	1,50	14,00	7,00	22,50	8,25	21,35	1,10	20,50	5,50	6,00	17,00
90,00	13,50	3,60	15,30	1,80	17,10	8,55	27,45	10,12	26,10	1,35	25,27	6,75	7,42	20,92
120,00	18,00	4,80	20,40	2,40	22,80	11,40	36,60	13,50	34,80	1,80	33,70	9,00	9,90	27,90

B.8. P-08: CAMINO SINUOSO A LA DERECHA



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)													
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P
60,00	9,00	2,40	10,20	1,20	11,40	5,70	18,30	6,75	17,40	0,90	16,85	4,50	4,95	13,95
75,00	11,0	3,00	12,50	1,50	14,00	7,00	22,50	8,25	21,35	1,10	20,50	5,50	6,00	17,00
90,00	13,50	3,60	15,30	1,80	17,10	8,55	27,45	10,12	26,10	1,35	25,27	6,75	7,425	20,925
120,00	18,00	4,80	20,40	2,40	22,80	11,40	36,60	13,50	34,80	1,80	33,70	9,00	9,90	27,90

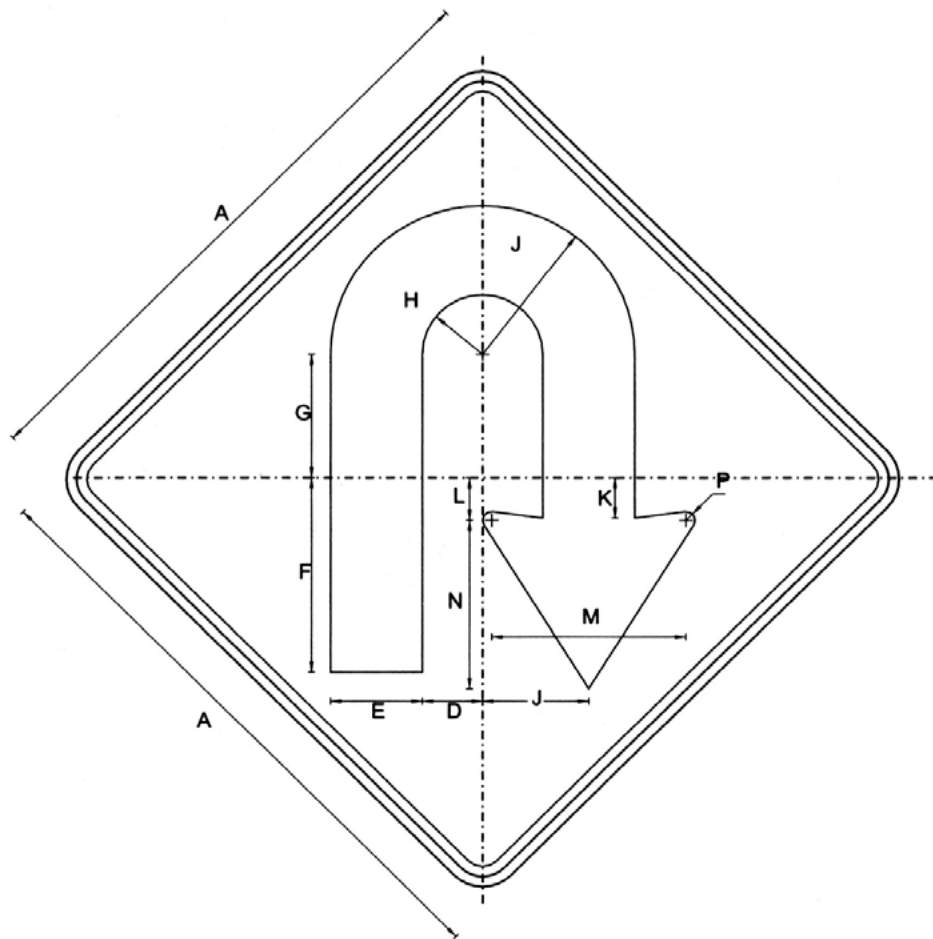
B.9.P-09: CURVA EN "U" IZQUIERDA



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)						
	A	B	C	D	E	F	G
60,00	60,00	1,00	1,00	1,00	9,00	19,50	12,28
75,00	75,00	1,25	1,25	1,25	11,25	24,38	15,35
90,00	90,00	1,50	1,50	1,50	13,50	29,25	18,42

SEÑAL	DIMENSIONES (cm)						
	H	J	K	L	M	N	P
60,00	5,91	14,91	4,03	4,26	19,01	6,88	0,90
75,00	7,39	18,64	5,04	5,33	23,76	8,60	1,13
90,00	8,87	22,37	6,05	6,39	28,52	10,32	1,35

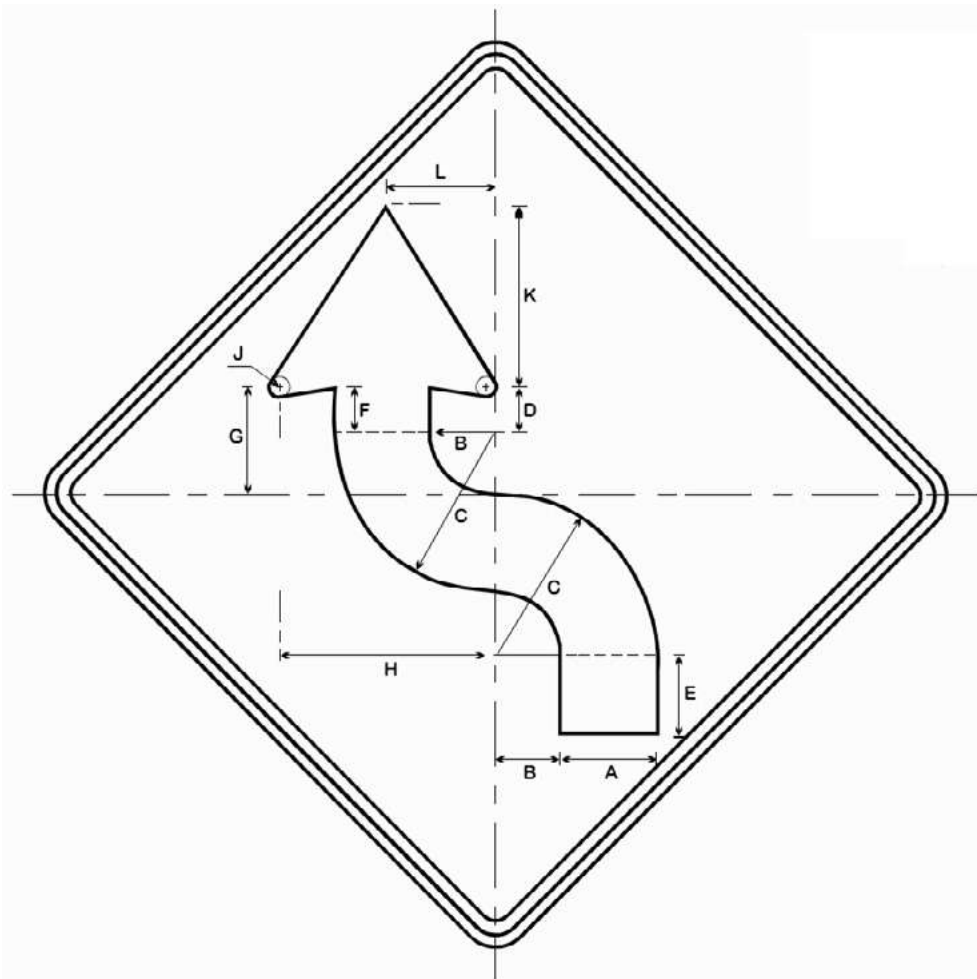
B.10. P-10: CURVA EN "U" DERECHA



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)						
	A	B	C	D	E	F	G
60,00	60,00	1,00	1,00	1,00	9,00	19,50	12,28
75,00	75,00	1,25	1,25	1,25	11,25	24,38	15,35
90,00	90,00	1,50	1,50	1,50	13,50	29,25	18,42

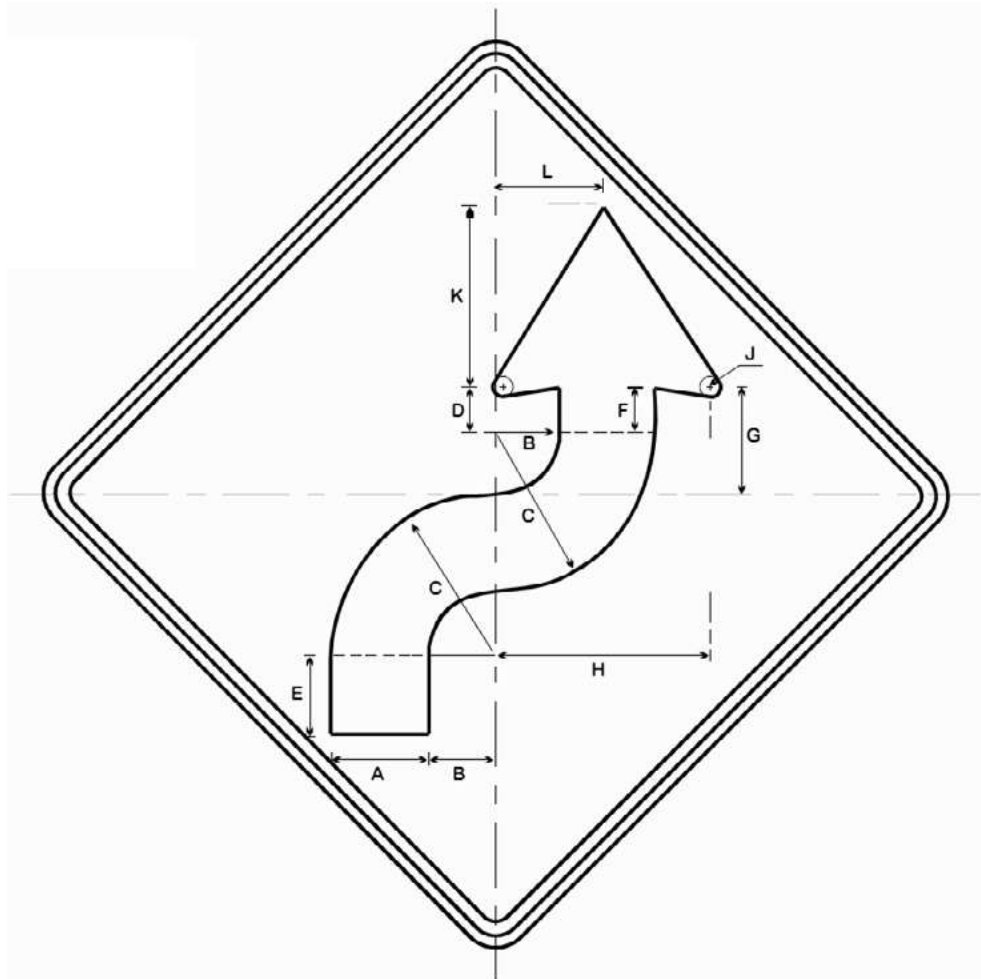
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)						
	H	J	K	L	M	N	P
60,00	5,91	14,91	4,03	4,26	19,01	6,88	0,90
75,00	7,39	18,64	5,04	5,33	23,76	8,60	1,13
90,00	8,87	22,37	6,05	6,39	28,52	10,32	1,35

B.11. P-11: CURVA EN “S” A LA IZQUIERDA



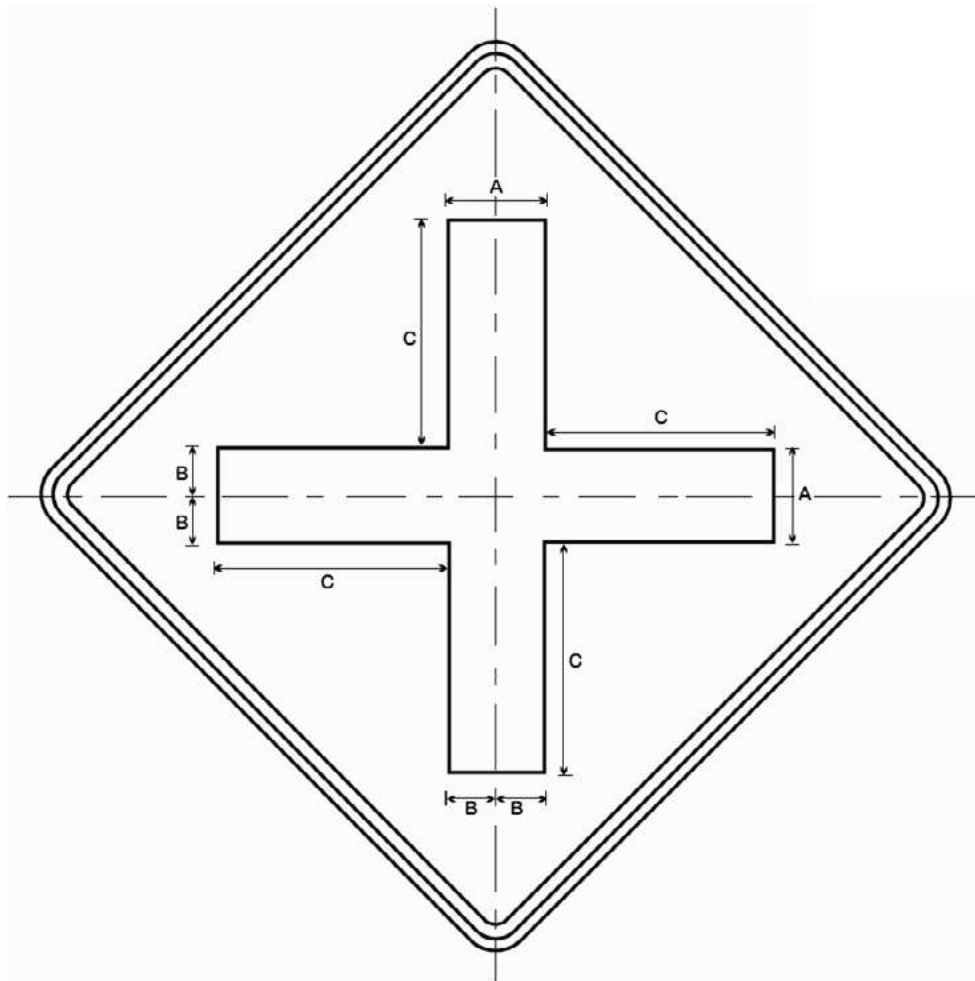
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)										
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L
60,00	9,00	5,85	14,85	3,80	7,50	3,50	9,65	19,80	0,90	16,85	10,35
75,00	11,00	7,10	18,10	4,90	9,05	4,50	12,00	24,10	1,10	20,50	12,60
90,00	13,50	8,77	22,27	5,70	11,25	5,25	14,47	29,70	1,35	25,27	15,52
120,00	18,00	11,70	29,70	7,50	15,00	7,00	19,30	39,60	1,80	33,70	20,70

B.12. P-12: CURVA EN "S" A LA DERECHA



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)										
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L
60,00	9,00	5,85	14,85	3,80	7,50	3,50	9,65	19,80	0,90	16,85	10,35
75,00	11,0	7,10	18,10	4,90	9,05	4,50	12,00	24,10	1,10	20,50	12,60
90,00	13,50	8,77	22,27	5,70	11,25	5,25	14,47	29,70	1,35	25,27	15,52
120,00	18,00	11,70	29,70	7,50	15,00	7,00	19,30	39,60	1,80	33,70	20,70

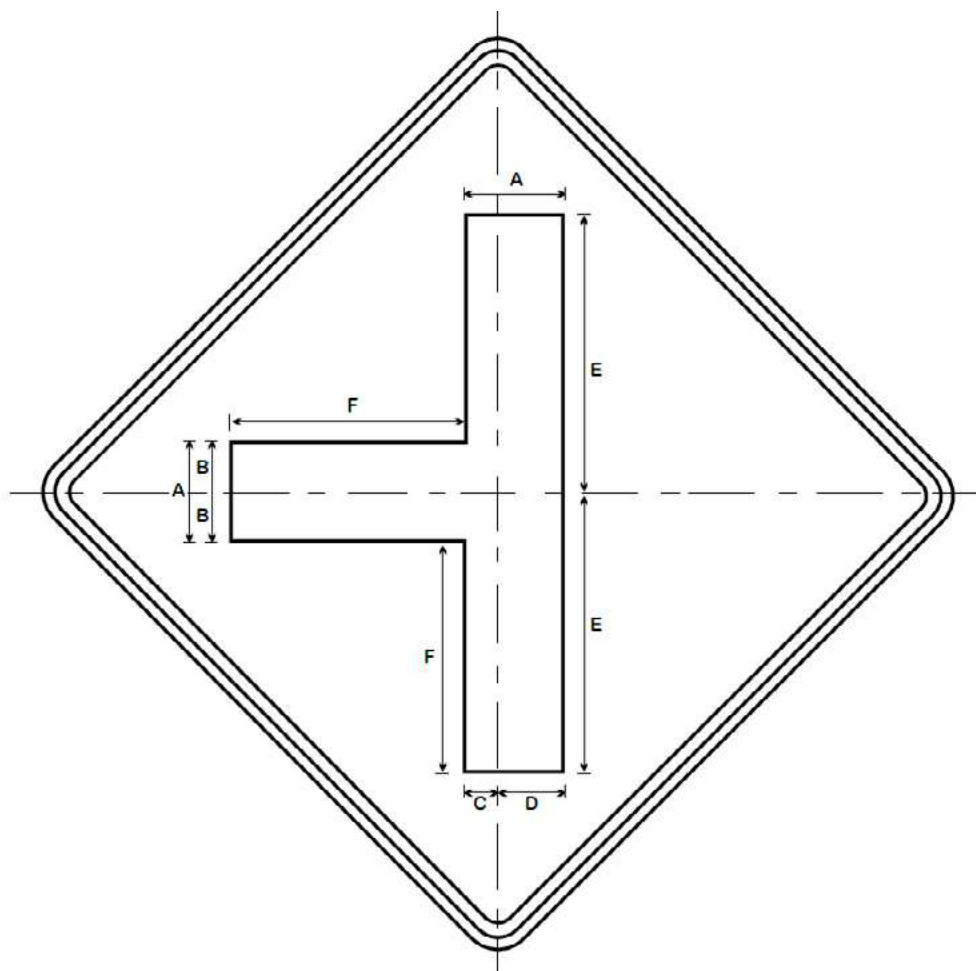
B.13. P-13: INTERSECCIÓN DE VÍAS



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)		
	A	B	C
60,00	10,00	5,00	20,00
75,00	11,00	5,50	25,75
90,00	15,00	7,50	30,0
120,00	20,00	10,00	4,00

Nota.- Cuando se trate de una intersección de vías de diferente categoría, el grosor del ramal “A” correspondiente a la vía de menor categoría será reducido al 60% del espesor indicado en la tabla (ejemplo: para un grosor indicado en la tabla A = 15 cm, el grosor correspondiente a una vía de menor categoría será A = 9 cm), manteniendo inalterada la longitud “C”.

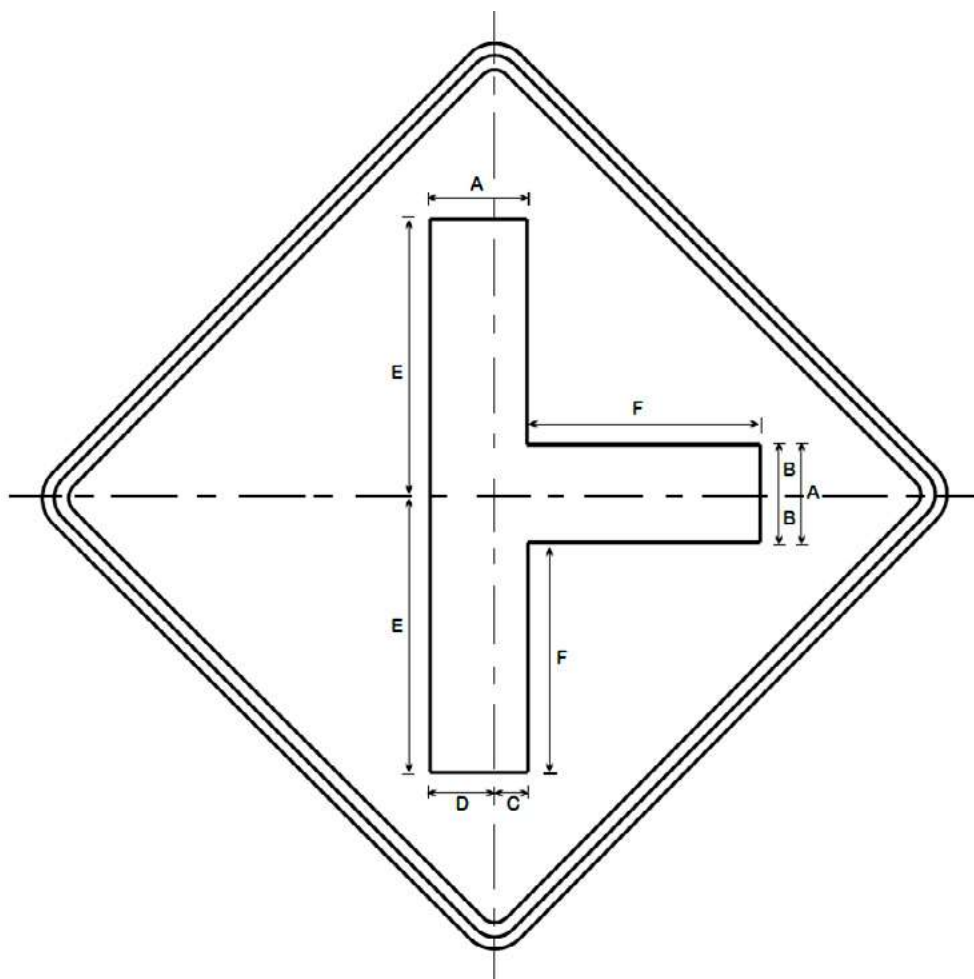
B.14. P-14: VÍA LATERAL A LA IZQUIERDA



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)					
	A	B	C	D	E	F
60,00	10,00	5,00	3,00	7,00	25,00	20,00
75,00	11,00	5,50	3,30	7,70	31,25	25,75
90,00	15,00	7,50	4,50	10,50	37,50	30,00
120,00	20,00	10,00	6,00	14,00	50,00	40,00

Nota.- Cuando se trate de una intersección de vías de diferente categoría, el grosor del ramal “A” correspondiente a la vía de menor categoría será reducido al 60% del espesor indicado en la tabla (ejemplo: para un grosor indicado en la tabla A = 15 cm, el grosor correspondiente a una vía de menor categoría será A = 9 cm), manteniendo inalterada la longitud del ramal de categoría menor.

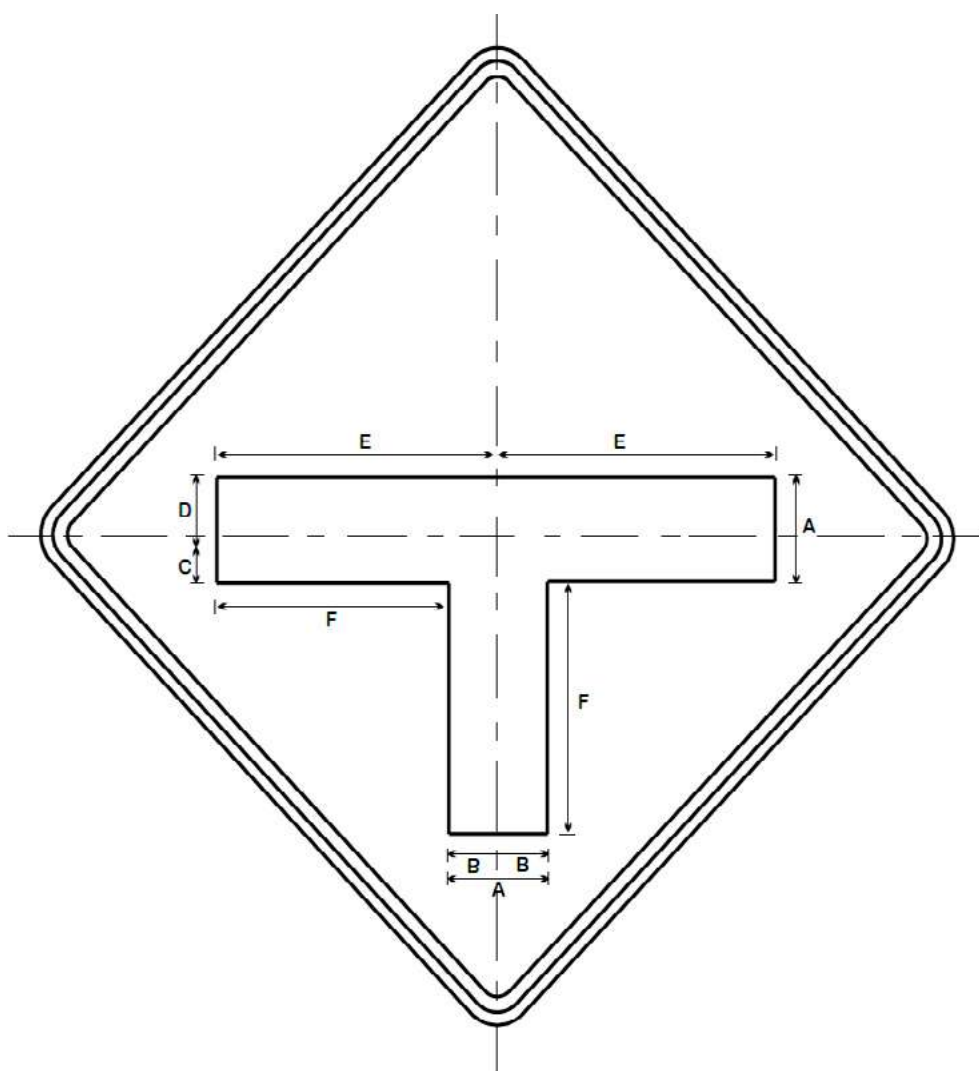
B.15. P-15: VÍA LATERAL A LA DERECHA



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)					
	A	B	C	D	E	F
60,00	10,00	5,00	3,00	7,00	25,00	20,00
75,00	11,00	5,50	3,30	7,70	31,25	25,75
90,00	15,00	7,50	4,50	10,50	37,50	30,00
120,00	20,00	10,00	6,00	14,00	50,00	40,00

Nota.- Cuando se trate de una intersección de vías de diferente categoría, el grosor del ramal “A” correspondiente a la vía de menor categoría será reducido al 60% del espesor indicado en la tabla (ejemplo: para un grosor indicado en la tabla A = 15 cm, el grosor correspondiente a una vía de menor categoría será A = 9 cm), manteniendo inalterada la longitud del ramal de categoría menor.

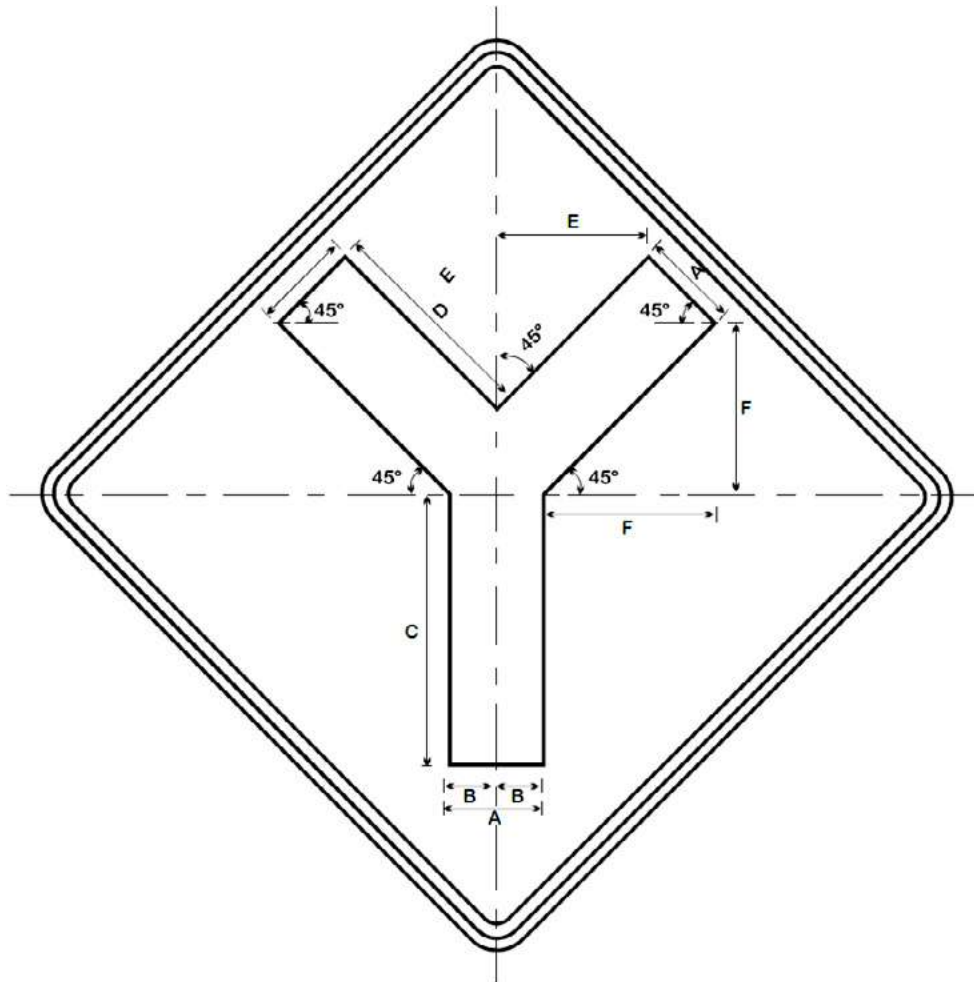
B.16. P-16: BIFURCACIÓN EN "T"



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)					
	A	B	C	D	E	F
60,00	10,00	5,00	3,00	7,00	25,00	20,00
75,00	11,00	5,50	3,30	7,70	31,25	25,75
90,00	15,00	7,50	4,50	10,50	37,50	30,00
120,00	20,00	10,00	6,00	14,00	50,00	40,00

Nota.- Cuando se trate de una intersección de vías de diferente categoría, el grosor del ramal "A" correspondiente a la vía de menor categoría será reducido al 60% del espesor indicado en la tabla (ejemplo: para un grosor indicado en la tabla A = 15 cm, el grosor correspondiente a una vía de menor categoría será A = 9 cm), manteniendo inalterada la longitud del ramal de categoría menor.

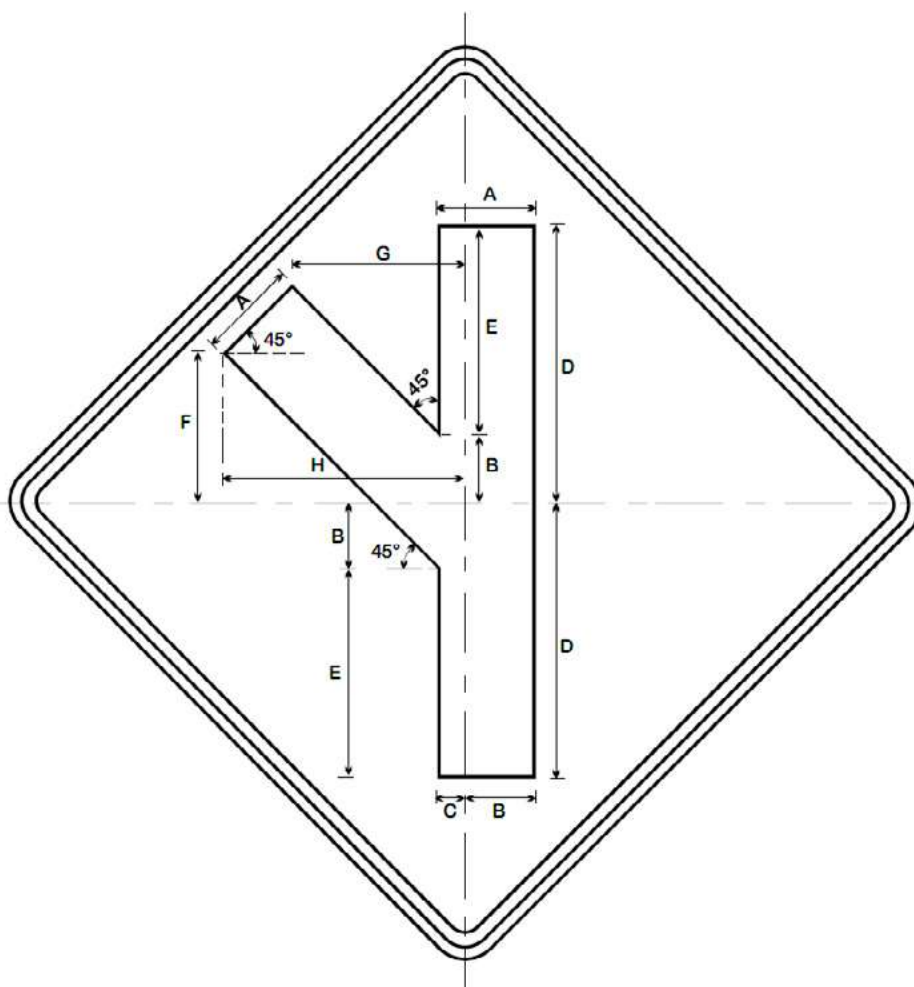
B.17. P-17: BIFURCACION EN "Y"



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)					
	A	B	C	D	E	F
60,00	9,00	4,50	25,00	19,25	13,60	15,50
75,00	11,00	5,50	31,25	24,20	17,15	19,40
90,00	13,50	6,75	37,50	28,87	20,40	23,25
120,00	18,00	9,00	50,00	38,50	27,20	31,00

Nota.- Cuando se trate de una intersección de vías de diferente categoría, el grosor del ramal "A" correspondiente a la vía de menor categoría será reducido al 60% del espesor indicado en la tabla (ejemplo: para un grosor indicado en la tabla A = 15 cm, el grosor correspondiente a una vía de menor categoría será A = 9 cm), manteniendo inalterada la longitud del ramal de categoría menor.

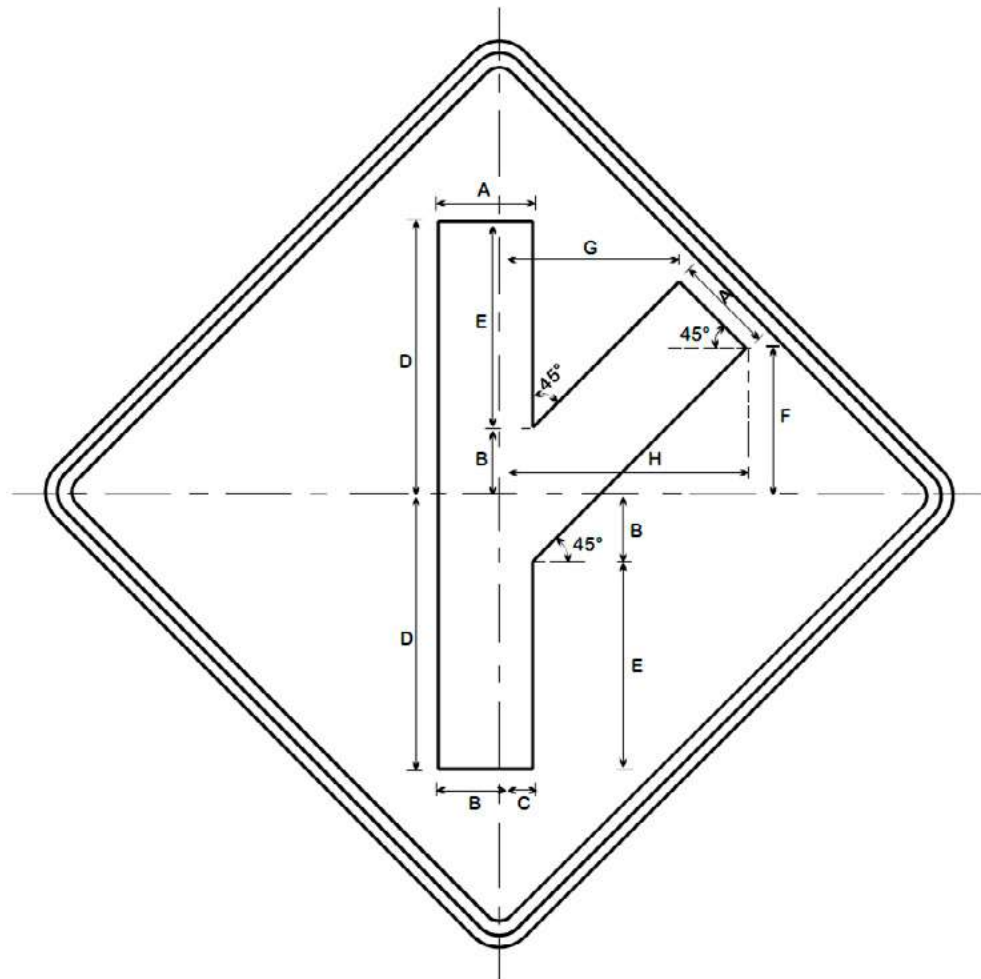
B.18. P-18: BIFURCACIÓN IZQUIERDA



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
60,00	9,00	6,30	2,70	25,00	18,70	13,30	15,85	22,15
75,00	11,00	7,70	3,30	31,25	23,55	16,60	19,75	27,60
90,00	13,50	9,45	4,05	37,50	28,05	19,95	23,77	33,22
120,00	18,00	12,60	5,40	50,00	37,40	26,60	31,70	44,30

Nota.- Cuando se trate de una intersección de vías de diferente categoría, el grosor del ramal "A" correspondiente a la vía de menor categoría será reducido al 60% del espesor indicado en la tabla (ejemplo: para un grosor indicado en la tabla A = 15 cm, el grosor correspondiente a una vía de menor categoría será A = 9 cm), manteniendo inalterada la longitud del ramal de categoría menor.

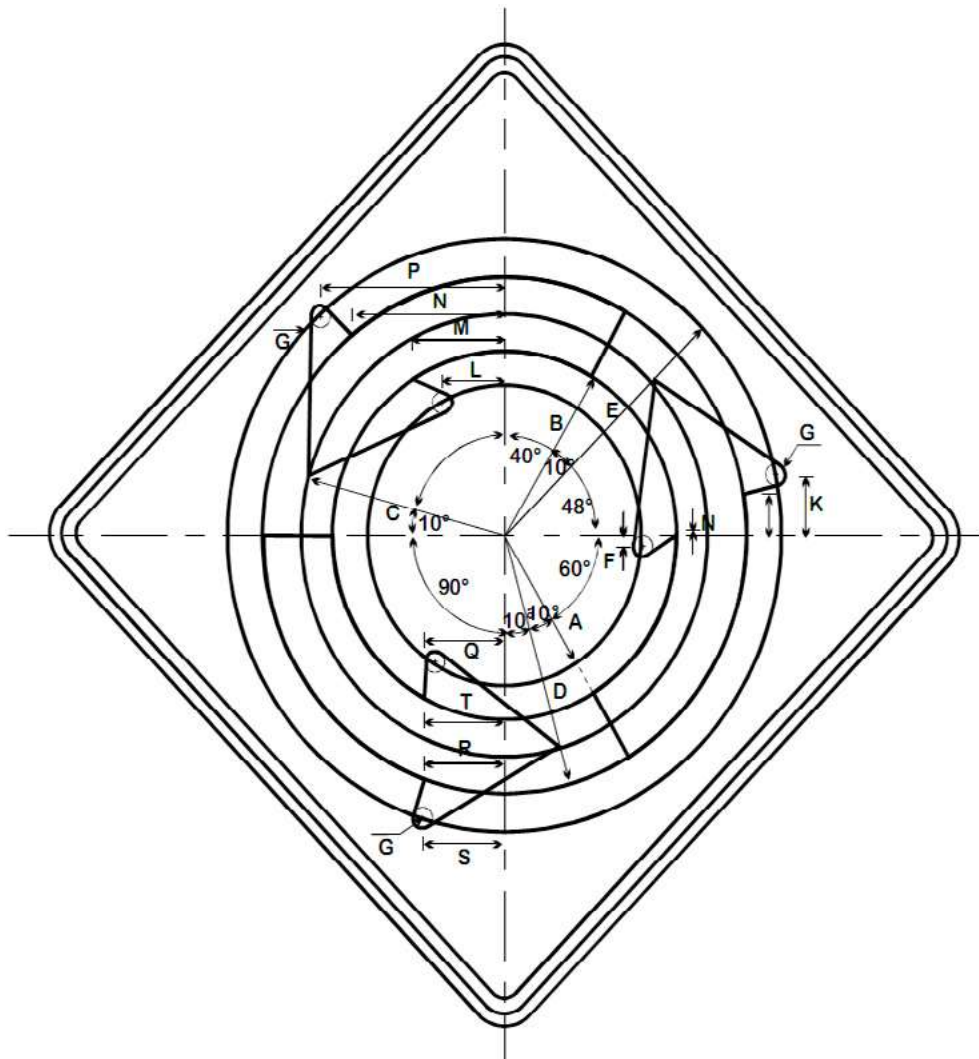
B.19. P-19: BIFURCACIÓN DERECHA



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
60,00	9,00	6,30	2,70	25,00	18,70	13,30	15,85	22,15
75,00	11,0	7,70	3,30	31,25	23,55	16,60	19,75	27,60
90,00	13,50	9,45	4,05	37,50	28,05	19,95	23,77	33,22
120,00	18,00	12,60	5,40	50,00	37,40	26,60	31,70	44,30

Nota.- Cuando se trate de una intersección de vías de diferente categoría, el grosor del ramal "A" correspondiente a la vía de menor categoría será reducido al 60% del espesor indicado en la tabla (ejemplo: para un grosor indicado en la tabla A = 15 cm, el grosor correspondiente a una vía de menor categoría será A = 9 cm), manteniendo inalterada la longitud del ramal de categoría menor.

B.20. P-20: ROTONDA

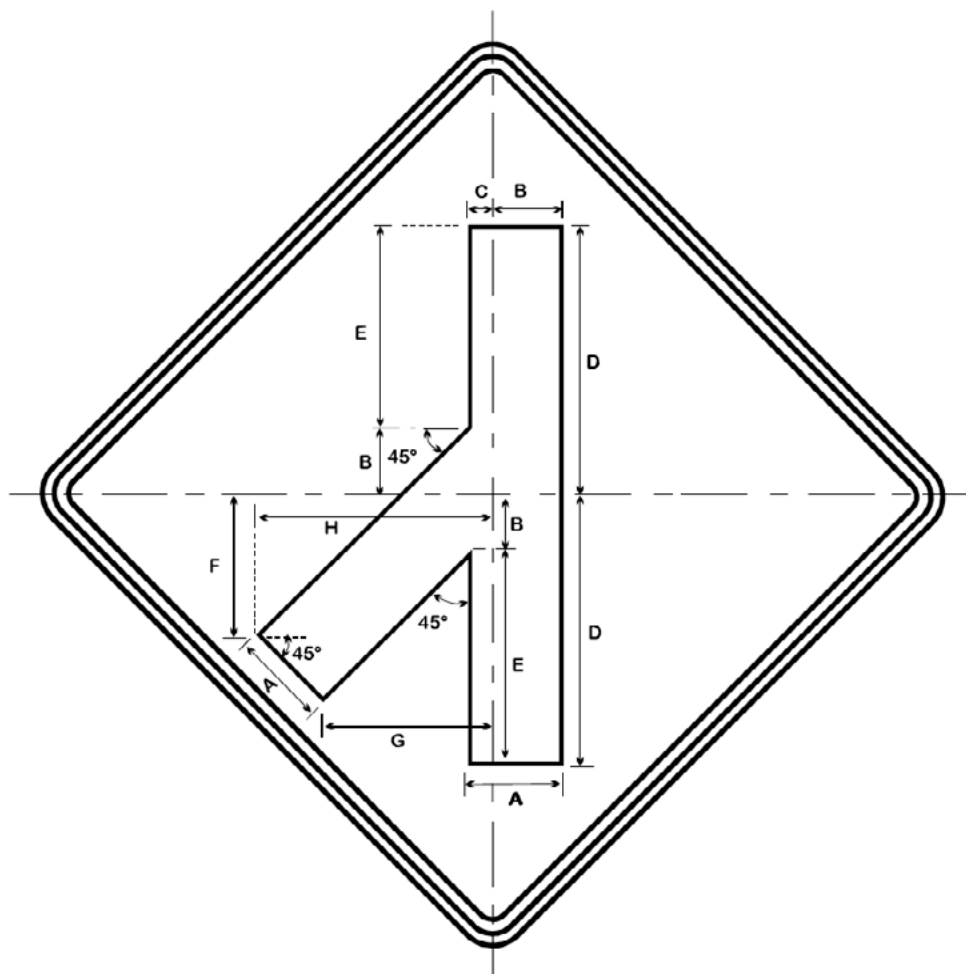


SEÑAL	DIMENSIONES (cm)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	J
60,00	12,10	15,00	18,50	22,00	25,60	1,95	0,70	0,85*	2,35
75,00	15,25	19,00	23,00	27,00	31,00	0,90	0,80	0,75*	4,50
90,00	18,15	22,50	27,75	33,00	38,40	2,92	1,05	1,27*	3,52

*DEBE MEDIRSE ABAJO DEL EJE HORIZONTAL

SEÑAL	DIMENSIONES (cm)								
	K	L	M	N	Ñ	O	P	Q	R
60,00	4,20	4,30	6,80	13,10	16,35	7,55	8,75	8,90	8,20
75,00	6,45	6,95	10,25	17,25	20,80	8,35	9,50	9,55	8,90
90,00	6,30	6,45	10,20	19,65	24,52	11,33	13,12	13,35	12,30

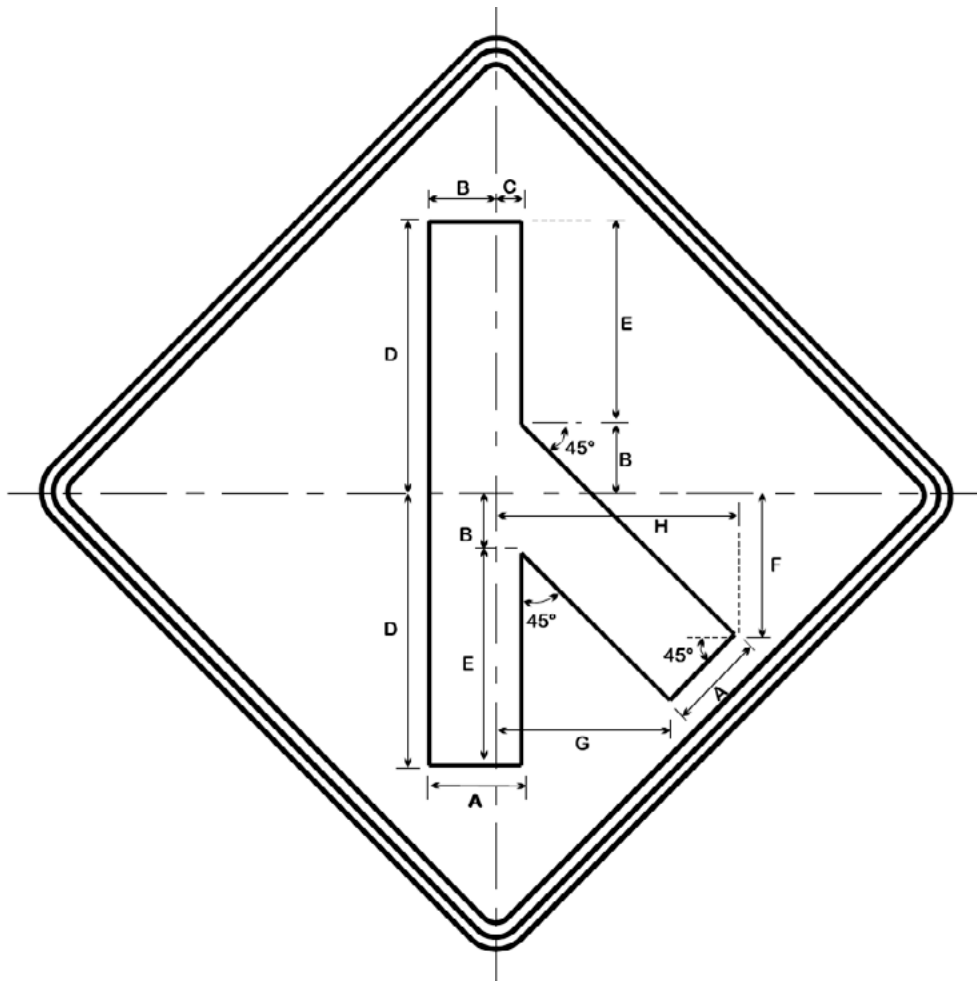
B.21. P-21: INCORPORACIÓN DE TRÁNSITO LATERAL (IZQUIERDA)



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
60,00	9,00	6,30	2,70	25,00	18,70	13,30	15,85	22,15
75,00	11,00	7,70	3,30	31,25	23,55	16,60	19,75	27,60
90,00	13,50	9,45	4,05	37,50	28,05	19,95	23,77	33,22
120,00	18,00	12,60	5,40	50,00	37,40	26,60	31,70	44,30

Nota.- Cuando se trate de una intersección de vías de diferente categoría, el grosor del ramal "A" correspondiente a la vía de menor categoría será reducido al 60% del espesor indicado en la tabla (ejemplo: para un grosor indicado en la tabla A = 15 cm, el grosor correspondiente a una vía de menor categoría será A = 9 cm), manteniendo inalterada la longitud del ramal de categoría menor.

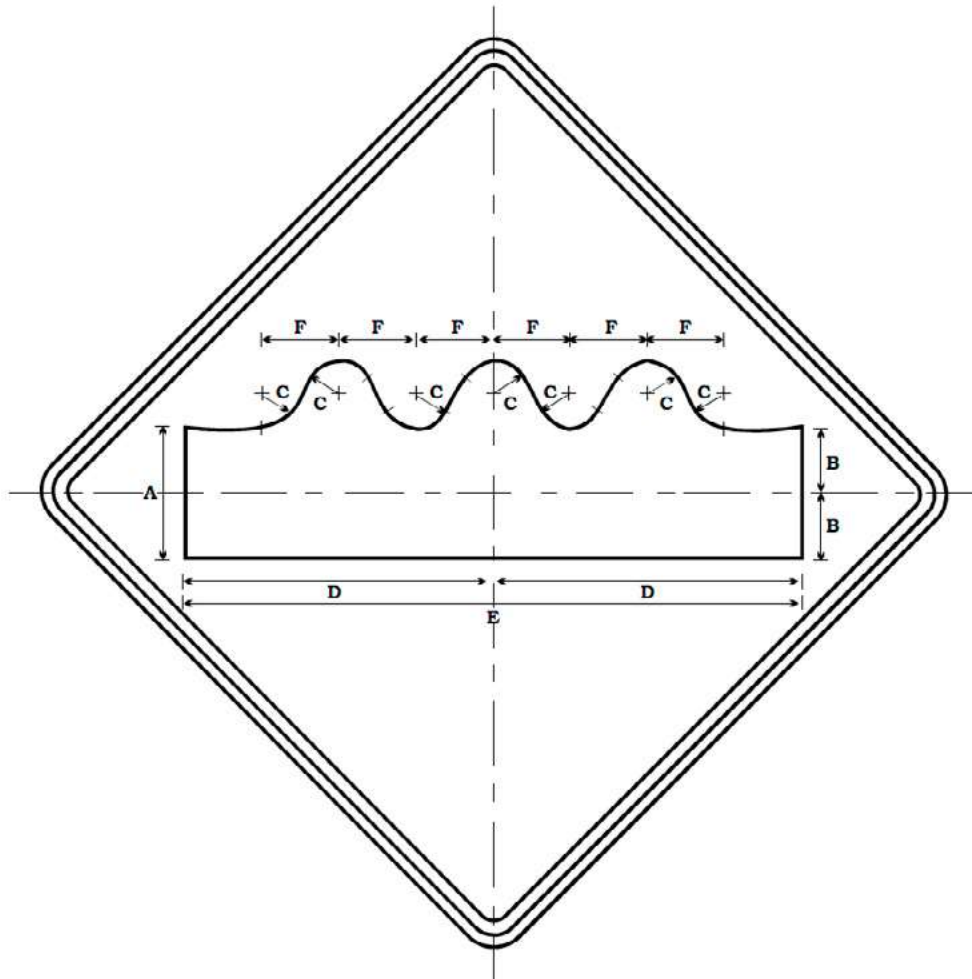
B.22.P-22: INCORPORACIÓN DE TRÁNSITO LATERAL (DERECHA)



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
60,00	9,00	6,30	2,70	25,00	18,70	13,30	15,85	22,15
75,00	11,00	7,70	3,30	31,25	23,55	16,60	19,75	27,60
90,00	13,50	9,45	4,05	37,50	28,05	19,95	23,77	33,22
120,00	18,00	12,60	5,40	50,00	37,40	26,60	31,70	44,30

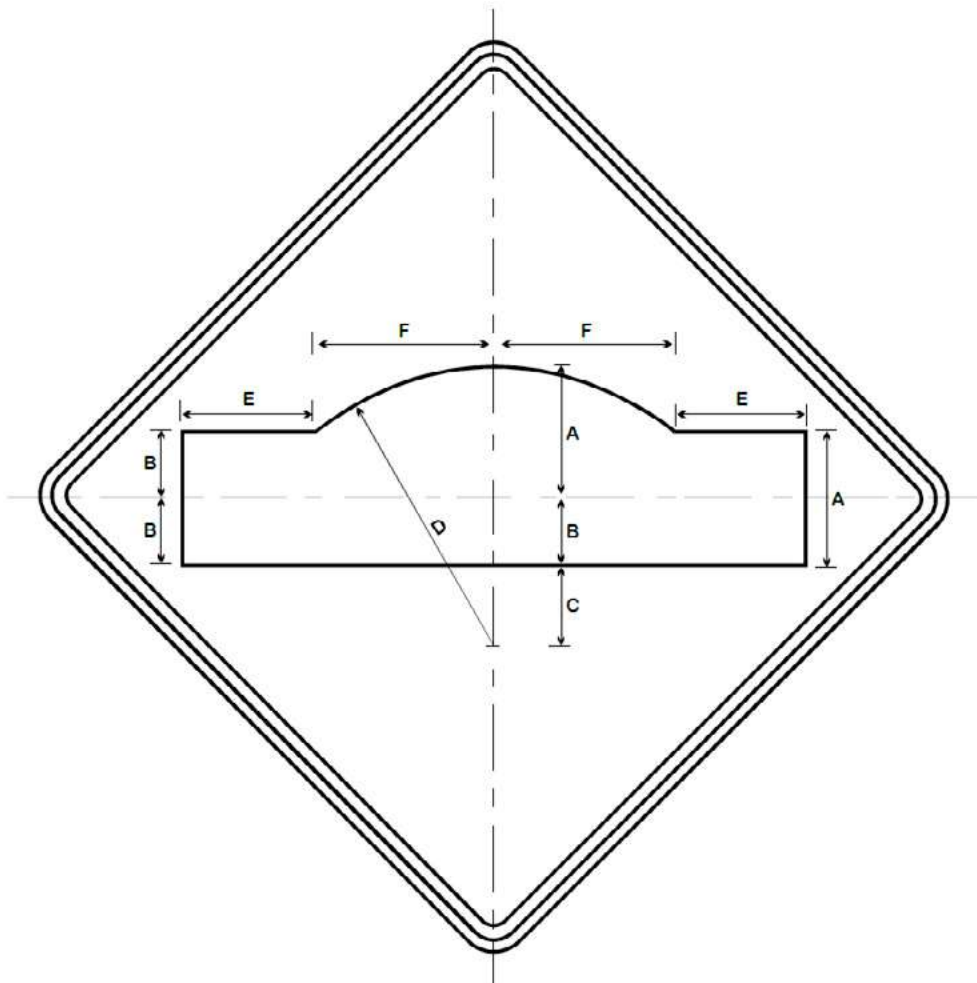
Nota.- Cuando se trate de una intersección de vías de diferente categoría, el grosor del ramal "A" correspondiente a la vía de menor categoría será reducido al 60% del espesor indicado en la tabla (ejemplo: para un grosor indicado en la tabla A = 15 cm, el grosor correspondiente a una vía de menor categoría será A = 9 cm), manteniendo inalterada la longitud del ramal de categoría menor.

B.23. P-23: SUPERFICIE IRREGULAR



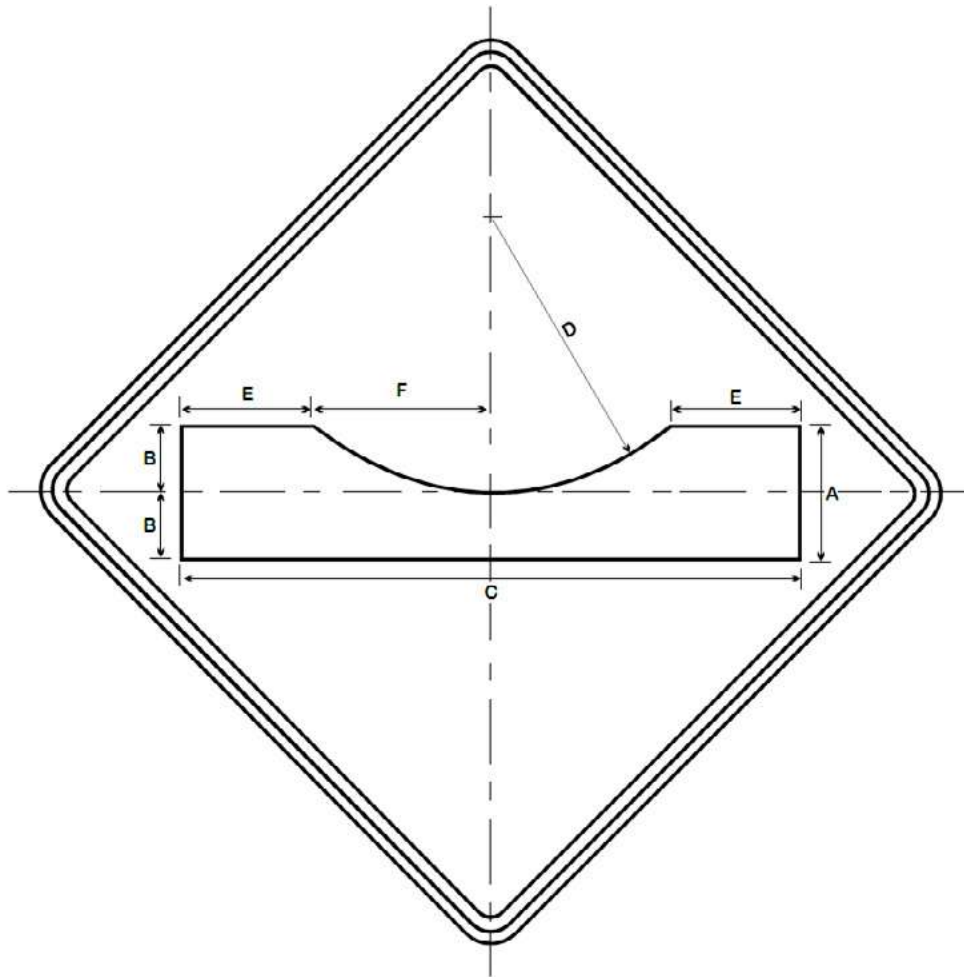
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)					
	A	B	C	D	E	F
60,00	12,00	6,00	3,00	28,00	56,00	7,00
75,00	15,00	7,50	3,75	35,00	70,00	8,75

B.24. P-24: LOMADA (RESALTO)



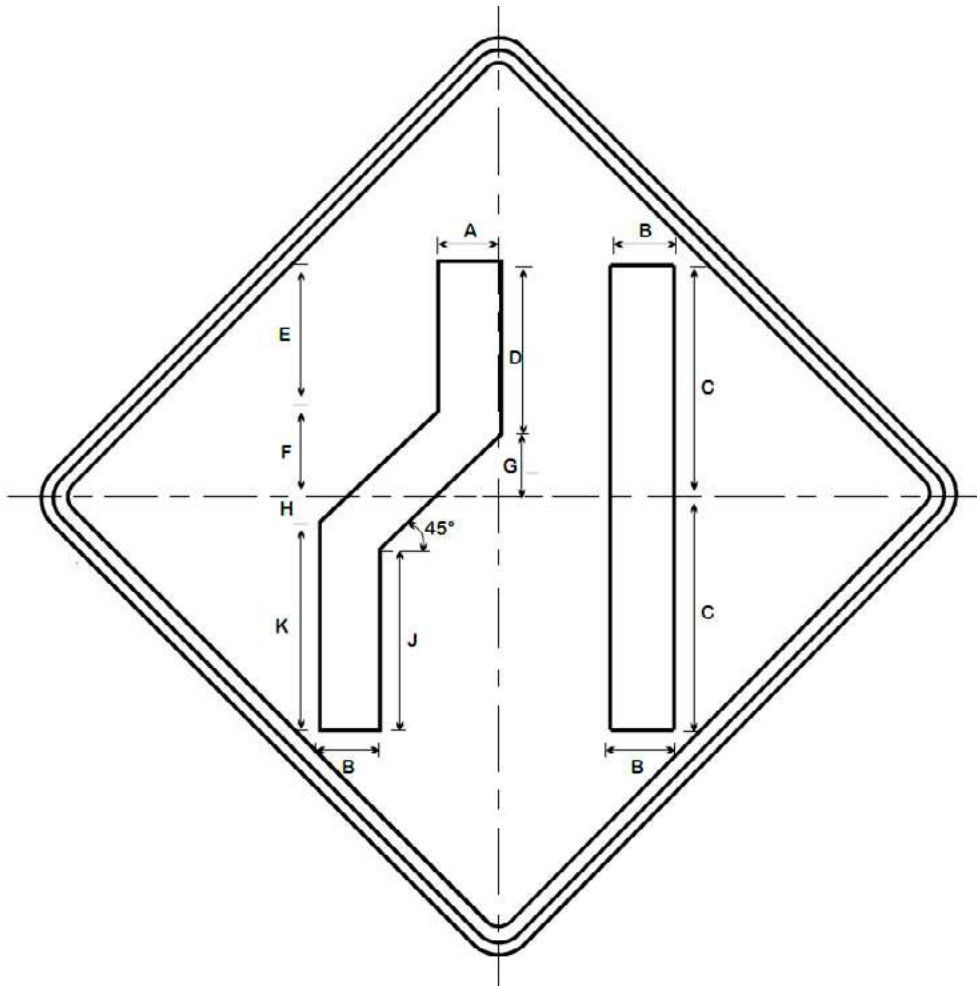
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)					
	A	B	C	D	E	F
60,00	12,00	6,00	7,00	25,00	11,80	16,20
75,00	15,00	7,50	8,75	31,25	14,65	20,35

B.25.P-25: BADÉN



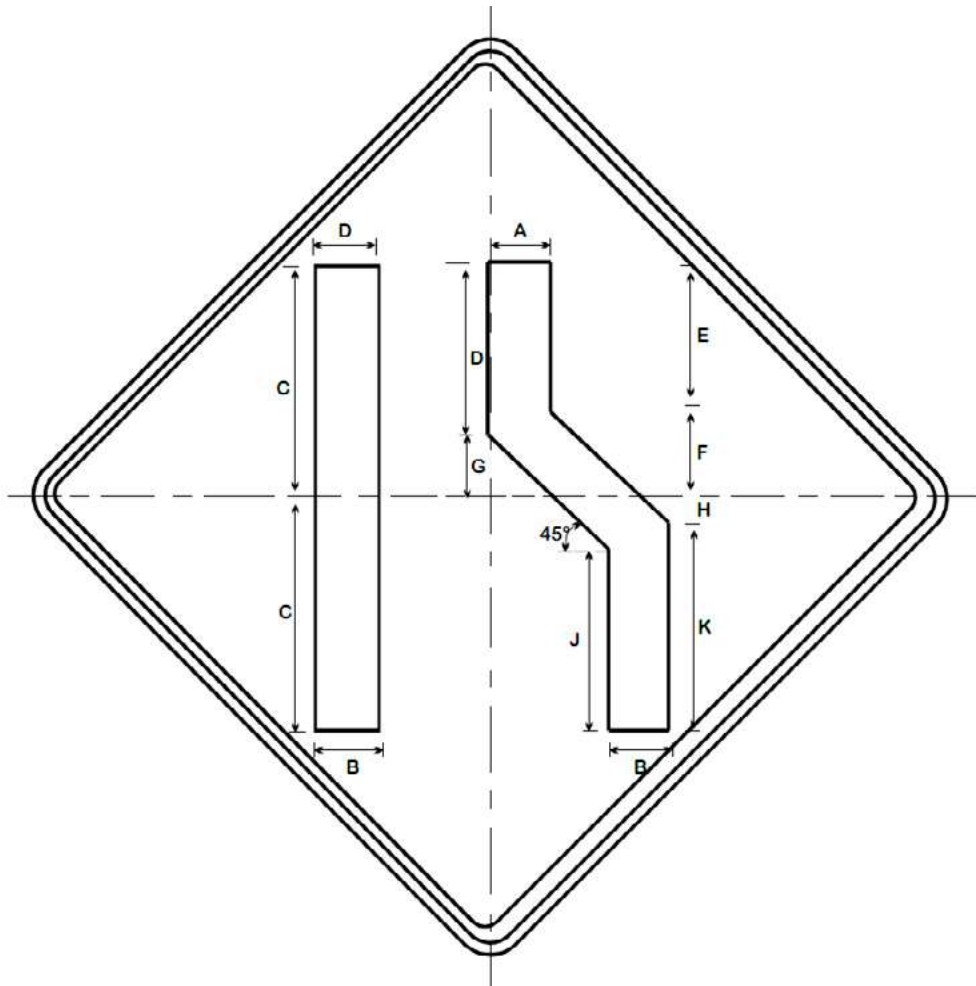
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)					
	A	B	C	D	E	F
60,00	12,00	6,00	56,00	25,00	11,80	16,20
75,00	15,00	7,50	70,00	31,25	14,65	20,35
90,00	18,00	9,00	84,00	37,50	17,70	24,30

B.26.P-26: REDUCCIÓN ASIMÉTRICA DE LA CALZADA (IZQUIERDA)



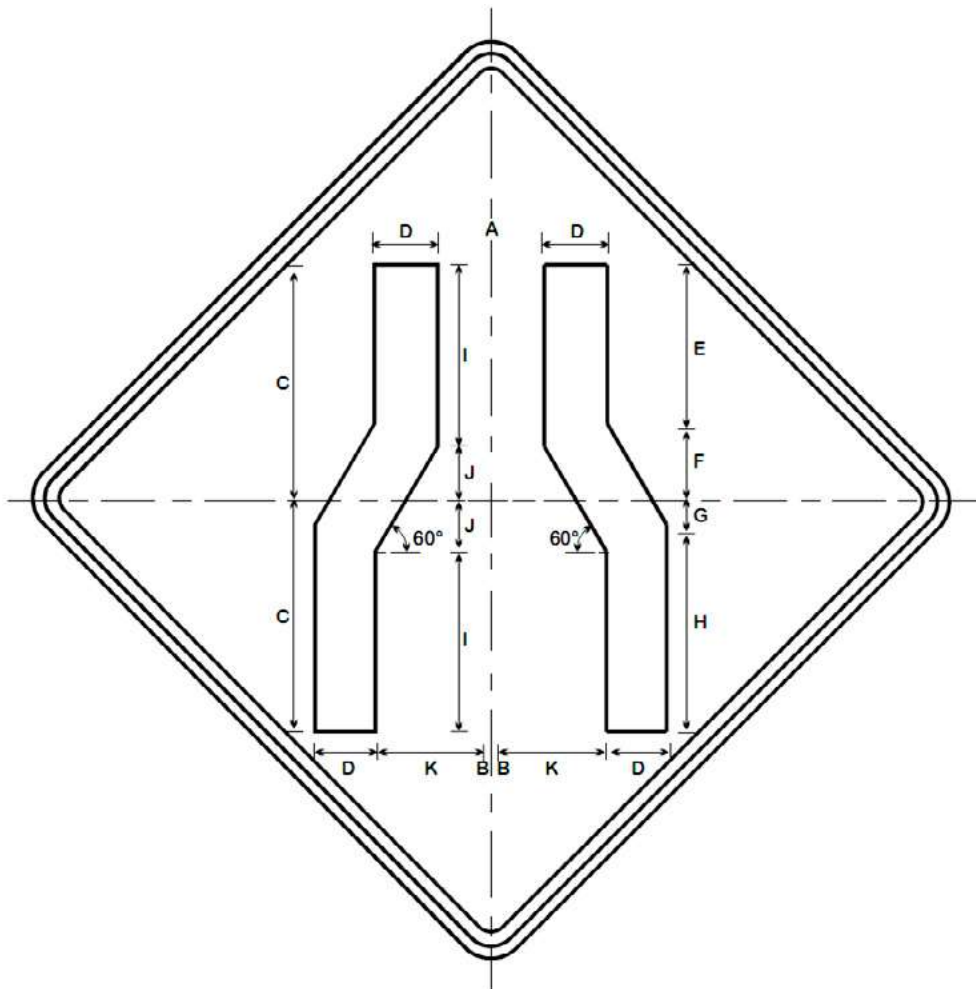
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
60,00	5,50	6,00	21,00	15,20	12,80	8,20	5,80	2,50	16,00	18,50
75,00	6,40	7,00	26,25	19,00	16,00	10,25	7,25	3,15	20,00	23,10
90,00	8,25	9,00	31,50	22,80	19,20	12,30	8,70	3,75	24,00	27,75
120,00	11,00	12,00	42,00	30,40	25,60	16,40	11,60	5,00	32,00	37,00

B.27. P-27: REDUCCIÓN ASIMÉTRICA DE LA CALZADA (DERECHA)



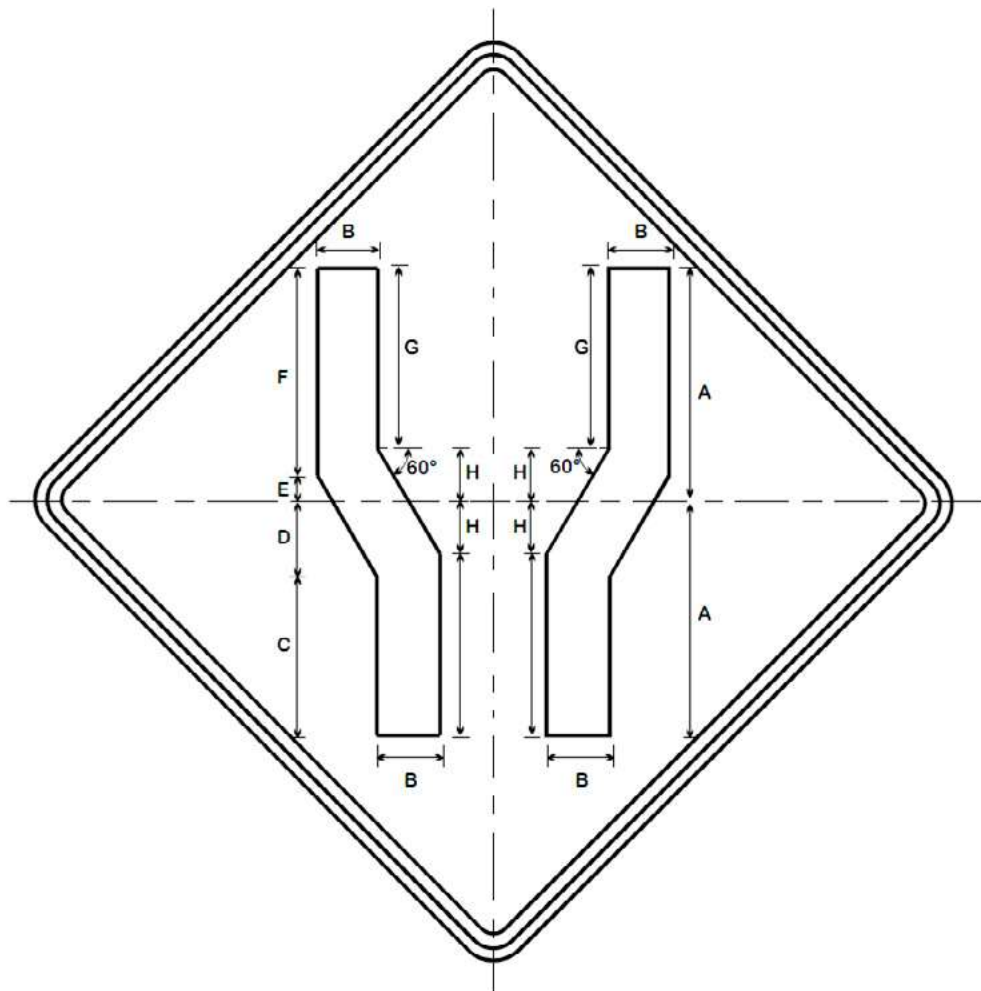
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
60,00	5,50	6,00	21,00	15,20	12,80	8,20	5,80	2,50	16,0	18,50
75,00	6,40	7,00	26,25	19,00	16,00	10,25	7,25	3,15	20,00	23,10
90,00	8,25	9,00	31,50	22,80	19,20	12,30	8,70	3,75	24,00	27,75
12,00	11,00	12,00	42,00	30,40	25,60	16,40	11,60	5,00	32,00	37,00

B.28. P-28: REDUCCIÓN SIMÉTRICA DE LA CALZADA



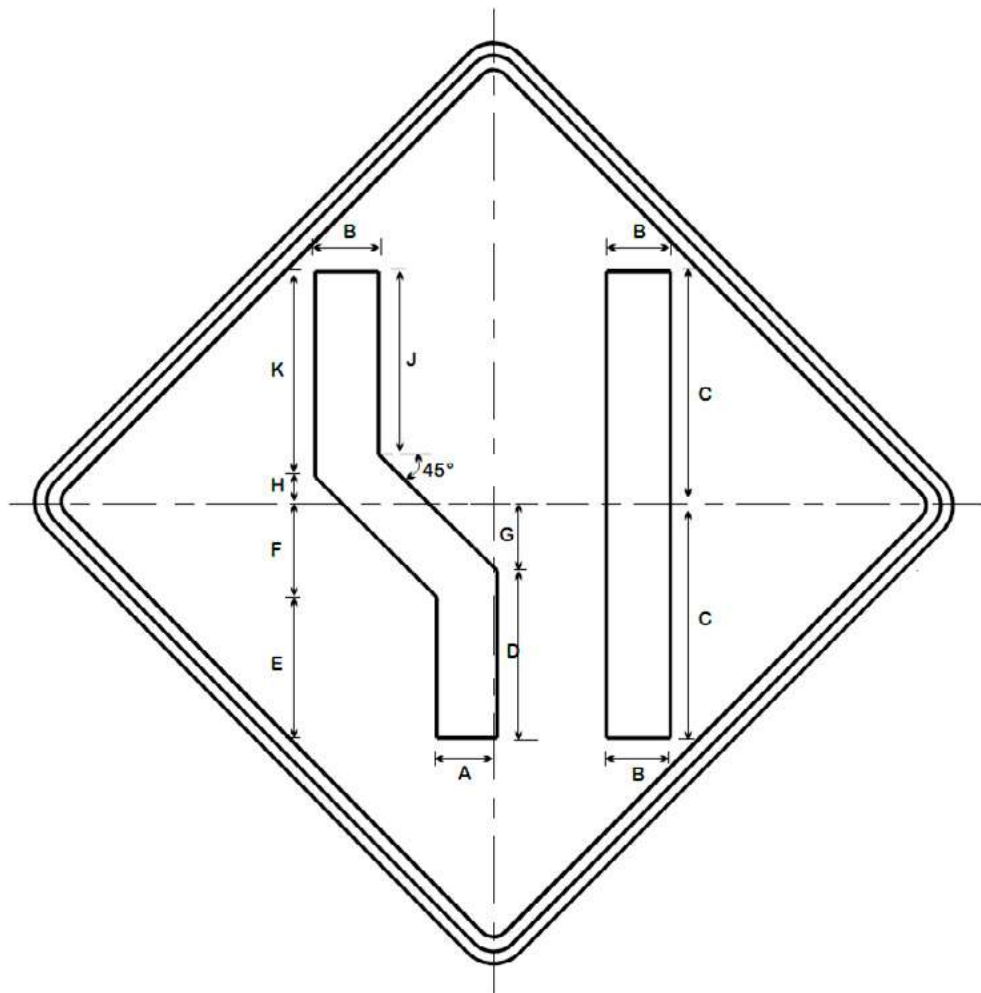
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
60,00	1,00	0,50	21,00	6,00	14,80	6,20	3,20	17,80	16,20	4,80	9,80
75,00	1,20	0,60	26,25	7,00	18,50	7,75	4,00	22,25	20,25	6,00	12,20
90,00	1,50	0,75	31,50	9,00	22,20	9,30	4,80	26,70	24,30	7,20	14,70
120,00	2,00	1,00	42,00	12,00	29,60	12,40	6,40	35,60	32,40	9,60	19,60

B.29. P-29: ENSANCHE SIMÉTRICO DE LA CALZADA



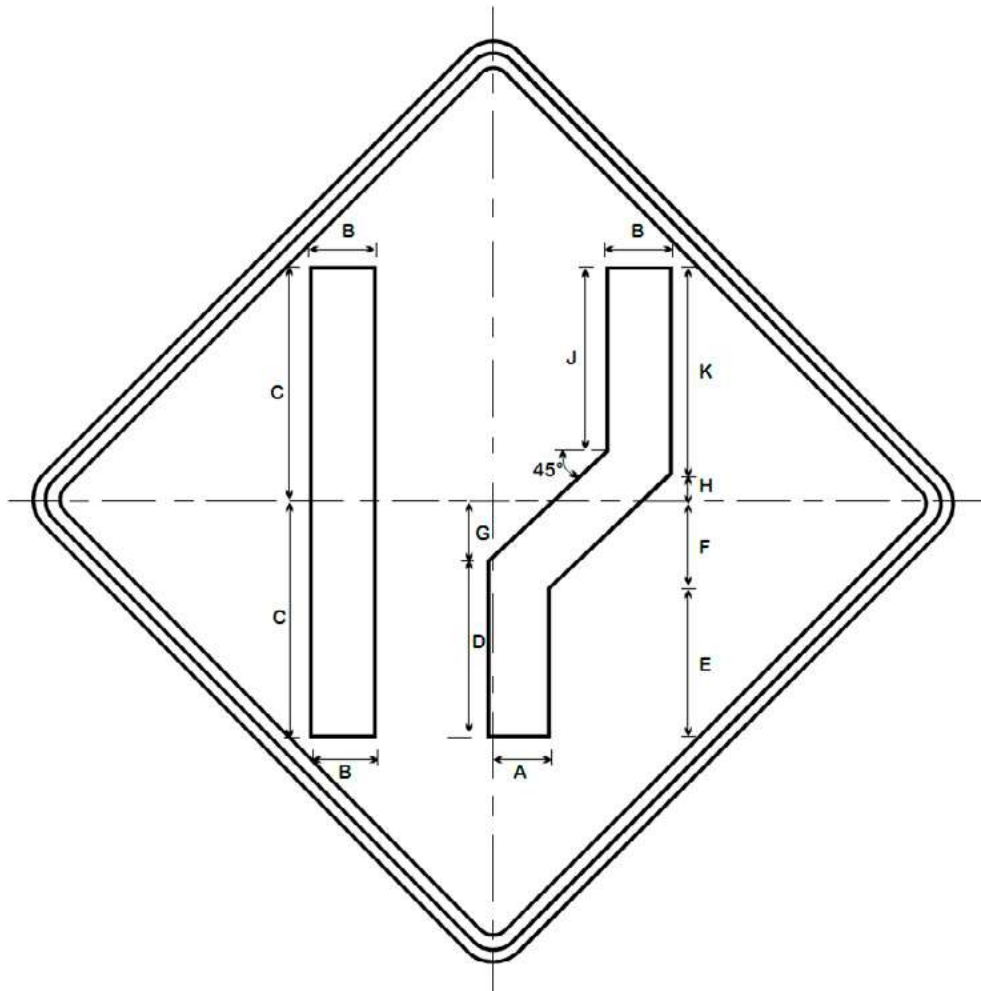
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
60,00	21,00	6,00	14,80	6,20	3,20	17,80	16,20	4,80
75,00	26,25	7,00	18,50	7,75	4,00	22,25	20,25	6,00
90,00	31,50	9,00	22,20	9,30	4,80	26,70	24,30	7,20
120,0	42,00	12,00	29,60	12,40	6,40	35,60	32,40	9,60

B.30.P-30: ENSANCHE ASIMÉTRICO DE LA CALZADA (IZQUIERDA)



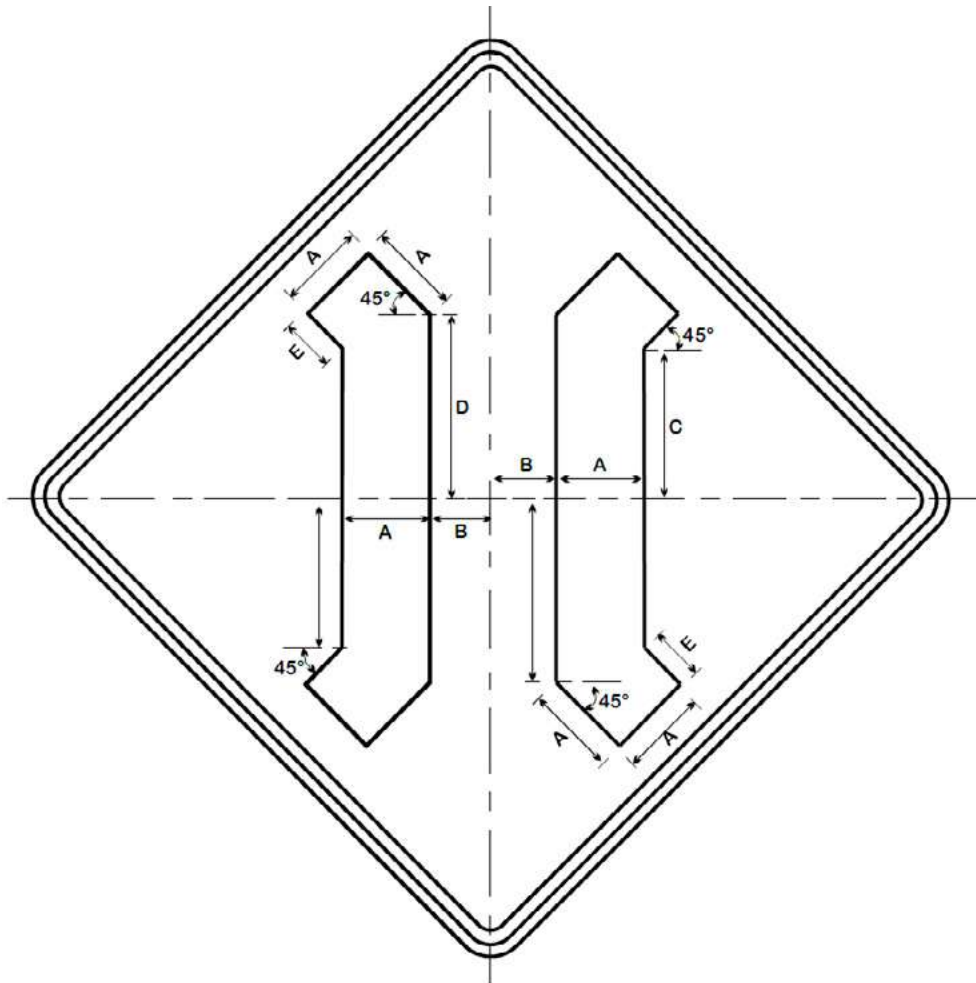
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
60,00	5,50	6,00	21,00	15,20	12,80	8,20	5,80	2,50	16,00	18,50
75,00	6,40	7,00	26,25	19,00	16,00	10,25	7,25	3,15	20,00	23,10
90,00	8,25	9,00	31,50	22,80	19,20	19,20	12,30	3,75	24,00	27,75
120,00	11,00	12,00	42,00	30,40	30,40	25,60	16,40	5,00	32,00	37,00

B.31. P-31: ENSANCHE ASIMÉTRICO DE LA CALZADA (DERECHA)



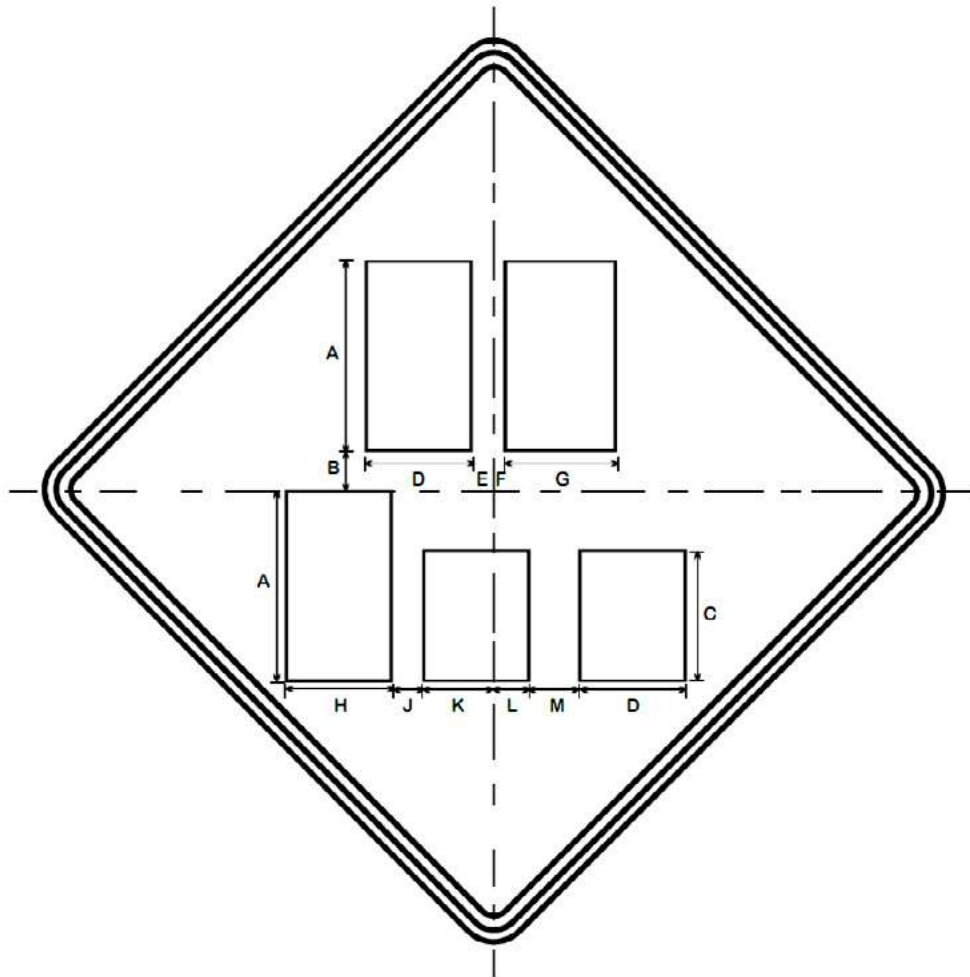
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
60,00	5,50	6,00	21,00	15,20	12,80	8,20	5,80	2,50	16,00	18,50
75,00	6,40	7,00	26,25	19,00	16,00	10,25	7,25	3,15	20,00	23,10
90,00	8,25	9,00	31,50	22,80	19,20	19,20	12,30	3,75	24,00	27,75
120,00	11,00	12,00	42,00	30,40	30,40	25,60	16,40	5,00	32,00	37,00

B.32. P-32: PUENTE ANGOSTO



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)				
	A	B	C	D	E
60,00	9,00	5,50	13,60	17,30	5,25
75,00	10,00	7,00	17,00	21,00	5,80
90,00	13,50	8,25	20,40	25,95	7,87
120,00	18,00	11,00	27,20	34,60	10,50

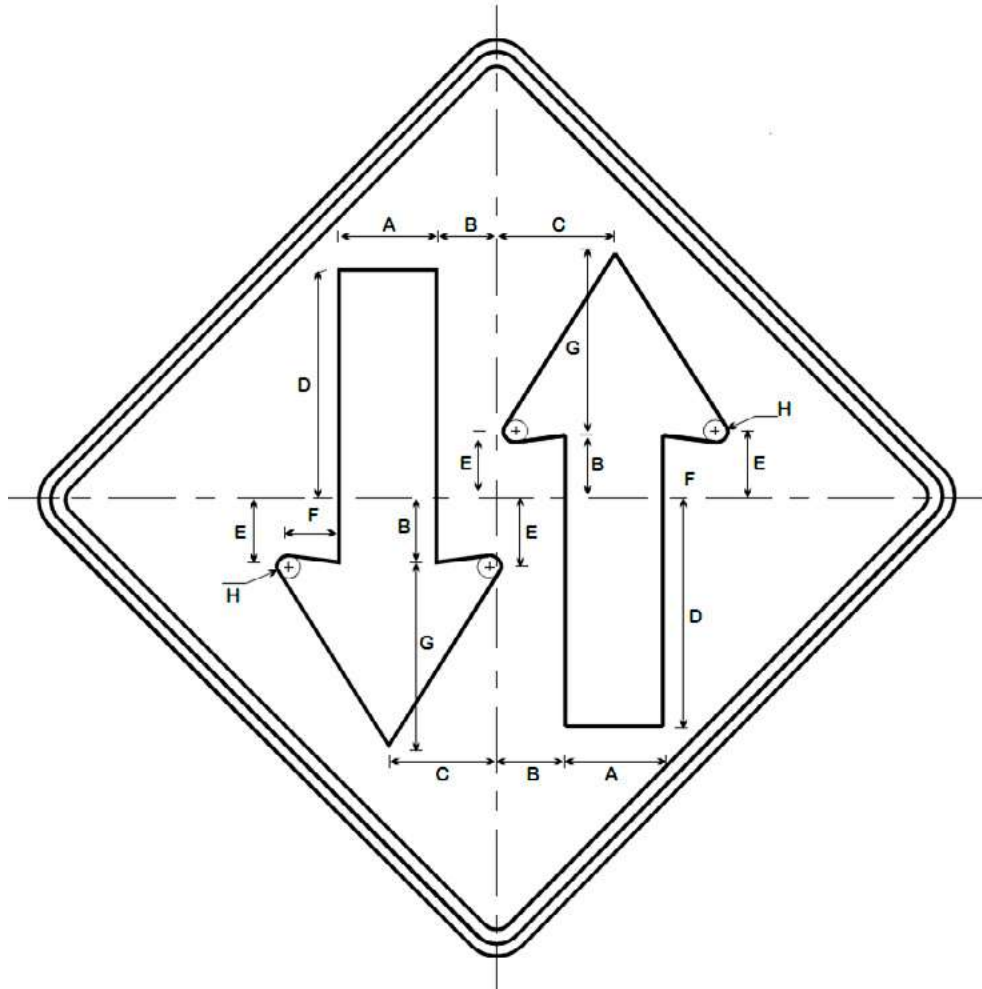
B.33. P-33: PESO MÁXIMO TOTAL PERMITIDO



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
60,00	15,00	3,00	10,00	8,33	1,52	1,05	8,81	7,62
75,00	20,00	4,00	13,33	11,13	2,00	1,40	11,74	10,16
90,00	22,50	4,50	15,00	12,49	2,28	1,57	13,21	11,43
120,00	30,00	6,00	20,00	16,66	3,04	2,10	17,62	15,24

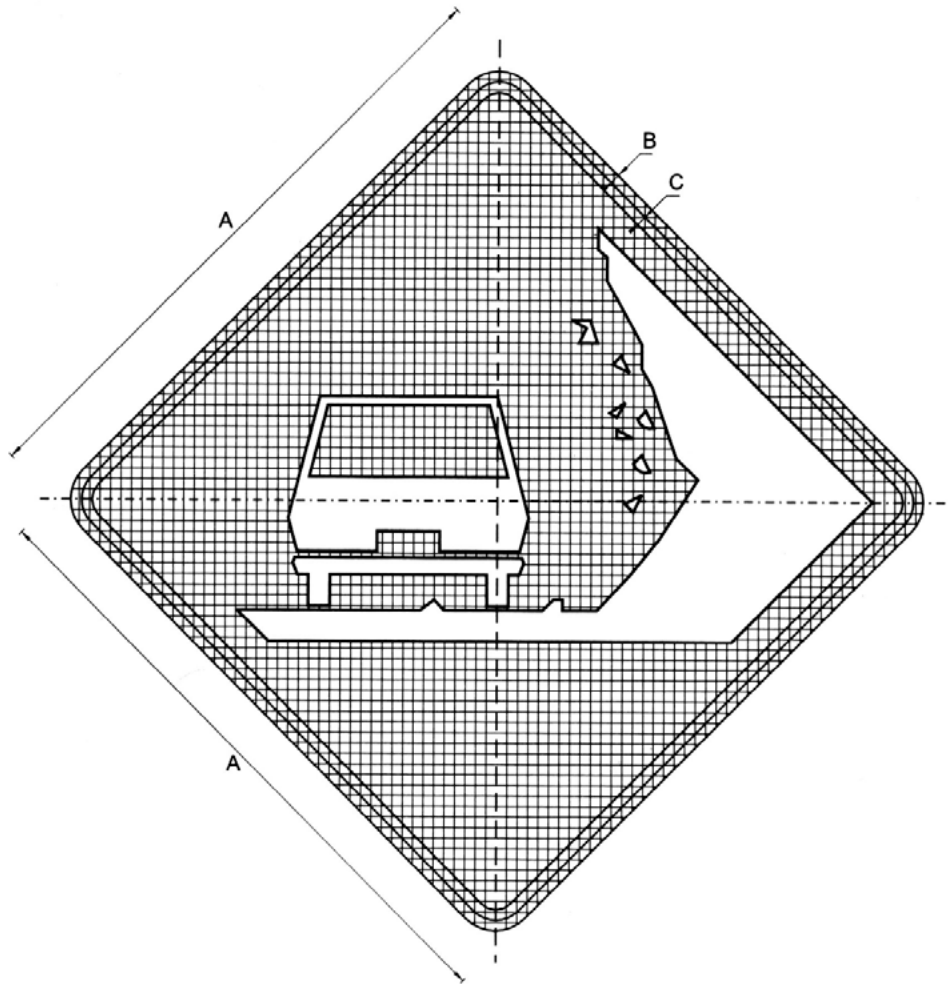
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)					ALFABETO
	J	K	L	M		
60,00	2,54	4,97	3,36	3,44	B – 15	
75,00	3,38	6,83	4,30	4,93	B – 20	
90,00	3,81	7,45	5,04	5,16	B – 22,5	
120,00	5,08	9,94	6,72	6,88	B – 30	

B.34. P-34: CIRCULACIÓN EN DOS SENTIDOS



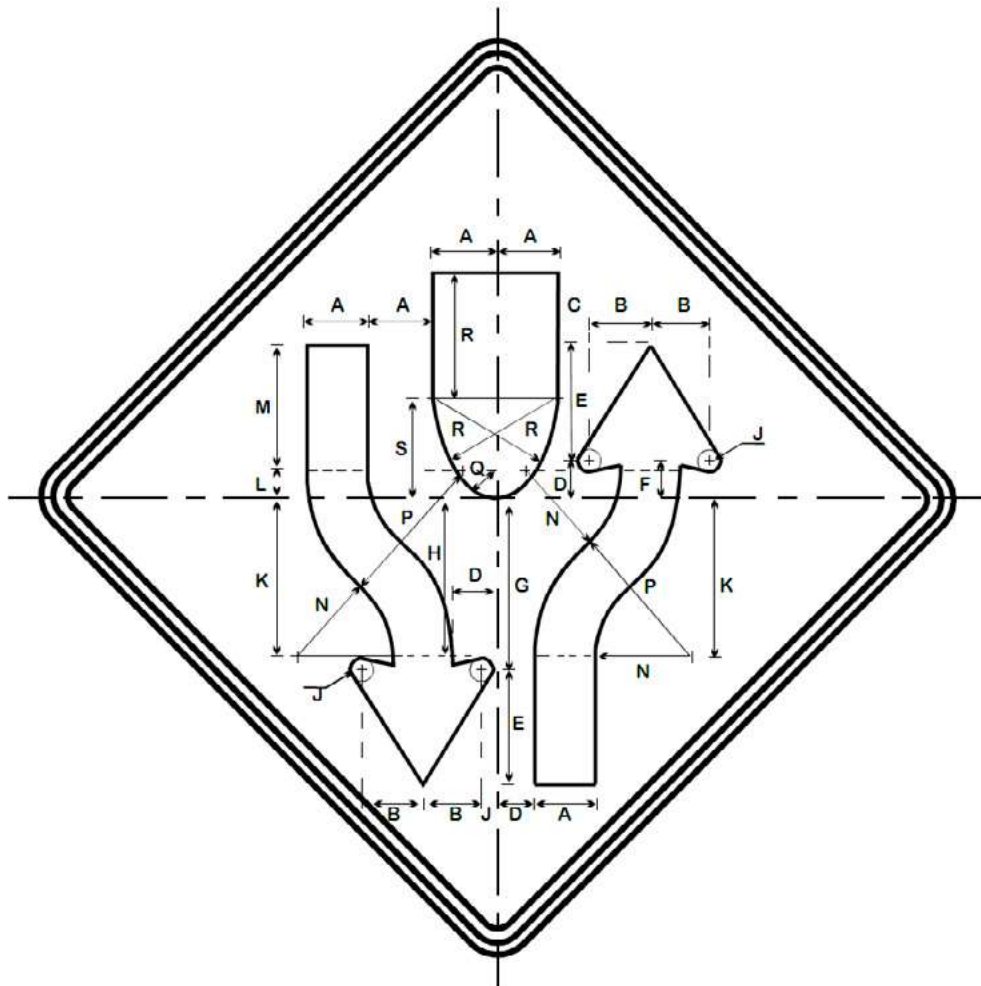
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
60,00	9,00	5,90	10,40	20,50	6,20	5,00	17,15	0,90
75,00	11,00	7,10	12,60	25,75	7,45	6,00	20,85	1,10
90,00	13,50	8,85	15,60	30,75	9,30	7,50	25,72	1,35
120,00	18,00	11,80	20,80	41,00	12,40	10,00	34,30	1,80

B.35. P-35: ZONA DE DERRUMBE



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)			
	A	B	C	CUADRÍCULA
60,00	60,00	1,00	1,00	1,00 X 1,00
75,00	75,00	1,25	1,25	1,25 X 1,25
90,00	90,00	1,50	1,50	1,50 X 1,50
120,00	120,00	2,00	2,00	2,00 X 2,00

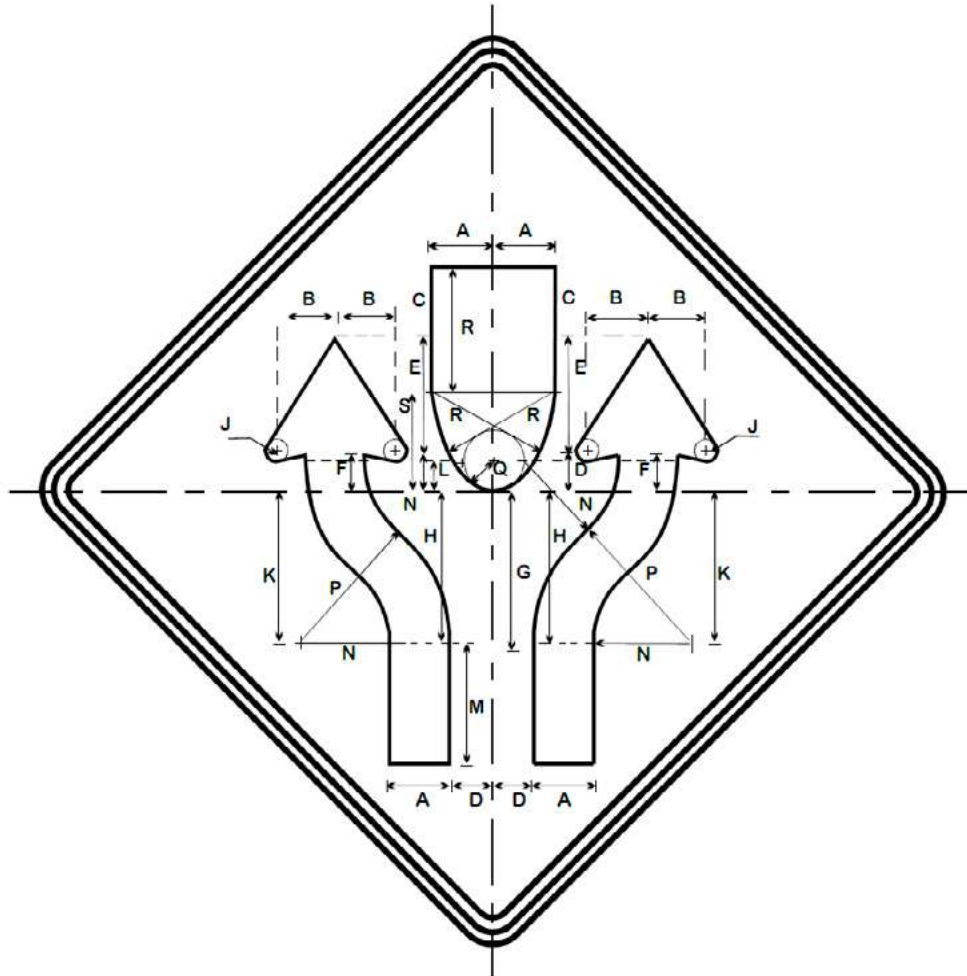
B.36. P-36 : INICIO DE SEPARADOR (DOS SENTIDOS)



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	
60,00	6,00	6,40	2,60	3,60	11,30	3,50	15,60	15,50	0,60	
75,00	7,00	7,35	3,15	4,50	13,00	4,30	18,05	17,85	0,70	
90,00	9,00	9,60	3,90	5,40	16,95	5,25	23,4	23,25	0,90	

SEÑAL	DIMENSIONES (cm)								
	K	L	M	N	P	Q	R	S	
60,00	15,00	3,00	12,00	9,20	15,20	2,80	12,00	9,30	
75,00	17,35	3,80	13,70	10,50	17,50	3,50	14,00	11,65	
90,00	22,50	4,50	18,00	13,80	22,80	4,20	18,00	13,95	

B.37. P-37: INICIO DE VÍA CON SEPARADOR (UN SENTIDO)



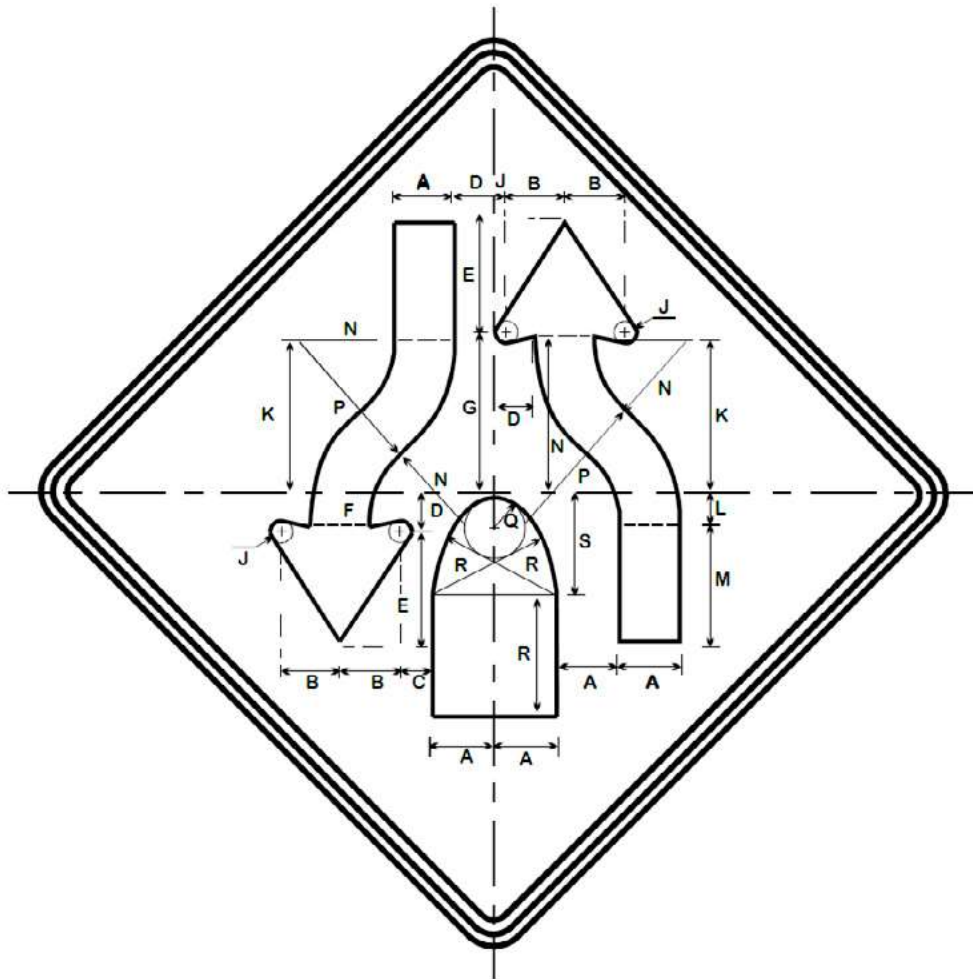
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	J
60,00	6,00	6,40	2,60	3,60	11,30	3,50	15,60	15,50	0,60
75,00	7,00	7,35	3,15	4,50	13,00	4,30	18,05	17,85	0,70
90,00	9,00	9,60	3,90	5,40	16,95	5,25	23,4	23,25	0,90

SEÑAL	DIMENSIONES (cm)							
	K	L	M	N	P	Q	R	S
60,00	15,00	3,00	12,00	9,20	15,20	2,80	12,00	9,30
75,00	17,35	3,80	13,70	10,50	17,50	3,50	14,00	11,65
90,00	22,50	4,50	18,00	13,80	22,80	4,20	18,00	13,95

B.38. P-38: FIN DE VÍA CON SEPARADOR (DOS SENTIDOS)



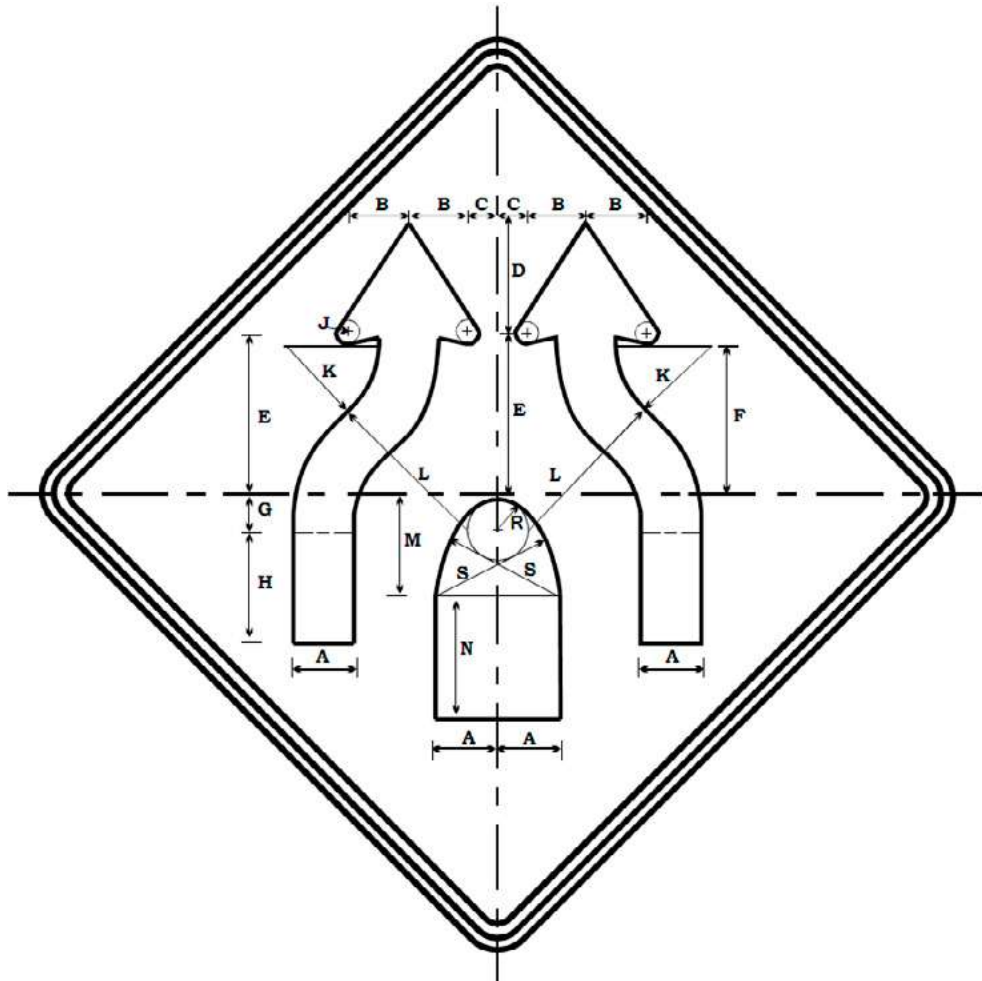
B.38.1.



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	
60,00	6,00	6,40	2,60	3,60	11,30	3,50	15,60	15,50	0,60	
75,00	7,00	7,35	3,15	4,50	13,00	4,30	18,05	17,85	0,70	
90,00	9,00	9,60	3,90	5,40	16,95	5,25	23,4	23,25	0,90	

SEÑAL	DIMENSIONES (cm)								
	K	L	M	N	P	Q	R	S	
60,00	15,00	3,00	12,00	9,20	15,20	2,80	12,00	9,30	
75,00	17,35	3,80	13,70	10,50	17,50	3,50	14,00	11,65	
90,00	22,50	4,50	18,00	13,80	22,80	4,20	18,00	13,95	

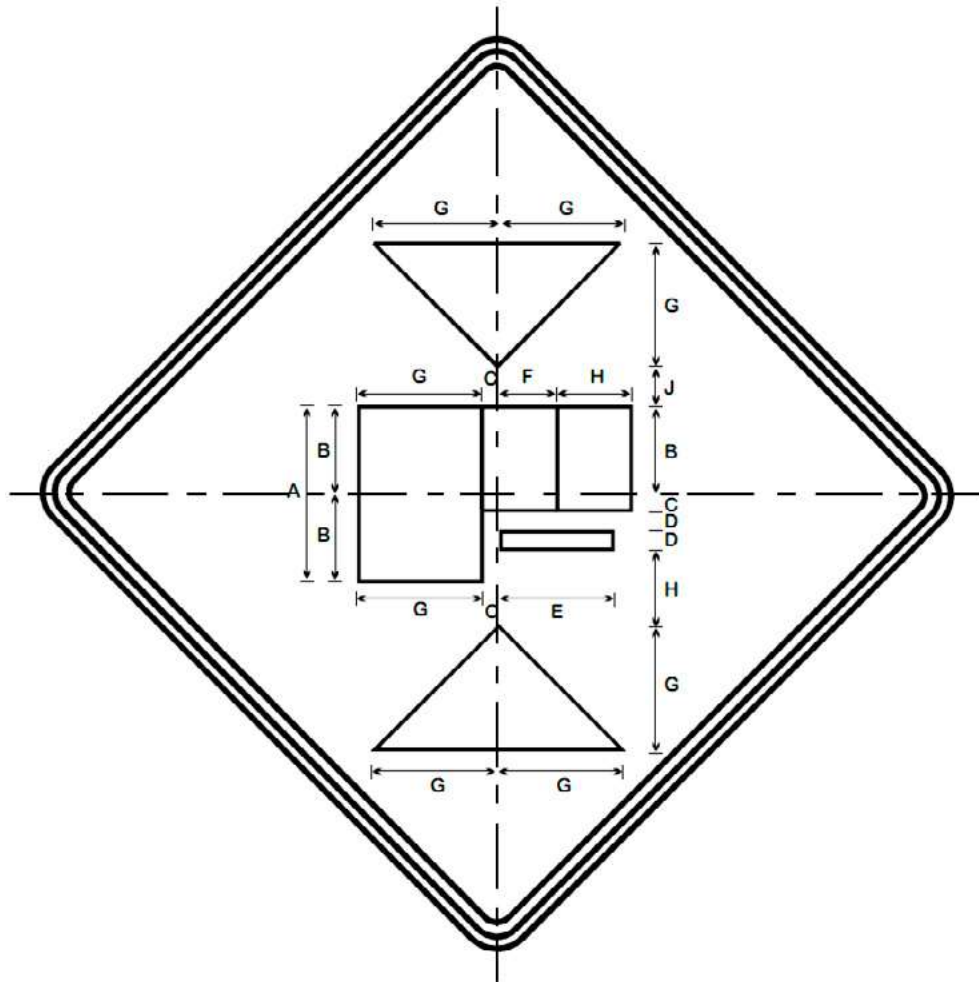
B.39. P-39: FIN DE VÍA CON SEPARADOR (UN SENTIDO)



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
60,00	6,00	6,40	5,00	11,30	15,60	15,00	3,00	12,00
75,00	7,00	7,35	6,00	13,00	18,05	17,35	3,80	13,70
90,00	9,00	9,60	7,50	16,95	23,40	22,50	4,50	18,00

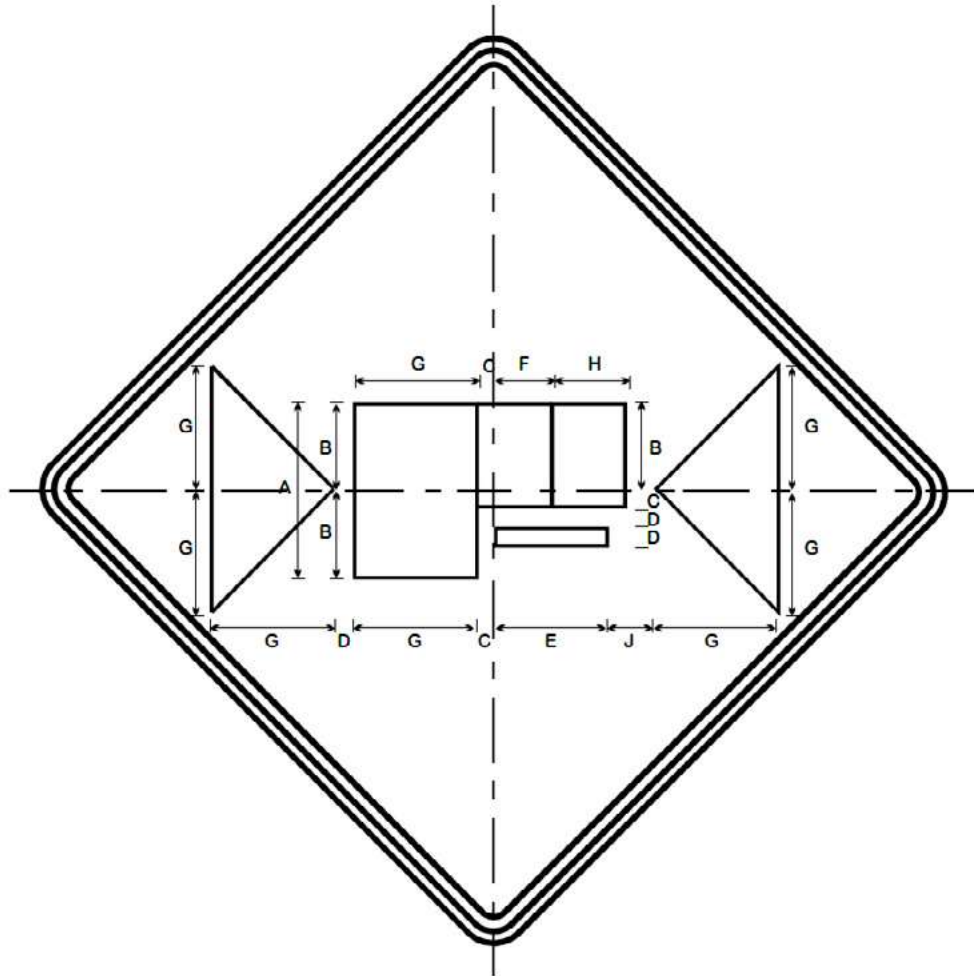
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)						
	J	K	L	M	N	R	S
60,00	0,60	9,20	16,45	9,30	12,00	2,80	12,00
75,00	0,70	10,50	19,00	11,65	14,00	3,50	14,00
90,00	0,90	13,80	24,67	18,60	18,00	4,20	18,00

B.40. P-40: ALTURA LIMITADA



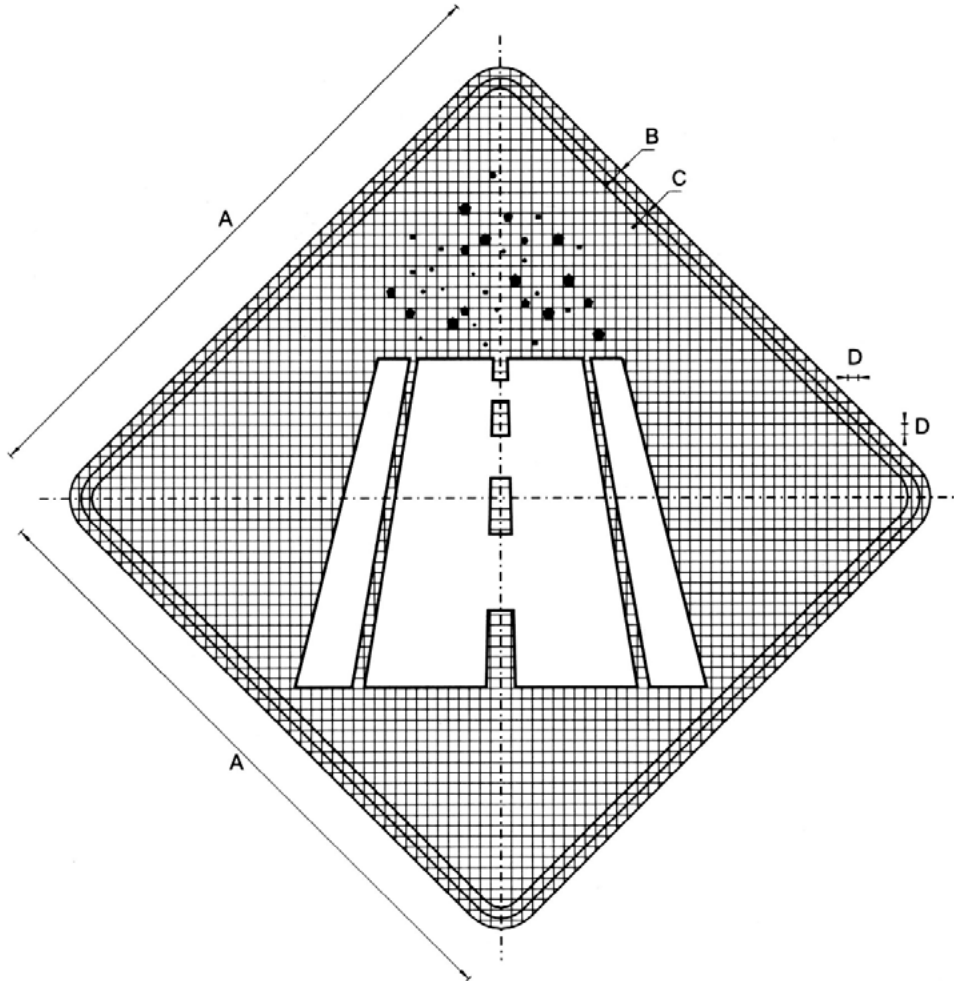
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	ALFABETO
60,00	15,00	7,50	2,50	1,50	9,00	4,50	10,50	7,00	5,00	C - 15 (C - 10)
75,00	20,00	10,00	2,00	2,00	12,80	6,40	14,00	8,40	4,40	C - 20 (C - 12)
90,00	22,50	11,25	3,75	2,25	13,50	6,75	15,75	10,50	7,50	C - 22,5 (C - 15)
120,00	30,00	15,00	5,00	3,00	18,00	9,00	21,00	14,00	10,00	C - 30 (C - 20)

B.41. P-41: ANCHO LIMITADO



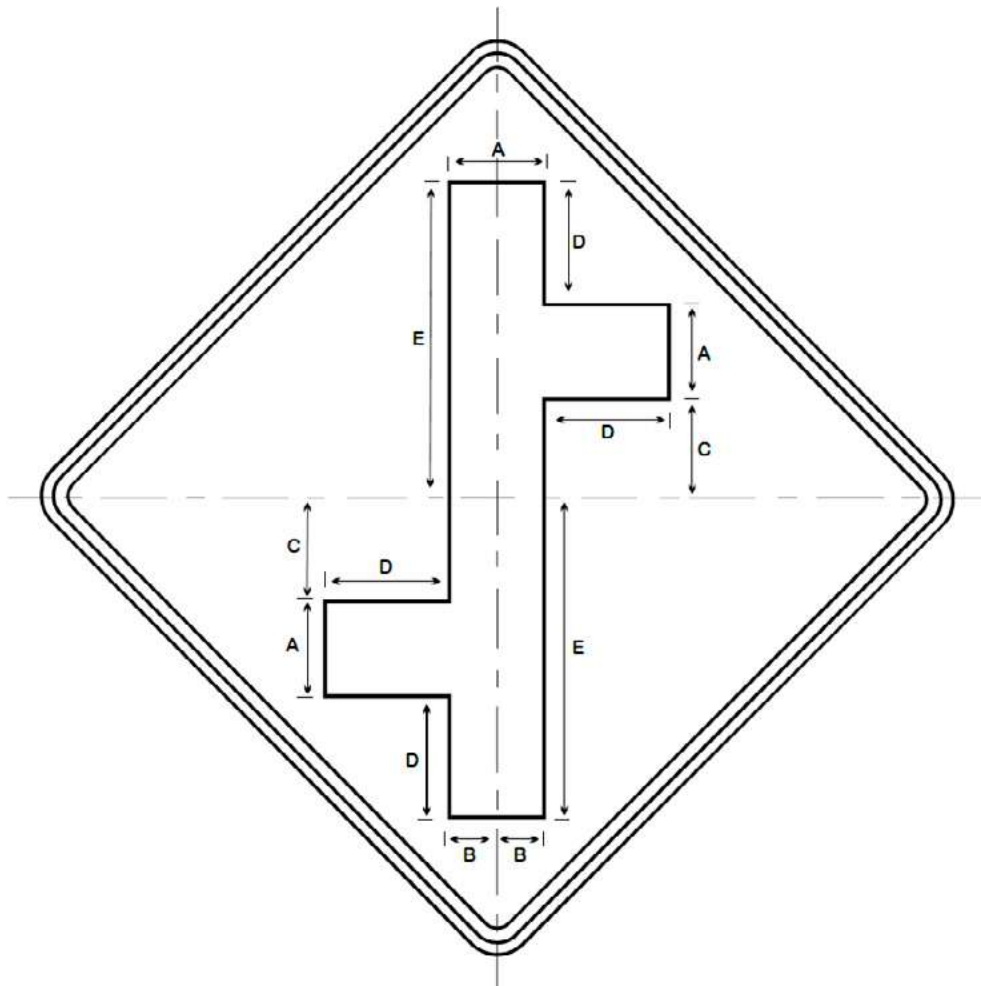
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	ALFABETO
60,00	15,00	7,50	2,50	1,50	9,00	4,50	10,50	7,00	5,50	C - 15 (C - 10)
75,00	20,00	10,00	2,00	2,00	12,80	6,40	14,00	8,40	5,20	C - 20 (C - 12)
90,00	22,50	11,25	3,75	2,25	13,50	6,75	15,75	10,50	8,25	C - 22,5 (C - 15)
120,00	30,00	15,00	5,00	3,00	18,00	9,00	21,00	14,00	11,00	C - 30 (C - 20)

B.42. P-42: FIN DEL PAVIMENTO



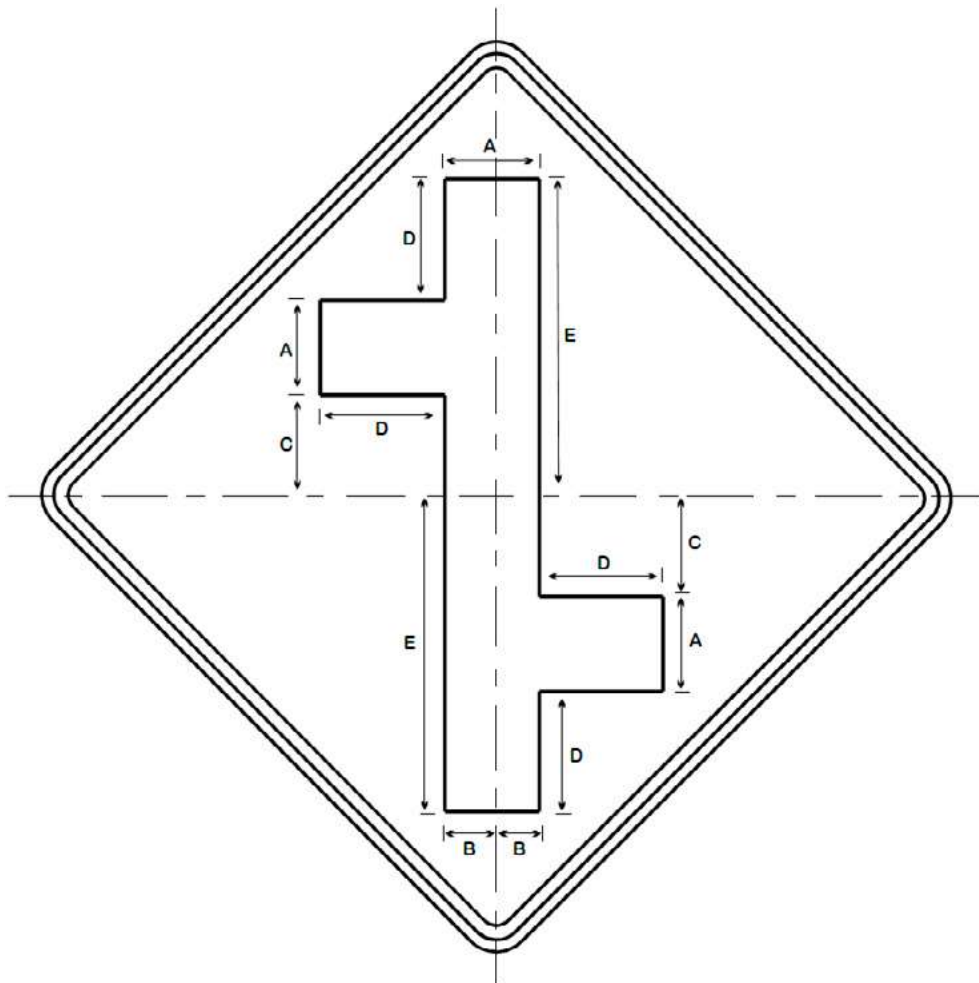
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)			
	A	B	C	CUADRÍCULA
60,00	60,00	1,00	1,00	1,00 X 1,00
75,00	75,00	1,25	1,25	1,25 X 1,25
90,00	90,00	1,50	1,50	1,50 X 1,50

B.43. P-43: BIFURCACIÓN ESCALONADA (IZQUIERDA)



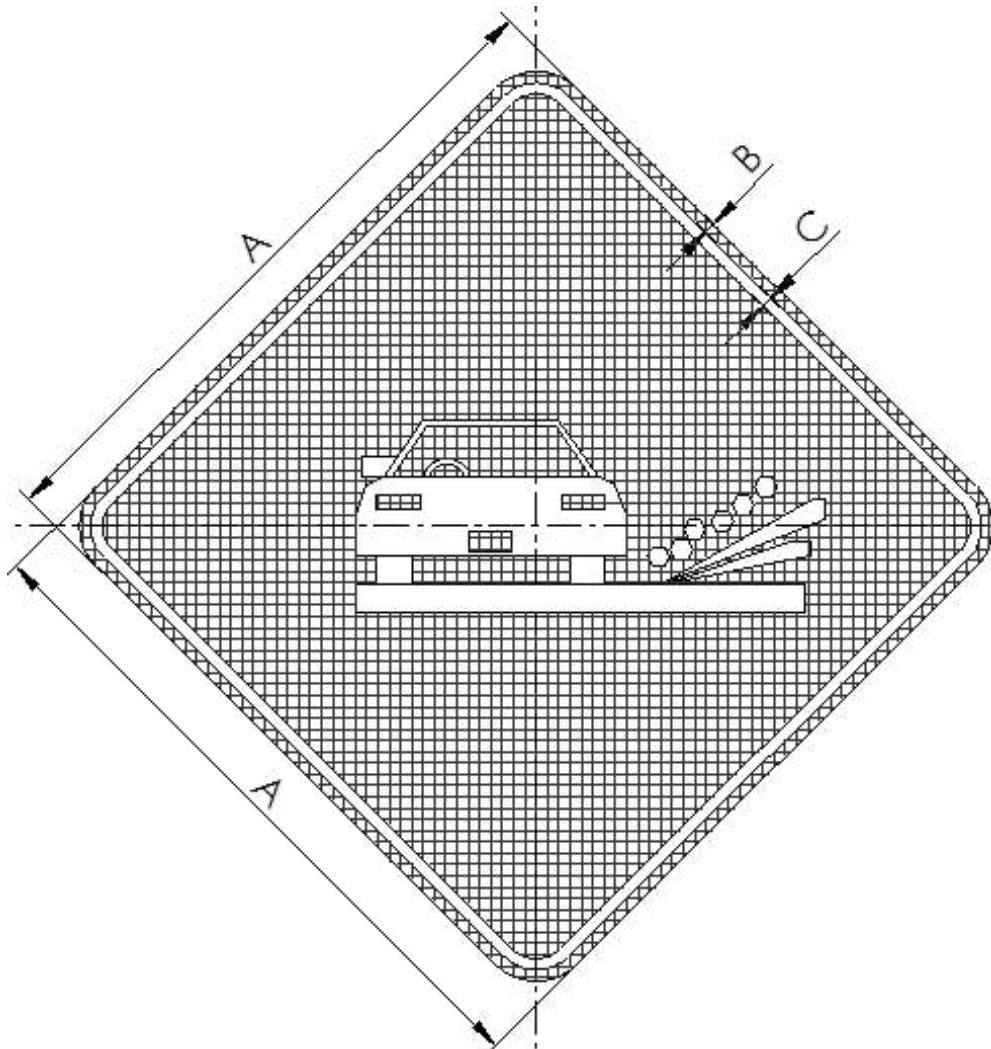
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)				
	A	B	C	D	E
60,00	10,00	5,00	8,50	10,50	29,00
75,00	11,00	5,50	11,50	13,50	36,00
90,00	15,00	7,50	12,75	15,75	43,50
120,00	20,00	10,00	17,00	21,00	58,00

B.44. P-44: BIFURCACIÓN ESCALONADA (DERECHA)



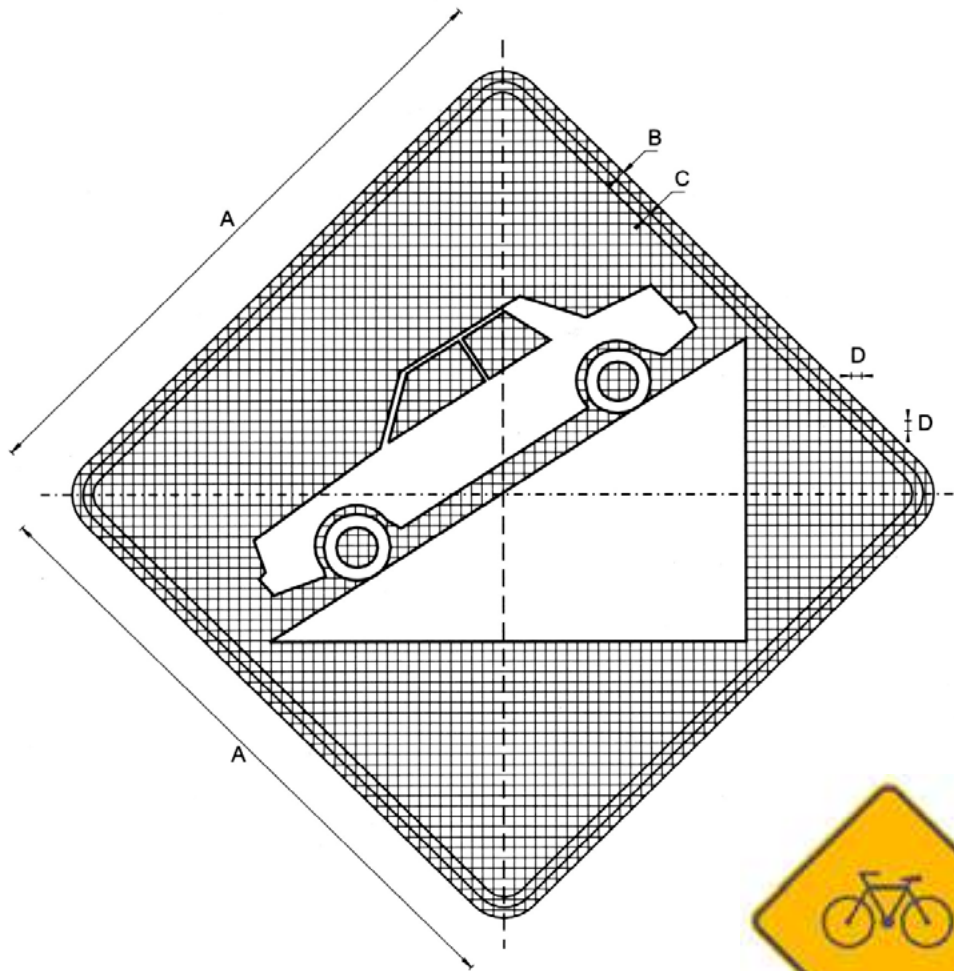
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)				
	A	B	C	D	E
60,00	10,00	5,00	8,50	10,50	29,00
75,00	11,00	5,50	11,50	13,50	36,00
90,00	15,00	7,50	12,75	15,75	43,50
120,00	20,00	10,00	17,00	21,00	58,00

B.45. P-45: PROYECCIÓN DE PIEDRAS



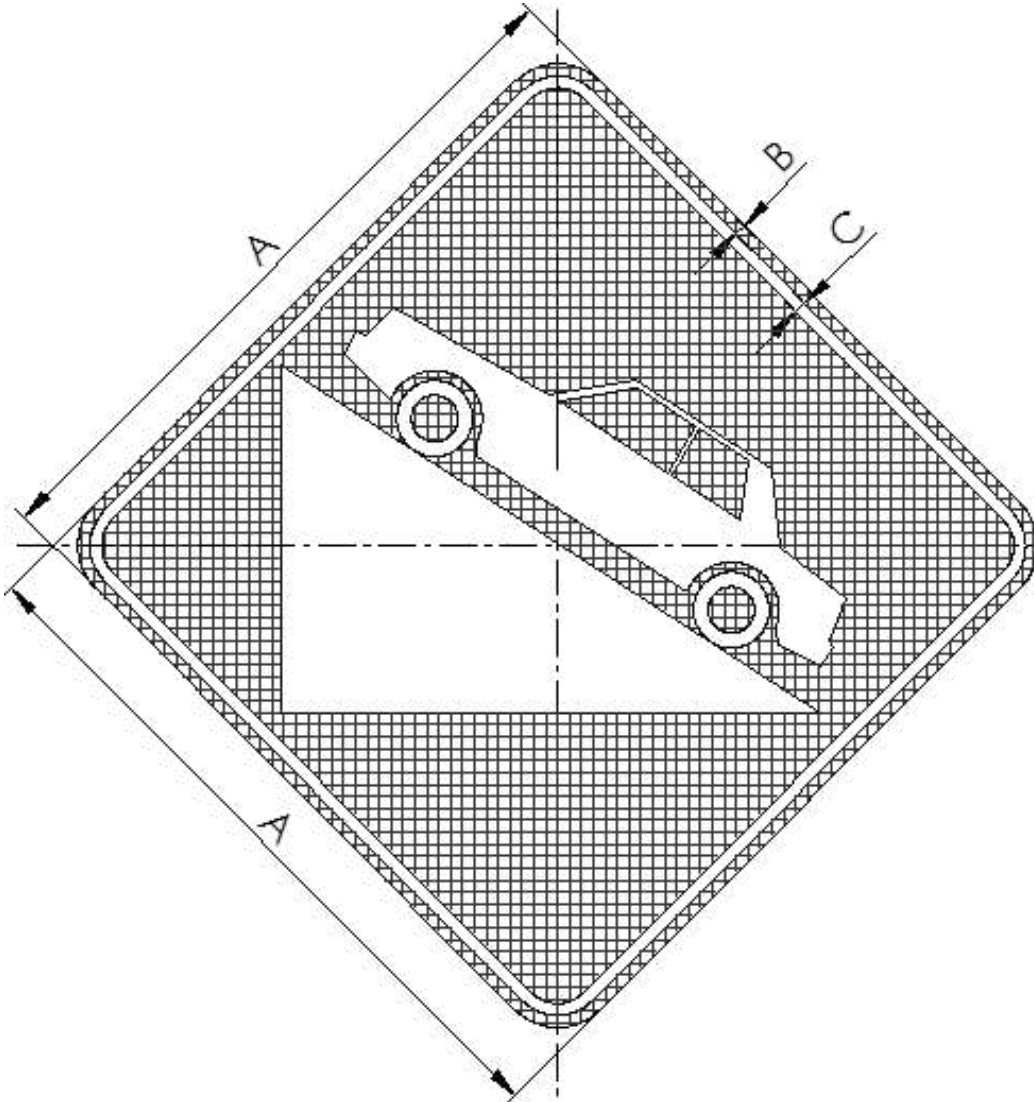
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)			
	A	B	C	CUADRÍCULA
60,00	60,00	1,00	1,00	1,00 X 1,00
75,00	75,00	1,25	1,25	1,25 X 1,25
90,00	90,00	1,50	1,50	1,50 X 1,50

B.46. P-46: PENDIENTE FUERTE DE BAJADA



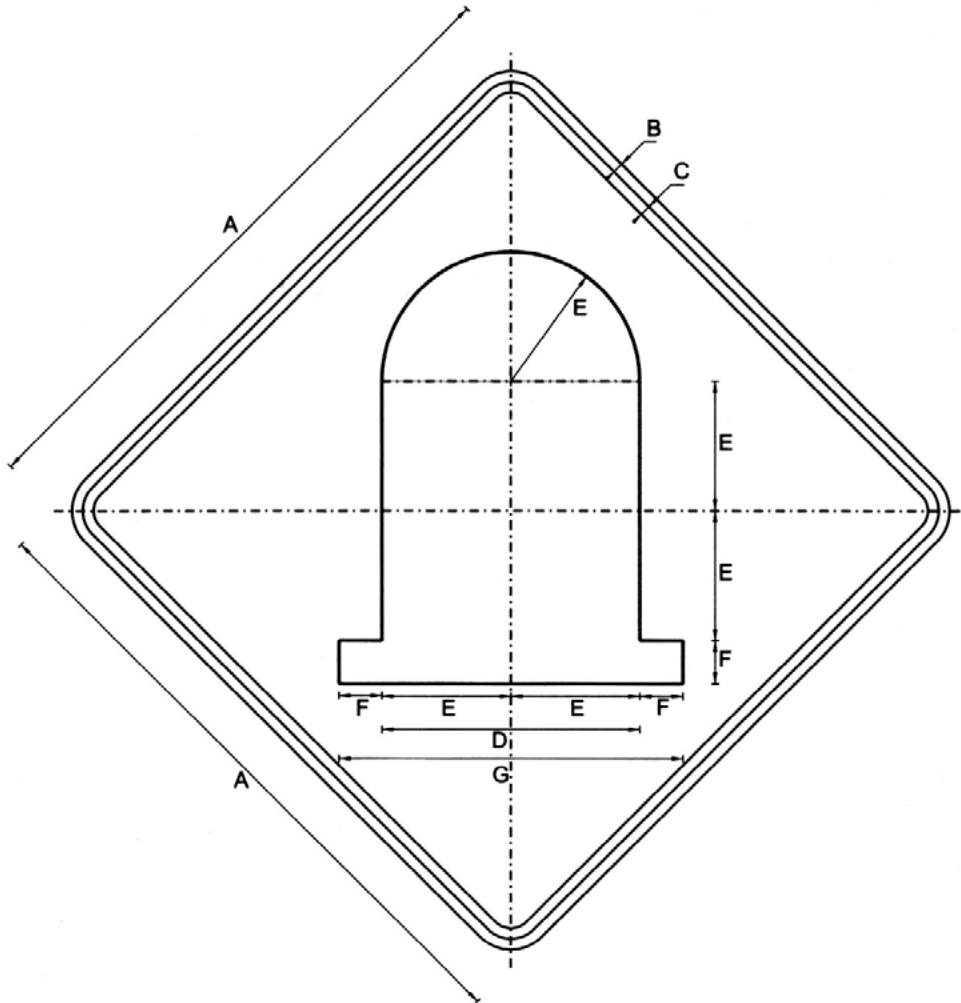
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)			
	A	B	C	CUADRÍCULA
60,00	60,00	1,00	1,00	1,00 X 1,00
75,00	75,00	1,25	1,25	1,25 X 1,25
90,00	90,00	1,50	1,50	1,50 X 1,50
120,00	120,00	2,00	2,00	2,00 X 2,00

B.47. P-47: PENDIENTE FUERTE DE SUBIDA

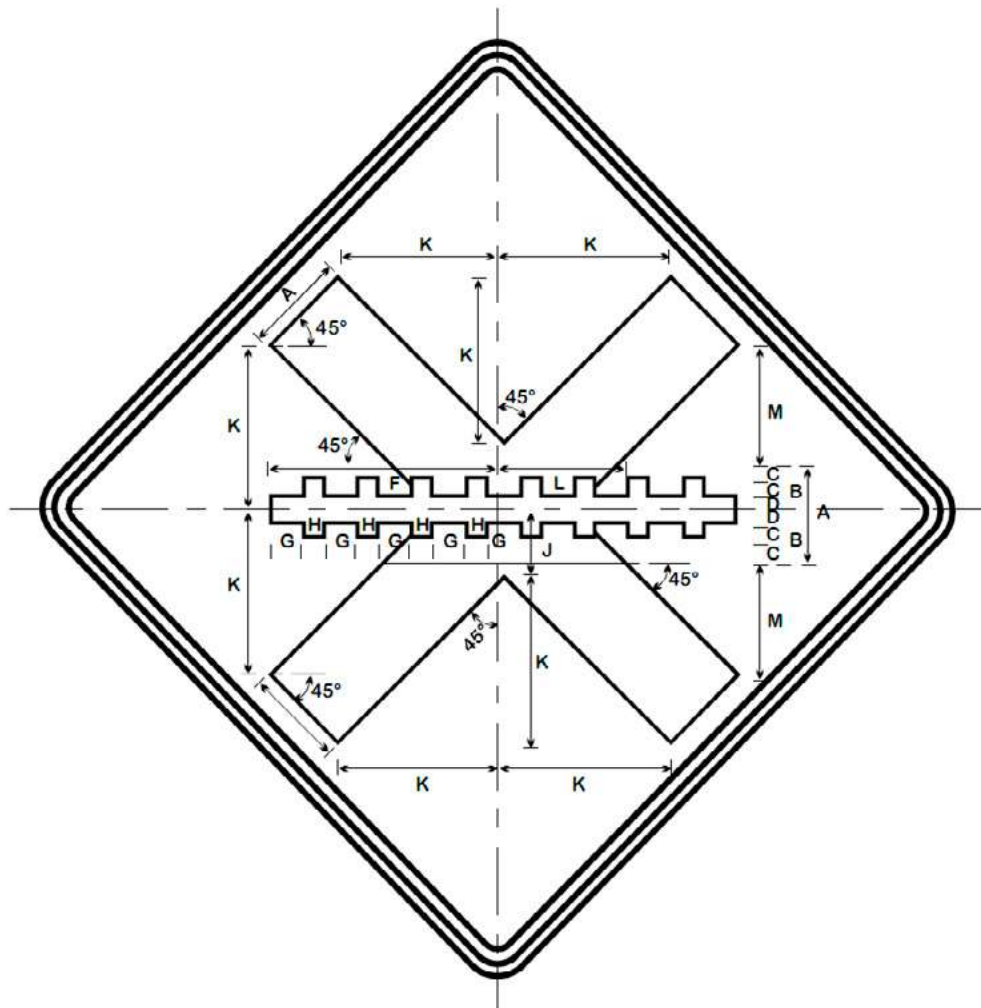


SEÑAL	DIMENSIONES (cm)			
	A	B	C	CUADRÍCULA
60,00	60,00	1,00	1,00	1,00 X 1,00
75,00	75,00	1,25	1,25	1,25 X 1,25
90,00	90,00	1,50	1,50	1,50 X 1,50
120,00	120,00	2,00	2,00	2,00 X 2,00

B.48. P-48: TÚNEL

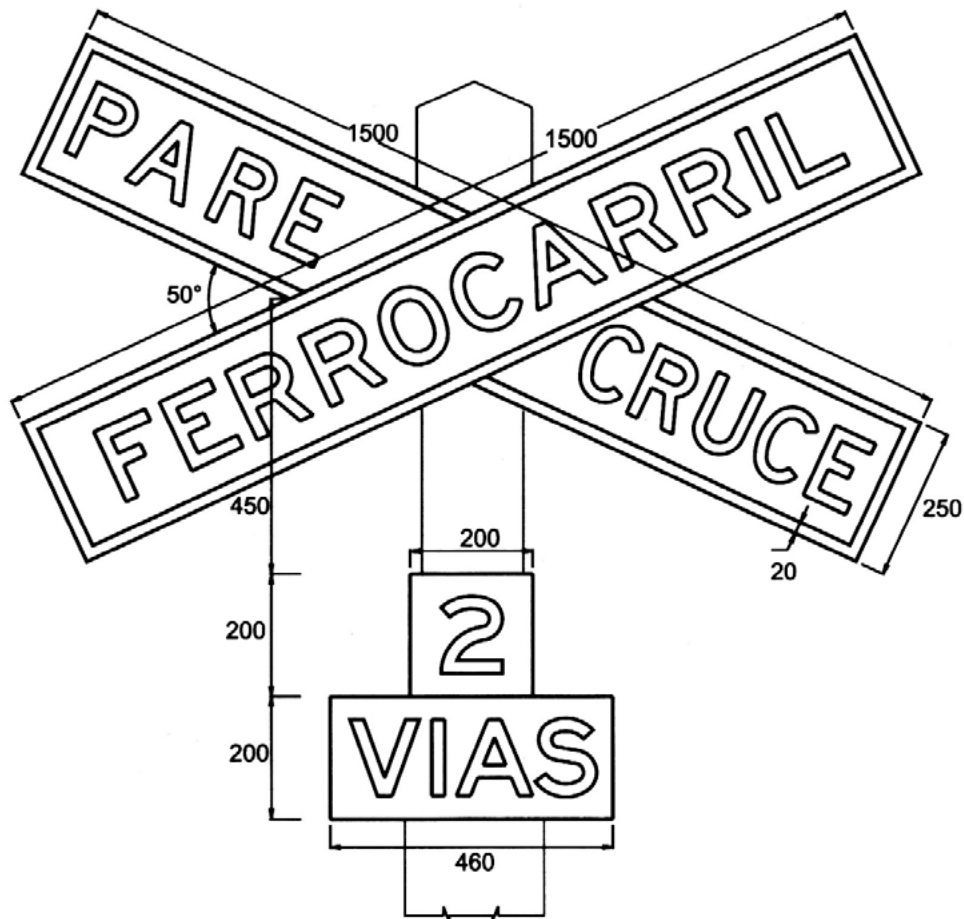


B.49. P-49: CRUCE FERROVIARIO A NIVEL SIN BARRERAS



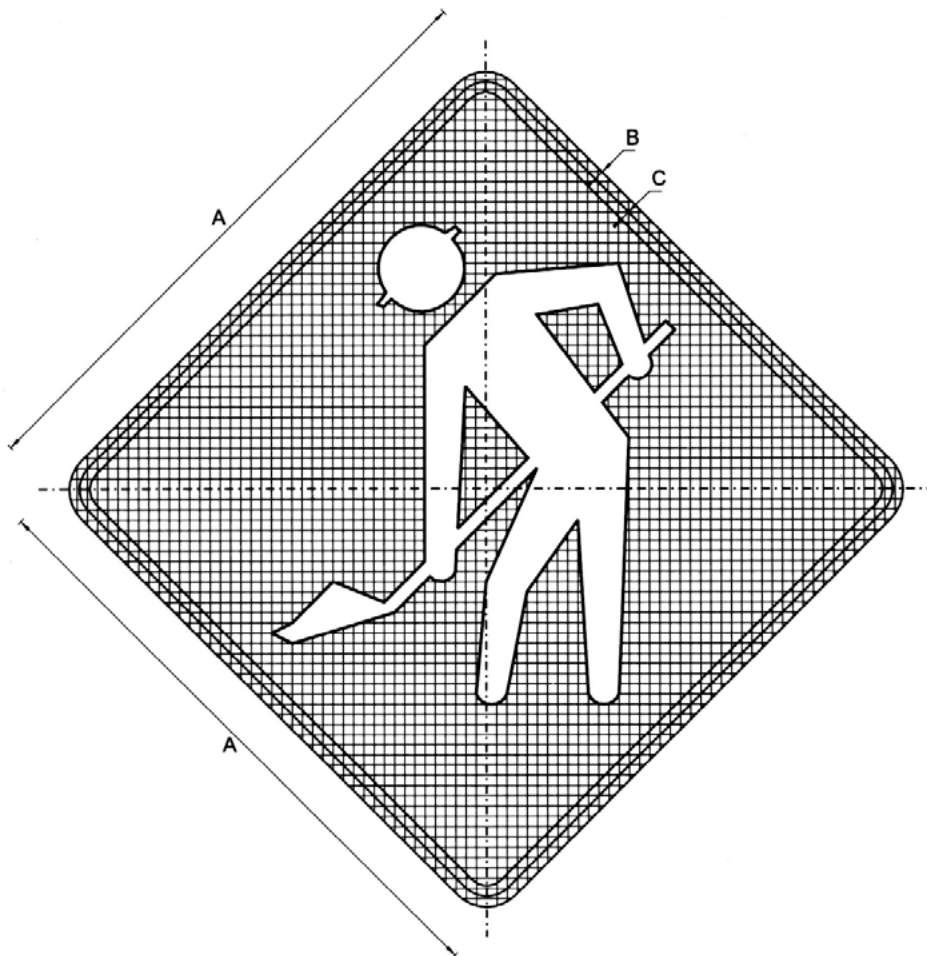
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)											
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M
60,00	9,00	4,50	1,60	1,30	1,40	20,60	2,80	2,00	6,35	14,50	11,50	10,00
75,00	11,00	5,50	2,00	1,50	1,75	25,75	3,50	2,50	7,75	18,20	13,30	12,70
90,00	13,50	6,75	2,40	1,95	2,10	30,90	4,20	3,00	9,52	21,75	17,25	15,00

B.50. P-50: PASO FERROVIARIO A NIVEL (CRUZ DE SAN ANDRÉS)



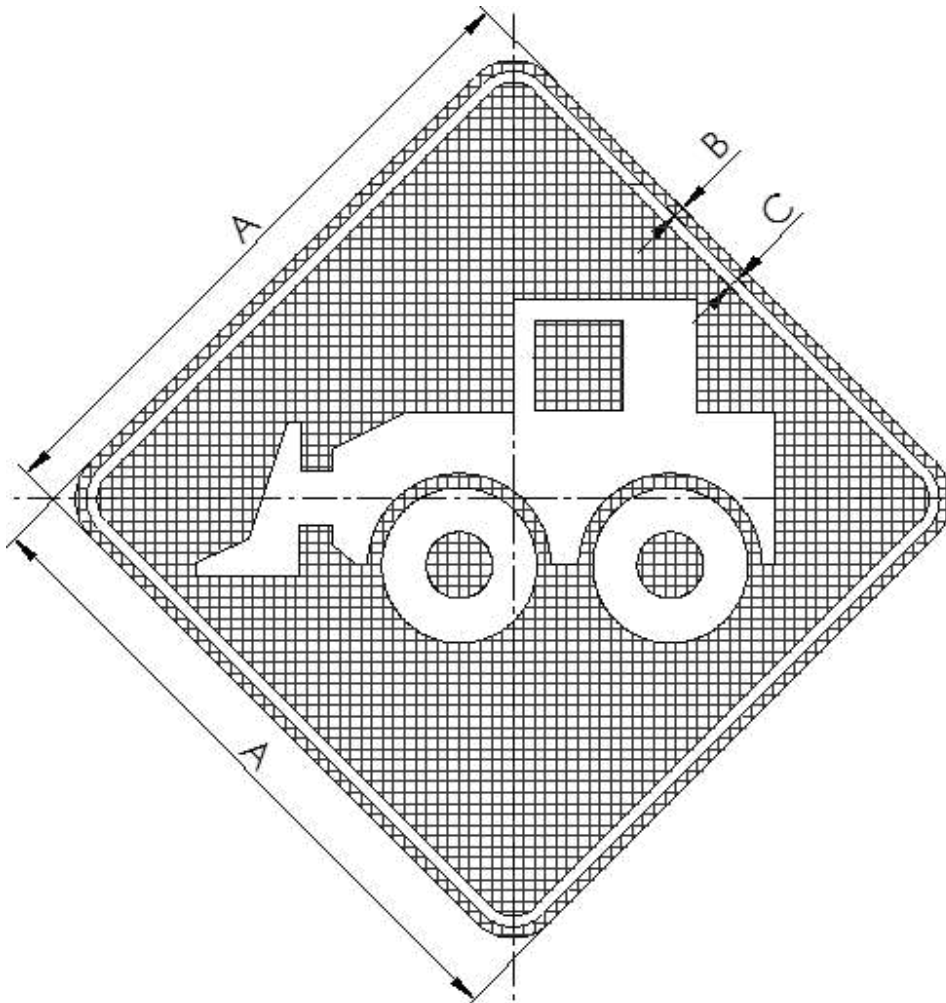
C. SEÑALES VERTICALES PREVENTIVAS PARA ADVERTIR LA POSIBILIDAD DE RIESGO EVENTUAL

C.1. P-51: TRABAJOS EN LA VÍA



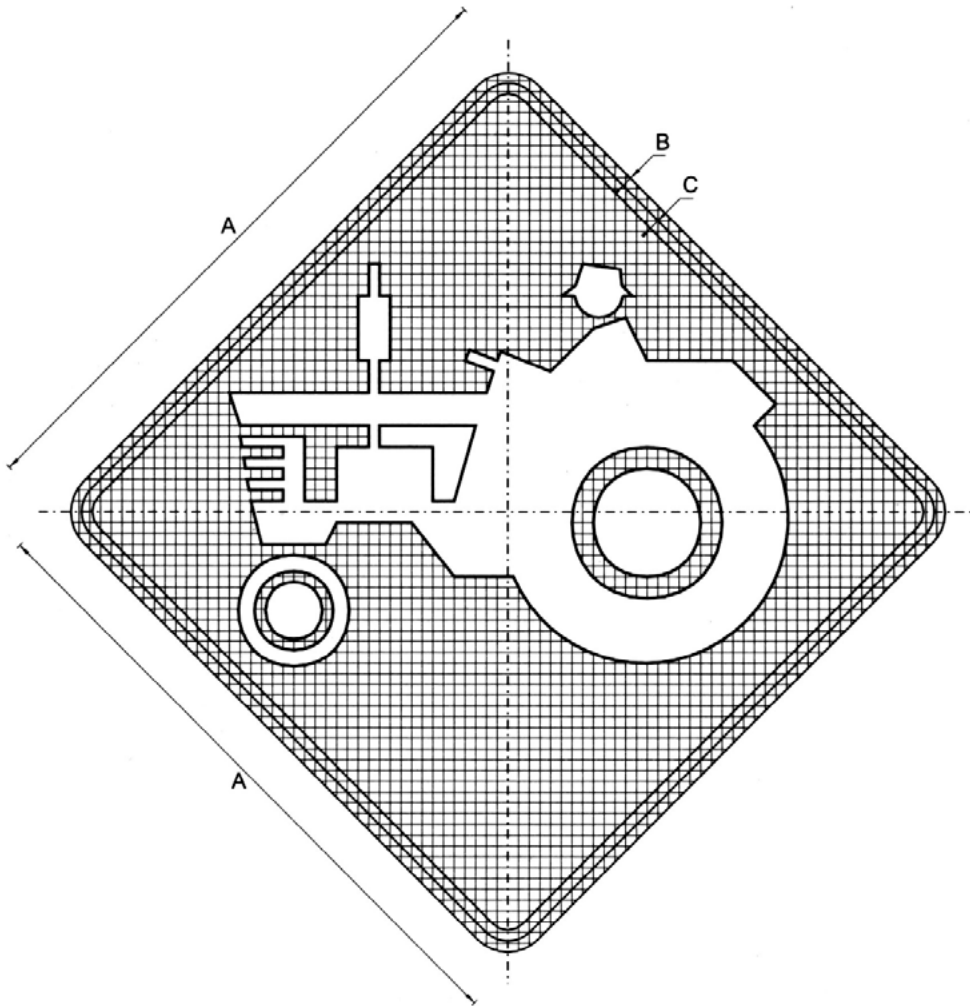
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)			
	A	B	C	CUADRÍCULA
60,00	60,00	1,00	1,00	1,00 X 1,00
75,00	75,00	1,25	1,25	1,25 X 1,25
90,00	90,00	1,50	1,50	1,50 X 1,50
120,00	120,00	2,00	2,00	2,00 X 2,00

C.2. P-52: MAQUINARIA EN LA VÍA



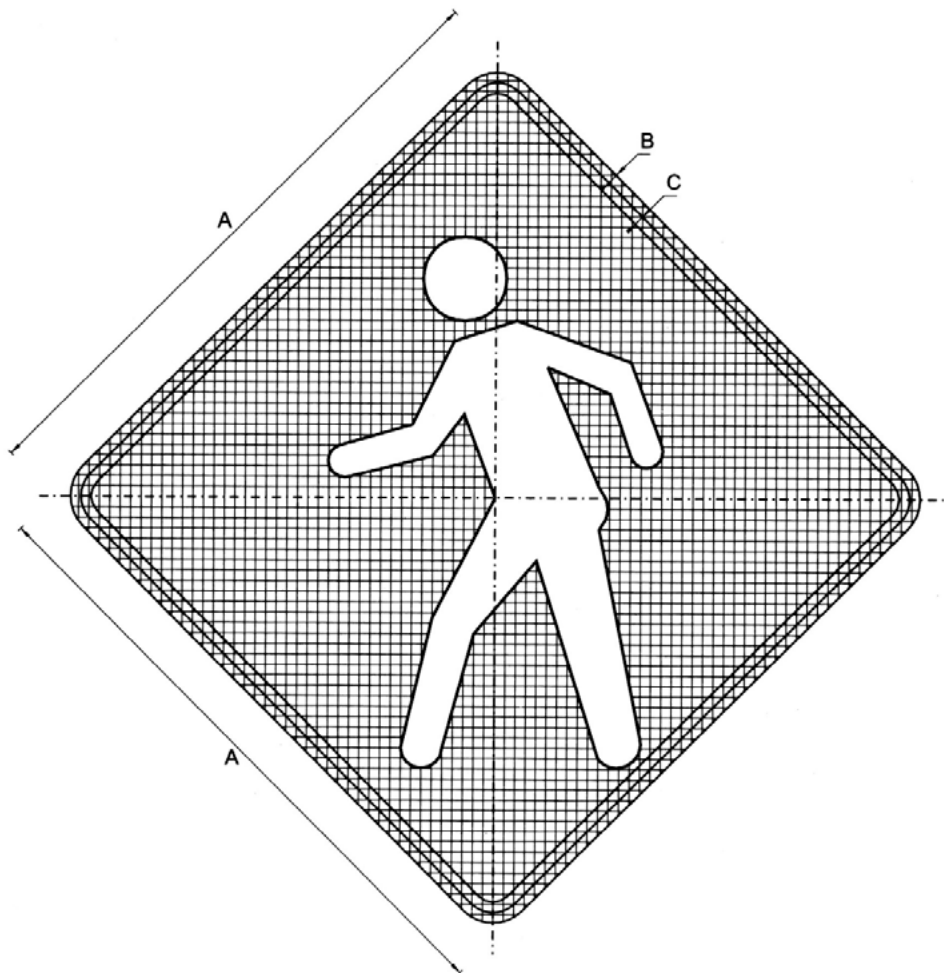
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)			
	A	B	C	CUADRÍCULA
60,00	60,00	1,00	1,00	1,00 X 1,00
75,00	75,00	1,25	1,25	1,25 X 1,25
90,00	90,00	1,50	1,50	1,50 X 1,50
120,00	120,00	2,00	2,00	2,00 X 2,00

C.3. P-53: MAQUINARIA AGRÍCOLA EN LA VÍA



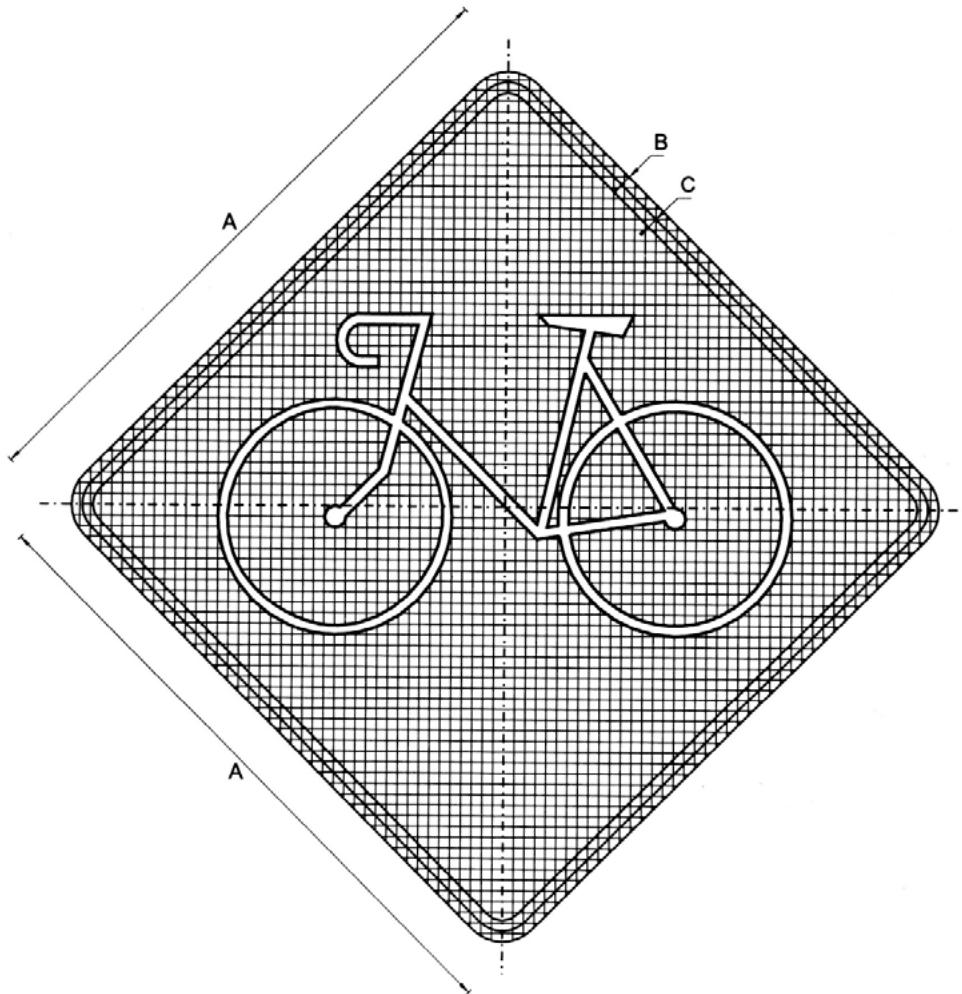
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)			
	A	B	C	CUADRÍCULA
60,00	60,00	1,00	1,00	1,00 X 1,00
75,00	75,00	1,25	1,25	1,25 X 1,25
90,00	90,00	1,50	1,50	1,50 X 1,50

C.4. P-54: PEATONES EN LA VÍA



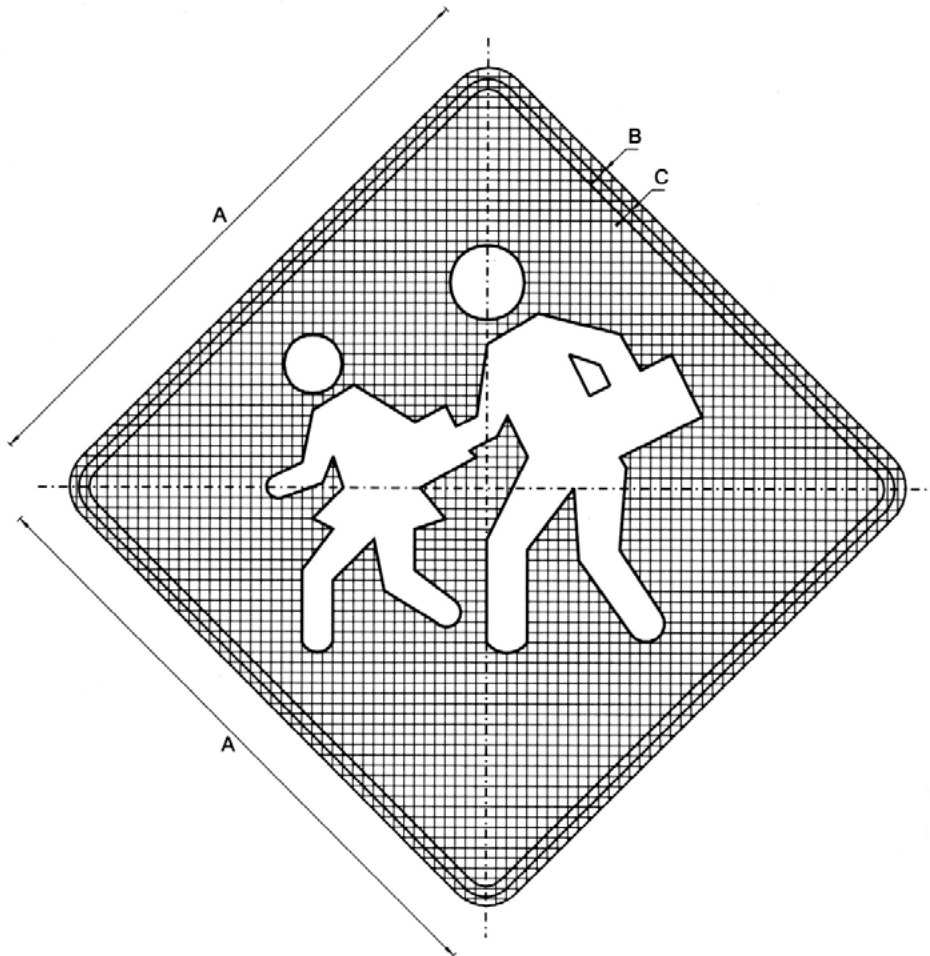
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)			
	A	B	C	CUADRÍCULA
60,00	60,00	1,00	1,00	1,00 X 1,00
75,00	75,00	1,25	1,25	1,25 X 1,25
90,00	90,00	1,50	1,50	1,50 X 1,50

C.5. P-55: CICLISTAS



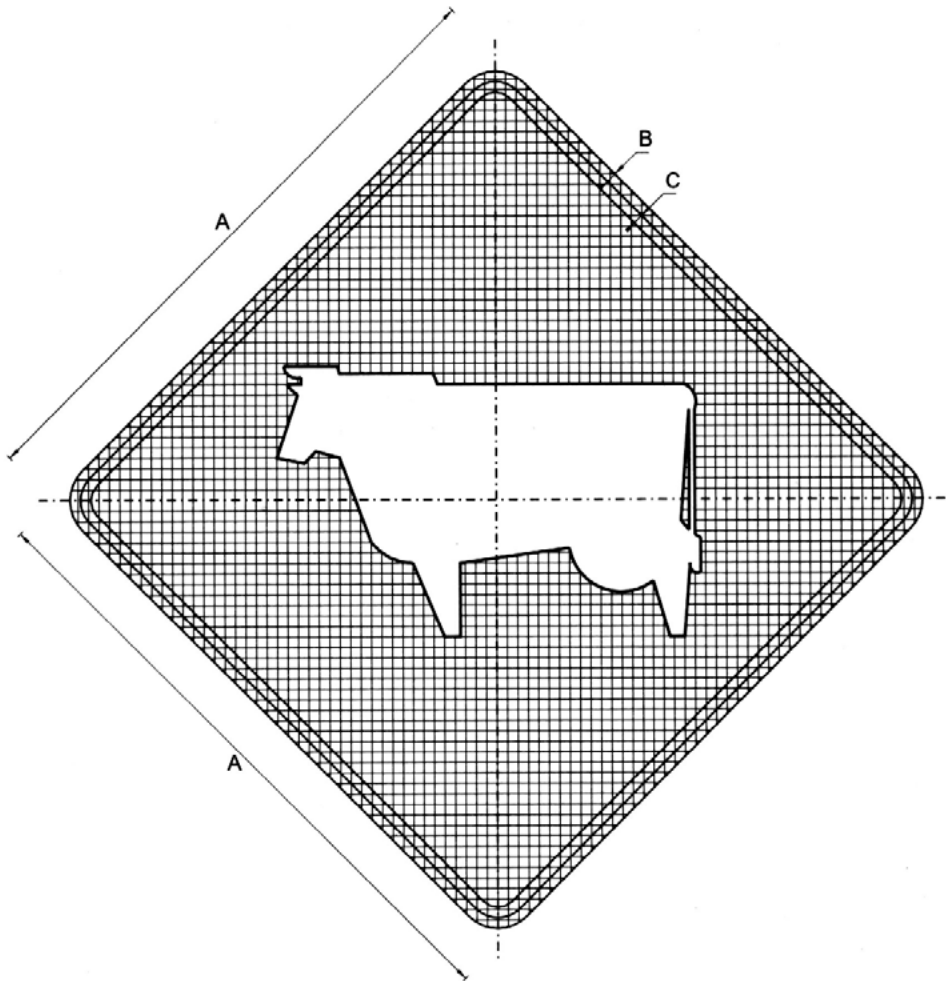
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)			
	A	B	C	CUADRÍCULA
60,00	60,00	1,00	1,00	1,00 X 1,00
75,00	75,00	1,25	1,25	1,25 X 1,25
90,00	90,00	1,50	1,50	1,50 X 1,50

C.6. P-56: ZONA ESCOLAR



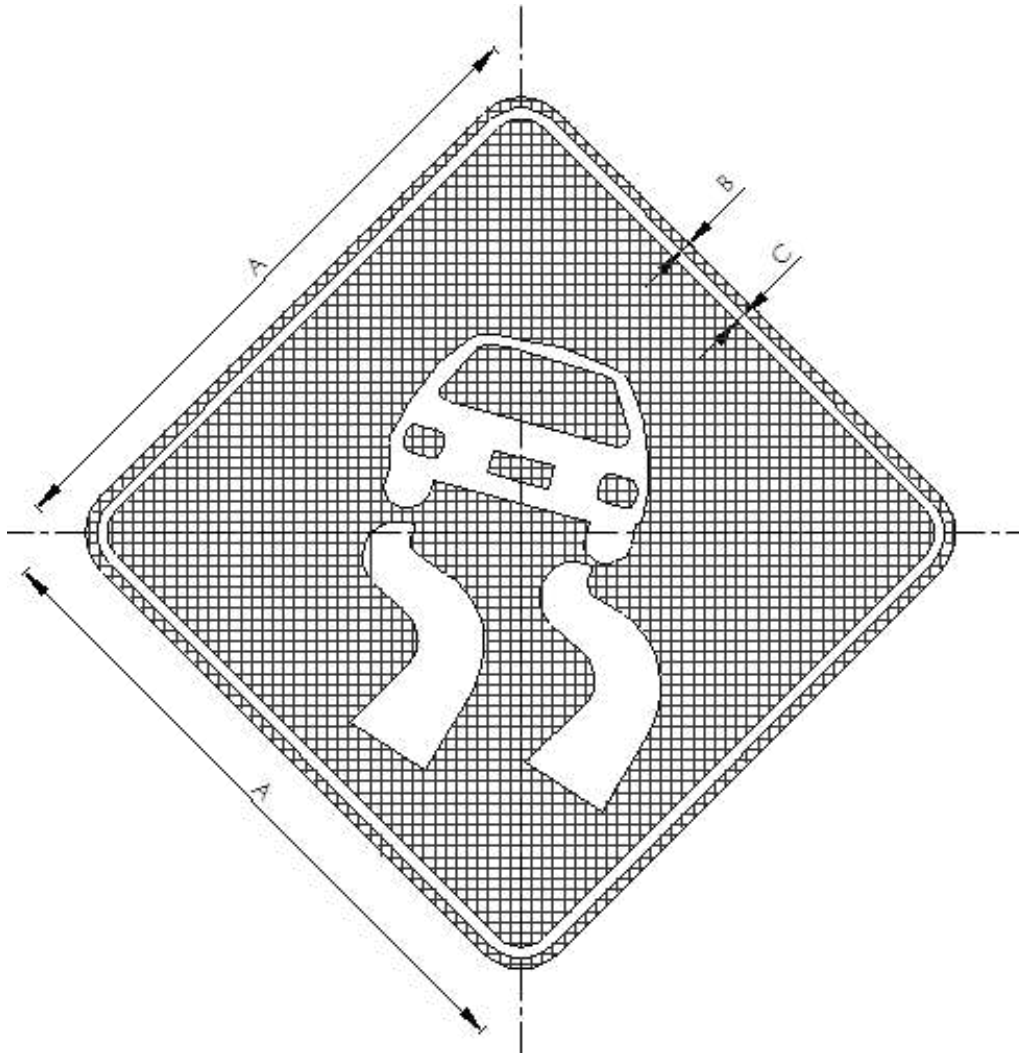
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)			
	A	B	C	CUADRÍCULA
60,00	60,00	1,00	1,00	1,00 X 1,00
75,00	75,00	1,25	1,25	1,25 X 1,25
90,00	90,00	1,50	1,50	1,50 X 1,50

C.7. P-57: ANIMALES EN LA VÍA PÚBLICA



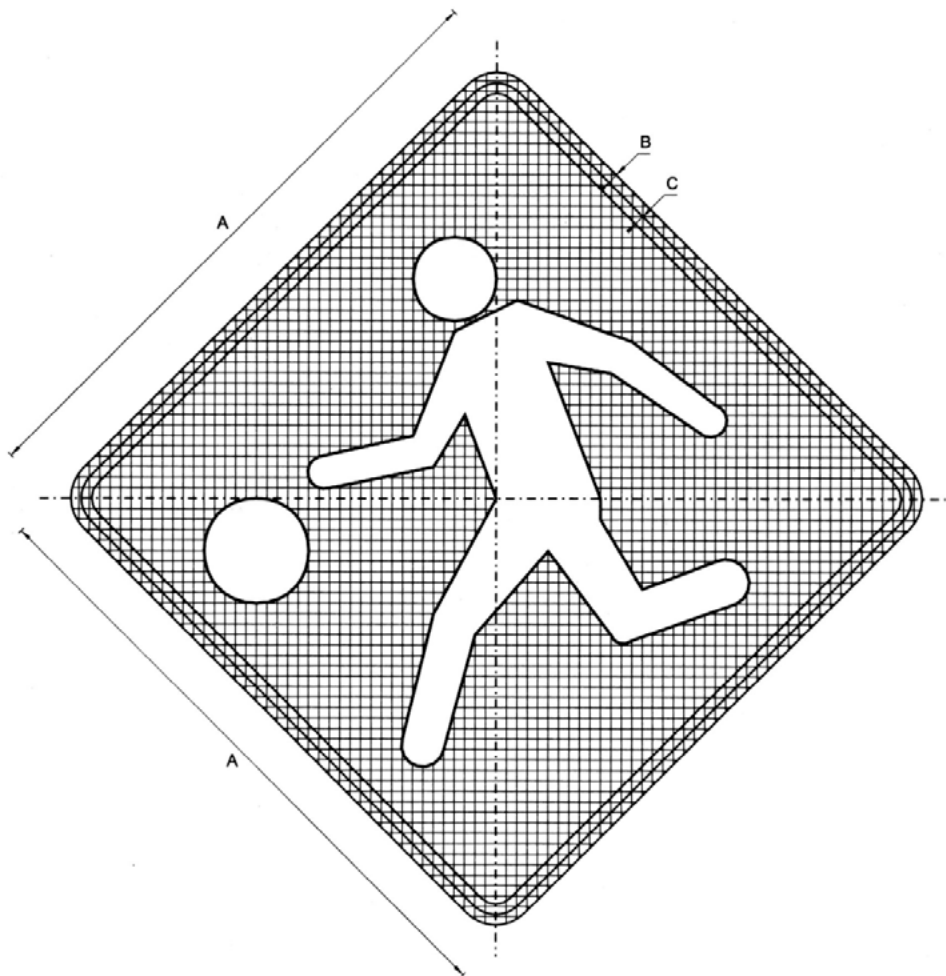
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)			
	A	B	C	CUADRÍCULA
60,00	60,00	1,00	1,00	1,00 X 1,00
75,00	75,00	1,25	1,25	1,25 X 1,25
90,00	90,00	1,50	1,50	1,50 X 1,50

C.8. P-58: CALZADA RESBALADIZA



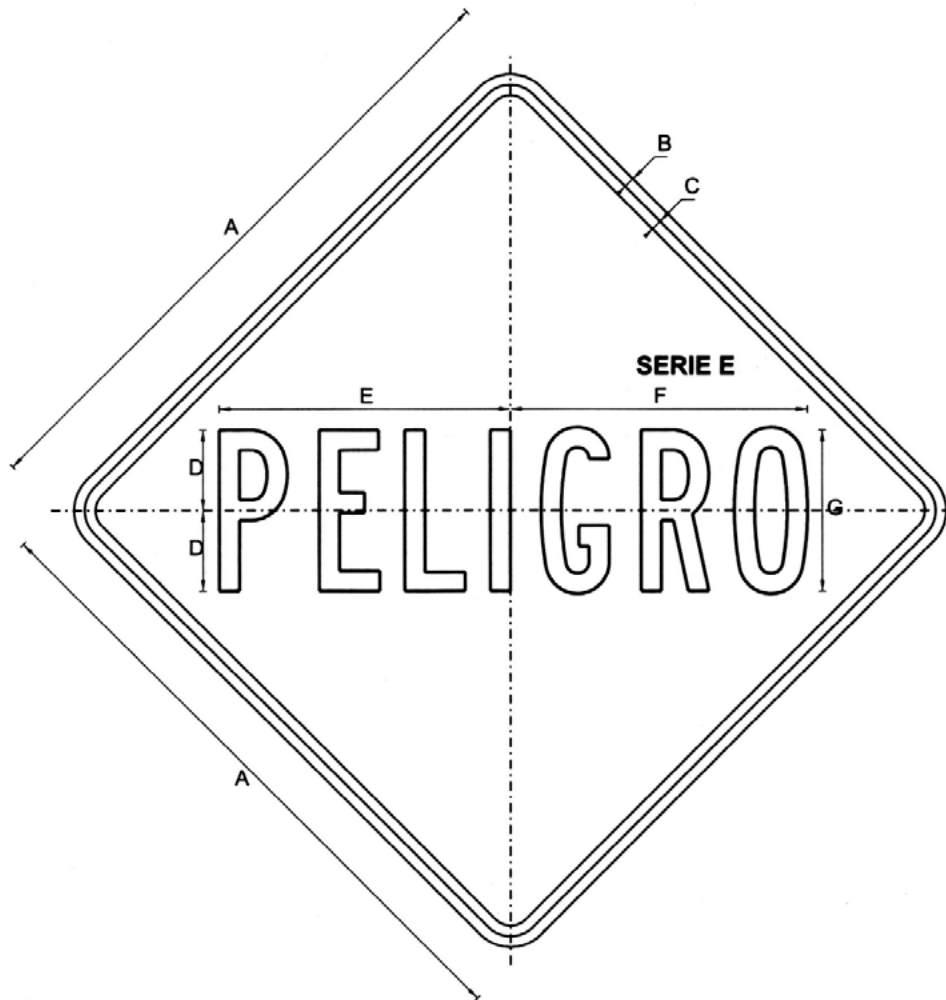
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)			
	A	B	C	CUADRÍCULA
60,00	60,00	1,00	1,00	1,00 X 1,00
75,00	75,00	1,25	1,25	1,25 X 1,25
90,00	90,00	1,50	1,50	1,50 X 1,50
120,00	120,00	2,00	2,00	2,00 X 2,00

C.9. P-59: NIÑOS JUGANDO



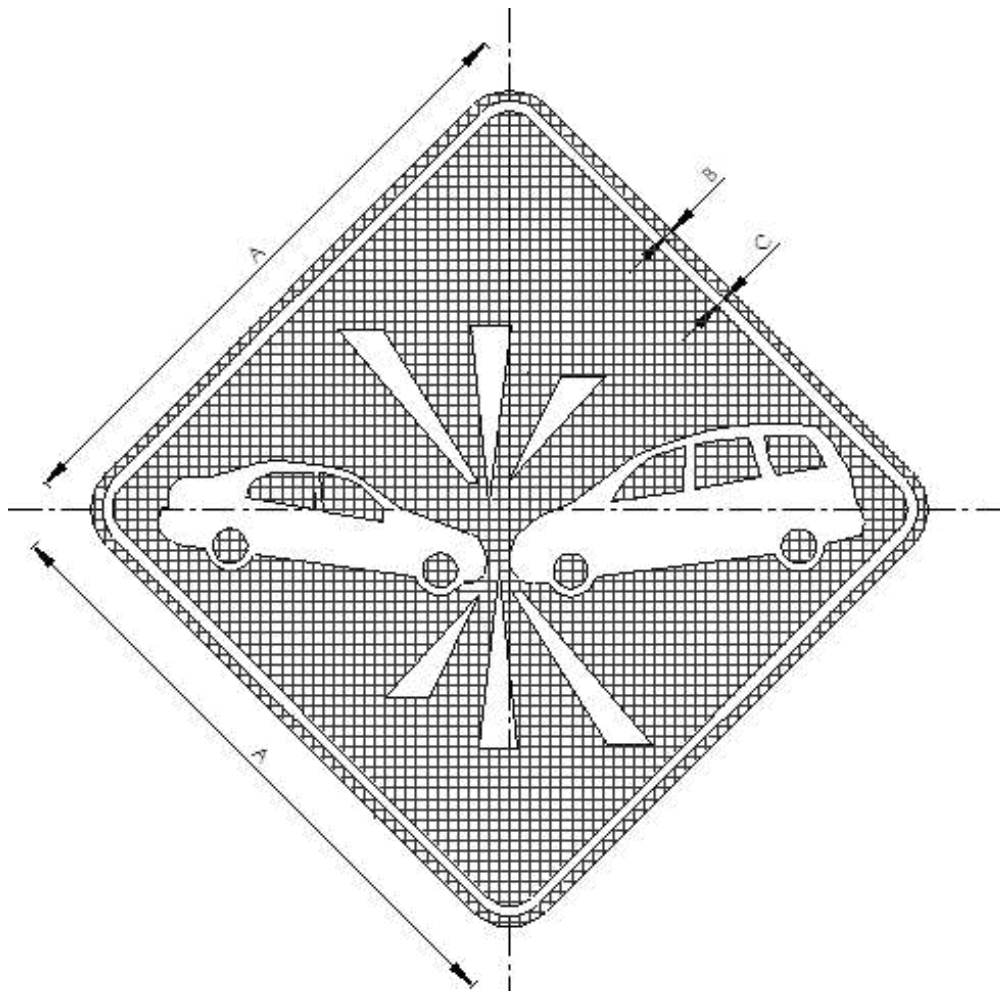
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)			
	A	B	C	CUADRÍCULA
60,00	60,00	1,00	1,00	1,00 X 1,00
75,00	75,00	1,25	1,25	1,25 X 1,25
90,00	90,00	1,50	1,50	1,50 X 1,50

C.10. P-60: RIESGO DE ACCIDENTE



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)							ALFABETO
	A	B	C	D	E	F	G	
60,00	60,00	1,00	1,00	7,50	27,22	27,80	15,00	SERIE E
75,00	75,00	1,25	1,25	9,38	34,03	34,75	18,75	SERIE E
90,00	90,00	1,50	1,50	11,25	40,83	41,70	22,50	SERIE E
120,00	120,00	2,00	2,00	15,00	54,44	55,60	30,00	SERIE E

C.11. P-60: RIESGO DE ACCIDENTE (SEÑAL ALTERNA)



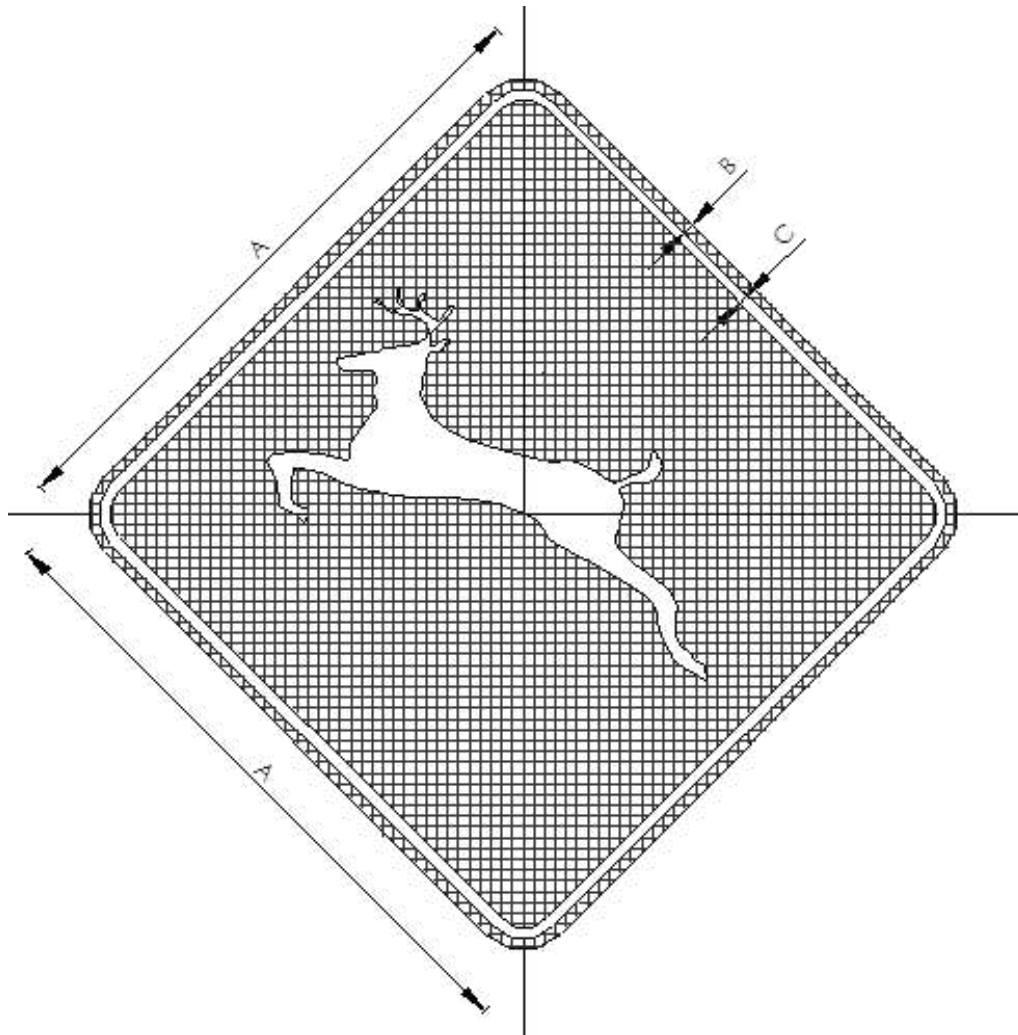
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)			
	A	B	C	CUADRÍCULA
60,00	60,00	1,00	1,00	1,00 X 1,00
75,00	75,00	1,25	1,25	1,25 X 1,25
90,00	90,00	1,50	1,50	1,50 X 1,50

C.12. P-61: ZONA URBANA



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	ALFABETO
60,00	60,00	1,00	1,00	17,50	19,20	10,00	27,00	27,10	7,50	SERIE C
75,00	75,00	1,25	1,25	21,88	24,00	12,50	33,75	33,88	9,38	SERIE C
90,00	90,00	1,50	1,50	26,25	28,80	15,00	40,50	40,65	11,25	SERIE C
120,00	120,00	2,00	2,00	35,00	38,40	20,00	54,00	54,20	15,00	SERIE C

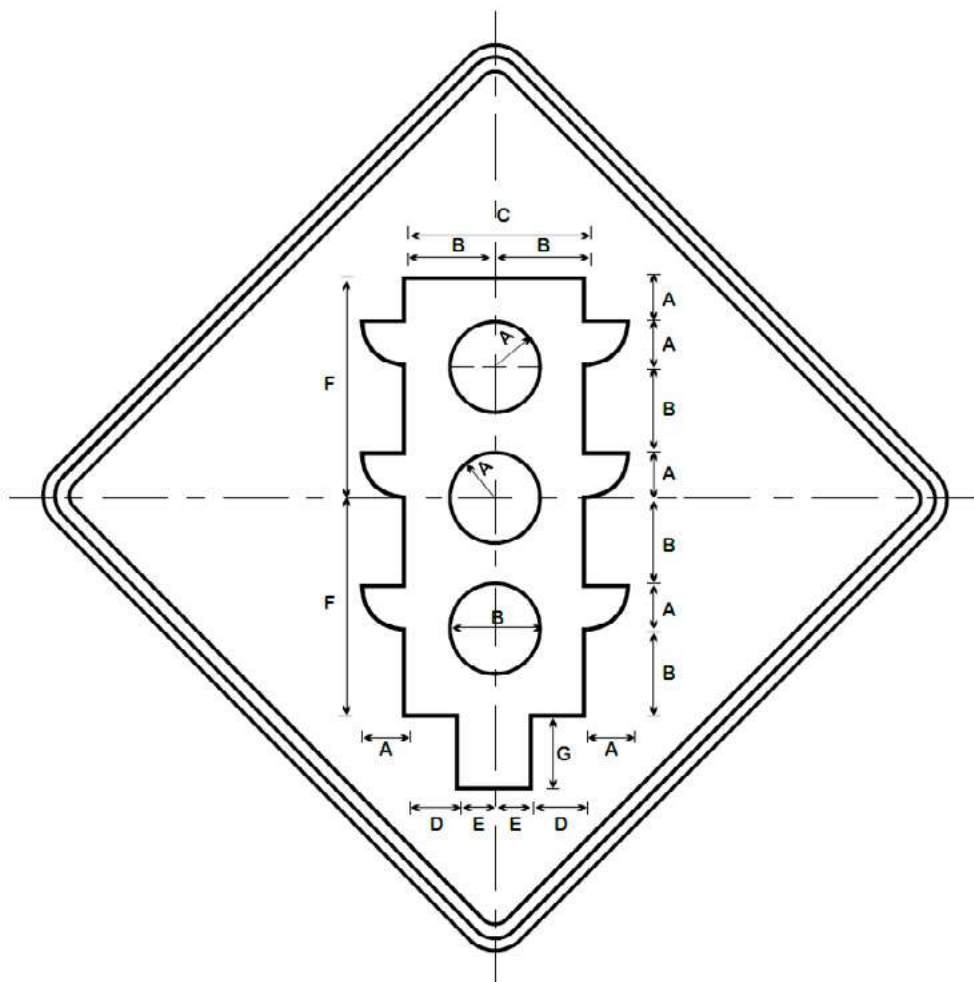
C.13. P-62: ANIMALES SALVAJES



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)			
	A	B	C	CUADRÍCULA
60,00	60,00	1,00	1,00	1,00 X 1,00
75,00	75,00	1,25	1,25	1,25 X 1,25
90,00	90,00	1,50	1,50	1,50 X 1,50

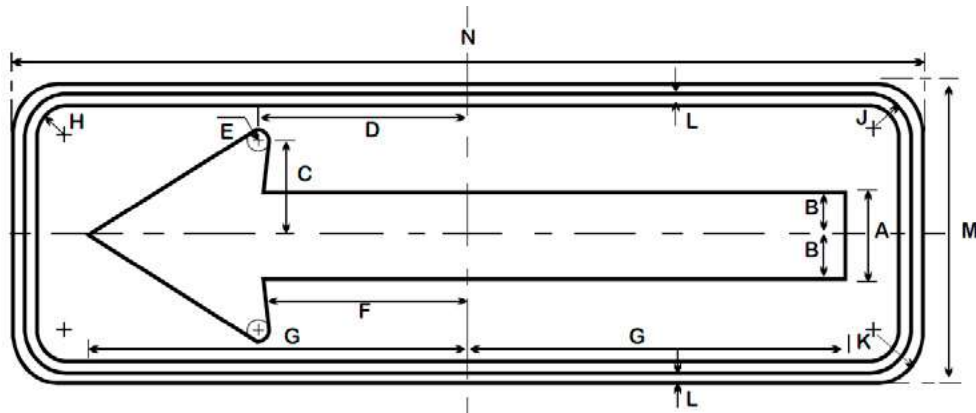
D. SEÑALES VERTICALES PREVENTIVAS PARA ANTICIPO DE DISPOSITIVOS DE CONTROL DE TRÁNSITO

D.1. P-63: SEMÁFORO



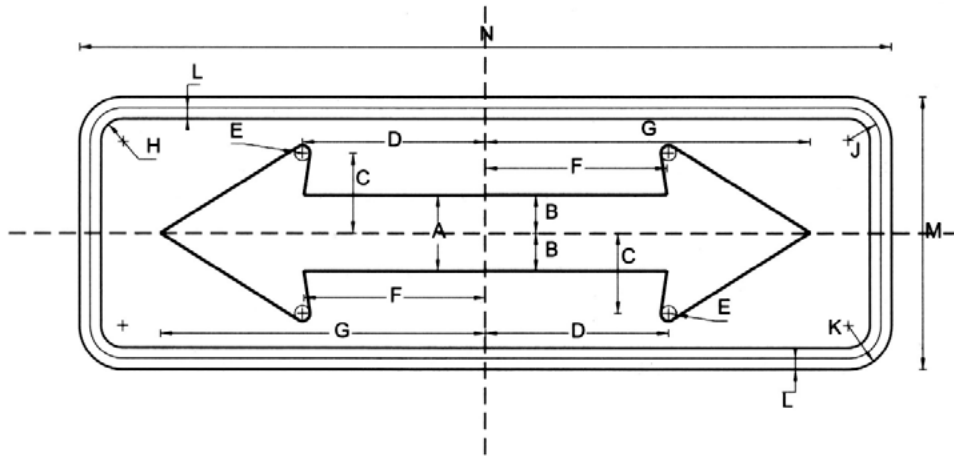
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)						
	A	B	C	D	E	F	G
60,00	4,10	8,20	16,40	5,00	3,20	20,50	6,40
75,00	5,00	10,00	20,00	6,00	4,00	25,50	8,00
90,00	6,15	12,30	24,60	7,50	4,80	30,75	9,60

D.2. P-64: FLECHA DIRECCIONAL



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)												
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N
60,00	7,00	3,50	7,35	16,90	0,70	16,75	30,00	2,00	3,00	4,00	1,00	25,00	75,00
75,00	9,00	4,50	9,45	20,60	0,90	20,30	37,50	2,50	3,75	5,00	1,25	30,00	90,00
90,00	10,50	5,25	11,02	25,35	1,05	25,12	45,00	3,00	4,50	6,00	1,50	37,50	112,5
120,00	14,00	7,00	14,70	33,80	1,40	33,50	60,00	4,00	6,00	8,00	2,00	50,00	150,00

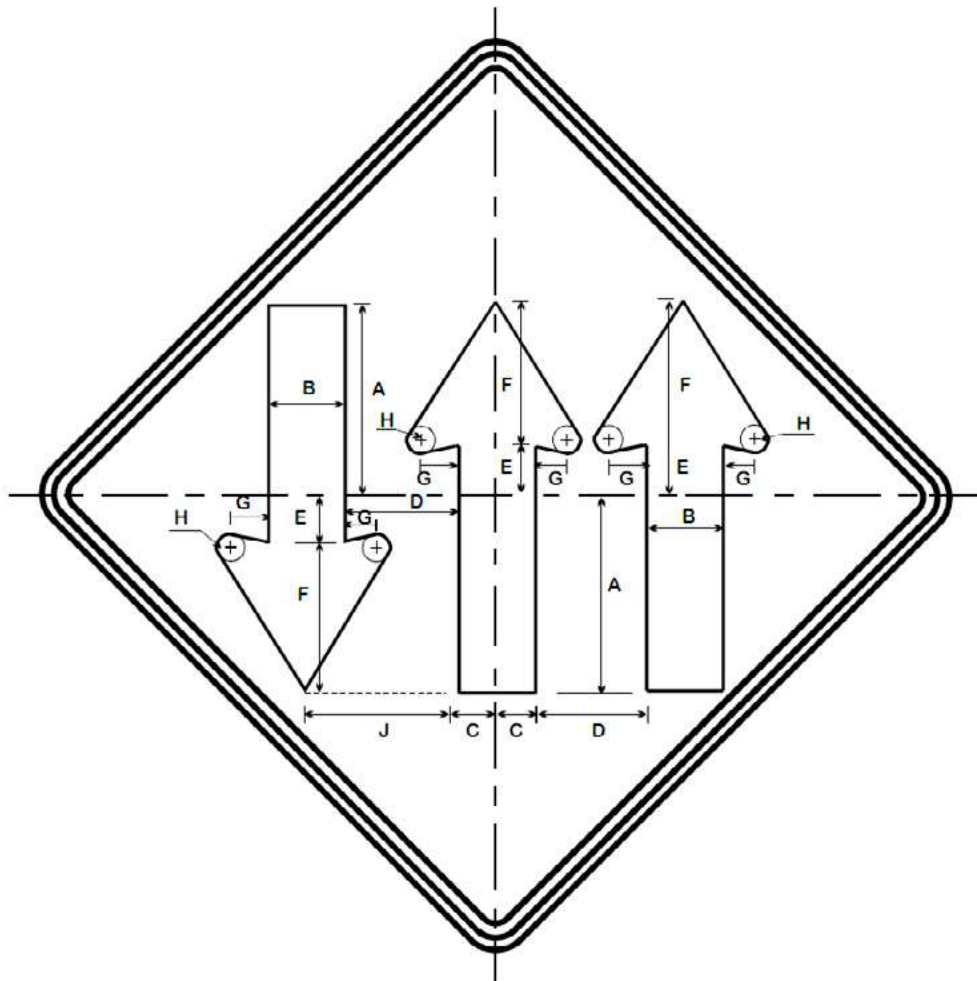
D.3. P-65: DOBLE FLECHA DIRECCIONAL



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)						
	A	B	C	D	E	F	G
60,00	5,60	2,80	5,88	13,52	0,56	13,40	24,00
75,00	7,00	3,50	7,35	16,90	0,70	16,75	30,00
90,00	8,40	4,20	8,82	20,28	0,84	20,10	36,00

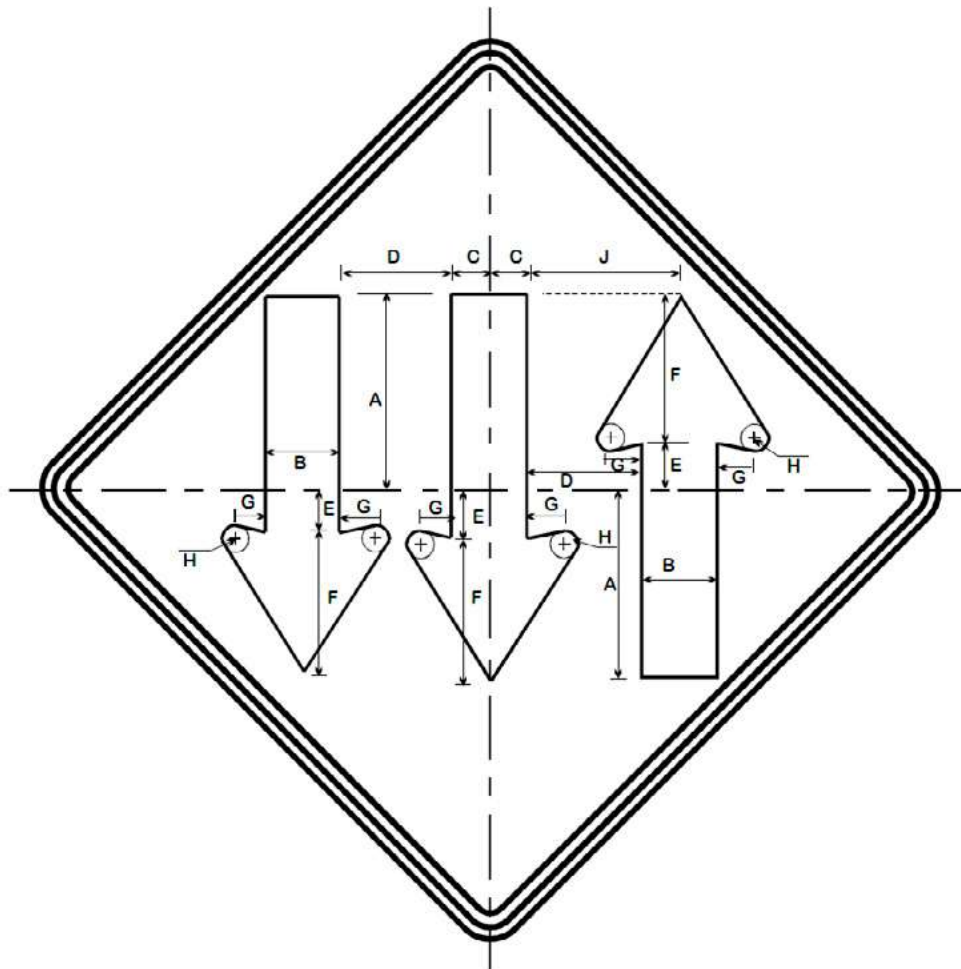
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)					
	H	J	K	L	M	N
60,00	1,60	2,40	3,20	0,80	20,00	60,00
75,00	2,00	3,00	4,00	1,00	25,00	75,00
90,00	2,40	3,60	4,80	1,20	30,00	90,00

D.4. P-66: TRES CARRILES (UNO EN CONTRAFLUJO)



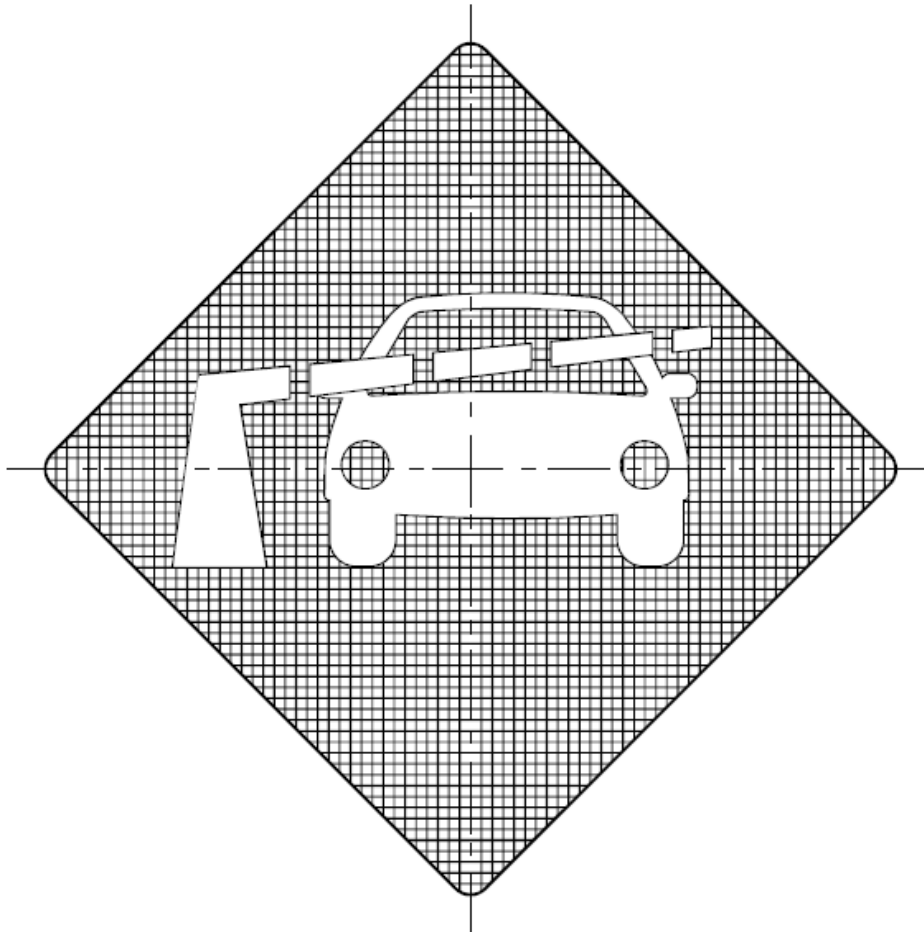
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	J
60,00	18,40	7,25	3,62	9,60	4,45	13,00	4,00	0,60	13,90
75,00	23,00	9,06	4,52	12,00	5,55	16,25	5,00	0,75	17,37
90,00	27,60	10,87	5,43	14,40	6,67	19,50	6,00	0,90	20,85
120,00	36,80	14,50	7,24	19,20	8,90	26,00	8,00	1,20	27,80

D.5. P-67: TRES CARRILES (DOS EN CONTRAFLUJO)



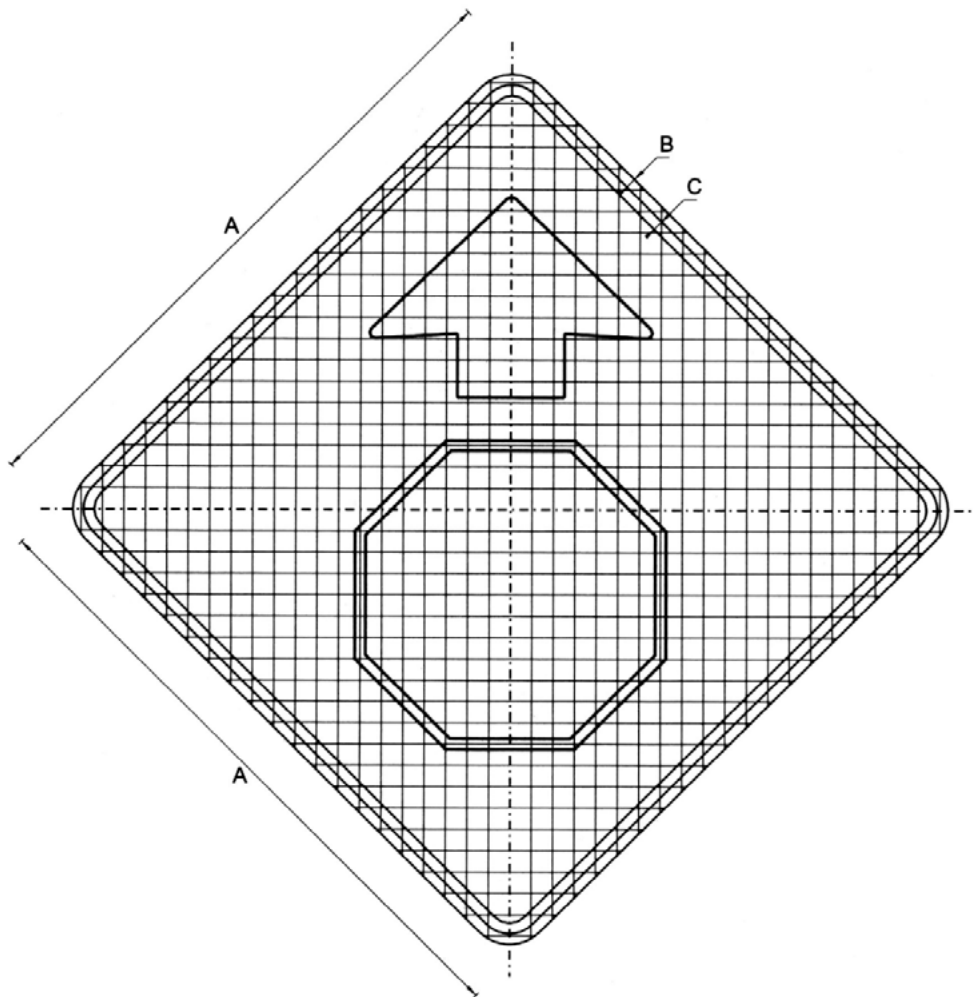
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	J
60,00	18,40	7,25	3,62	9,60	4,45	13,00	4,00	0,60	13,90
75,00	23,00	9,06	4,52	12,00	5,55	16,25	5,00	0,75	17,37
90,00	27,60	10,87	5,43	14,40	6,67	19,50	6,00	0,90	20,85
120,00	36,80	14,50	7,24	19,20	8,90	26,00	8,00	1,20	27,80

D.6. P-68: BARRERA



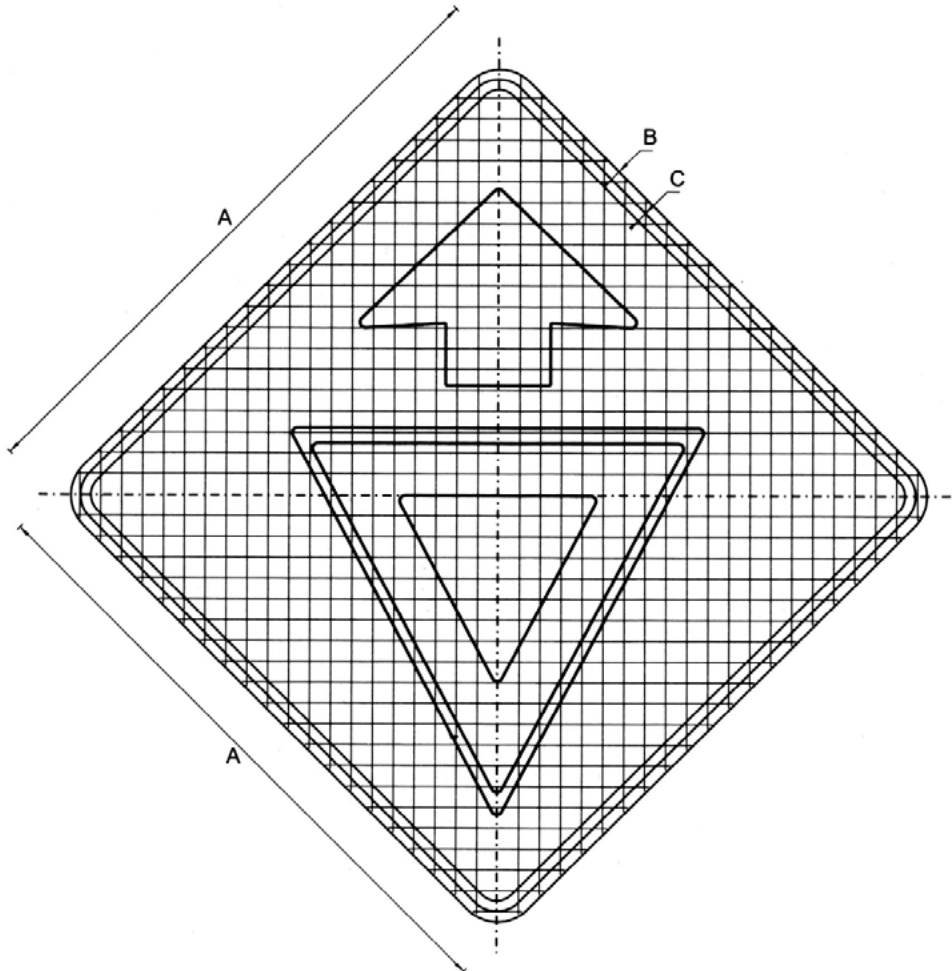
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)			
	A	B	C	CUADRÍCULA
60,00	60,00	1,00	1,00	1,00 X 1,00
75,00	75,00	1,25	1,25	1,25 X 1,25
90,00	90,00	1,50	1,50	1,50 X 1,50

D.7. P-69: PARADA OBLIGATORIA AL FRENTE



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)			
	A	B	C	CUADRÍCULA
60,00	60,00	1,00	1,00	2,00 X 2,00
75,00	75,00	1,25	1,25	2,50 X 2,50
90,00	90,00	1,50	1,50	3,00 X 3,00

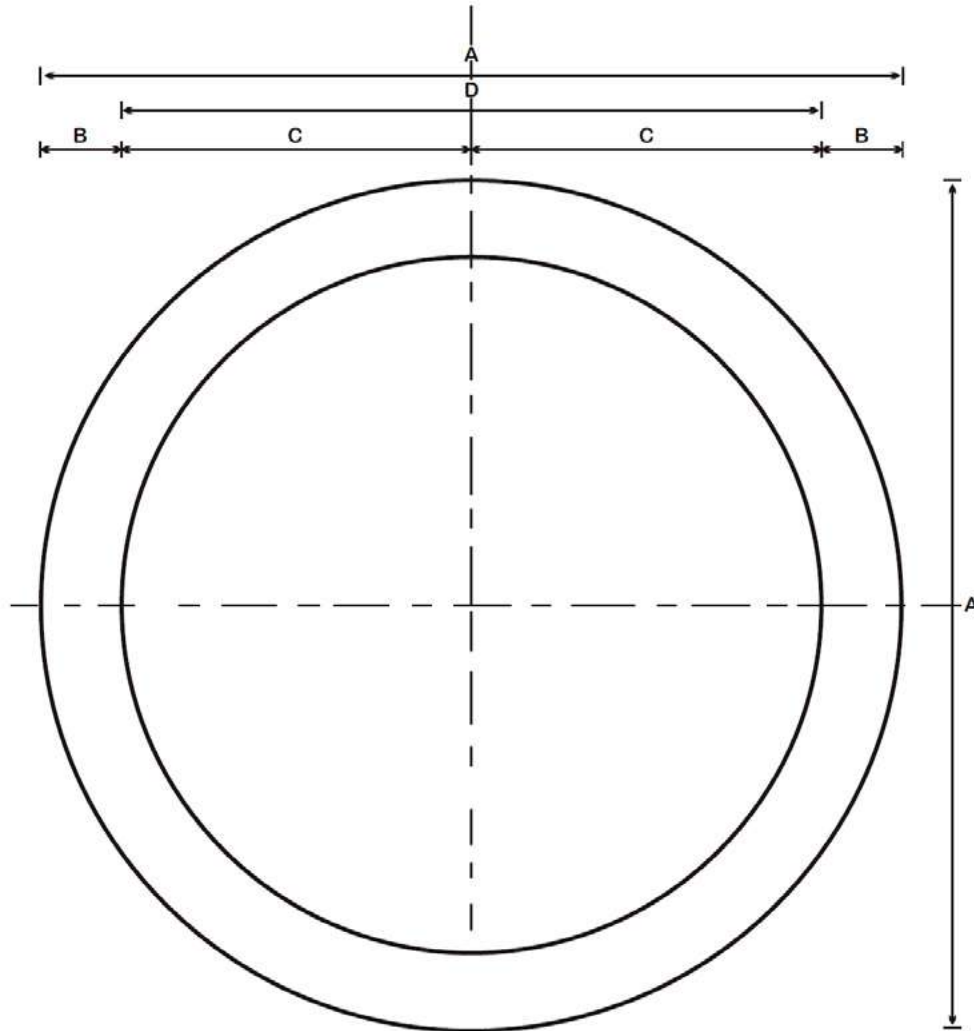
D.8. P-70: PROXIMIDAD DE SEÑAL RESTRICTIVA (CEDA EL PASO)



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)			
	A	B	C	CUADRÍCULA
60,00	60,00	1,00	1,00	1,00 X 1,00
75,00	75,00	1,25	1,25	1,25 X 1,25
90,00	90,00	1,50	1,50	1,50 X 1,50

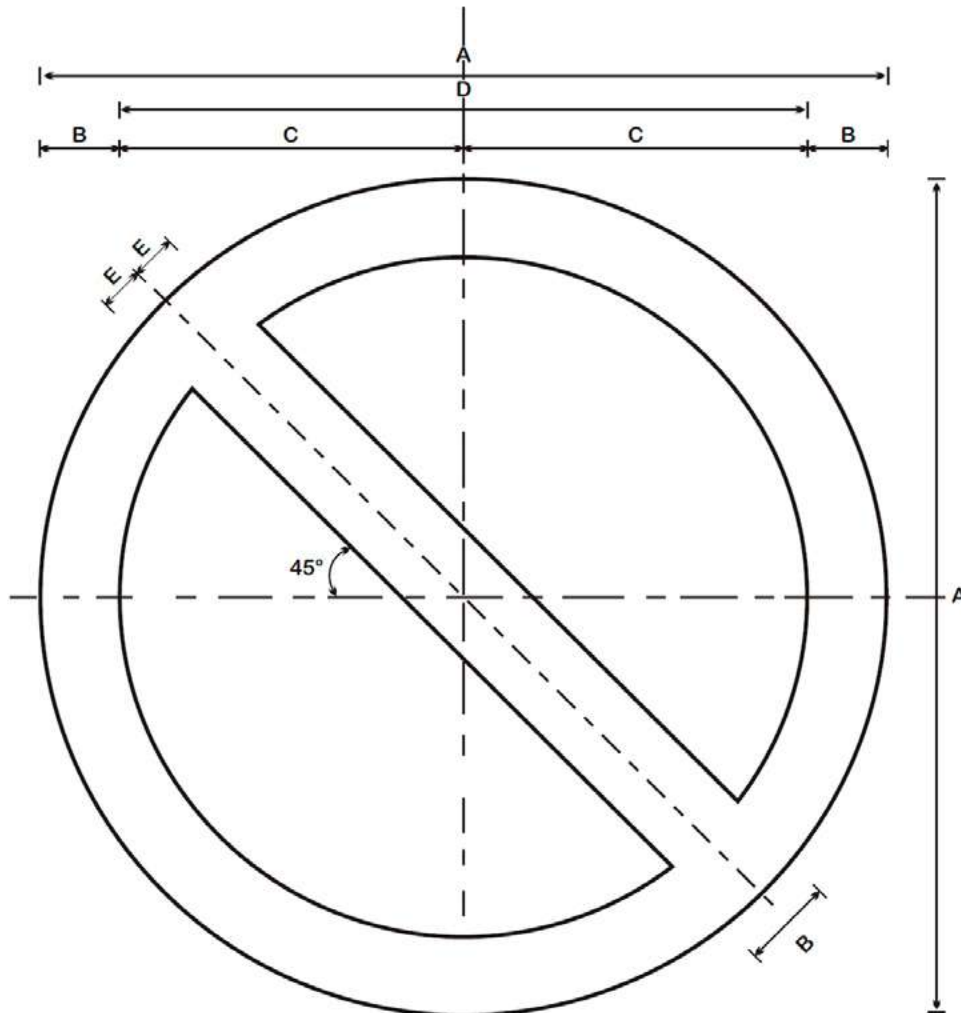
3.3.2.5.2. SEÑALES REGLAMENTARIAS

A. SEÑALES REGLAMENTARIAS FORMA, COLORES Y DIMENSIONES



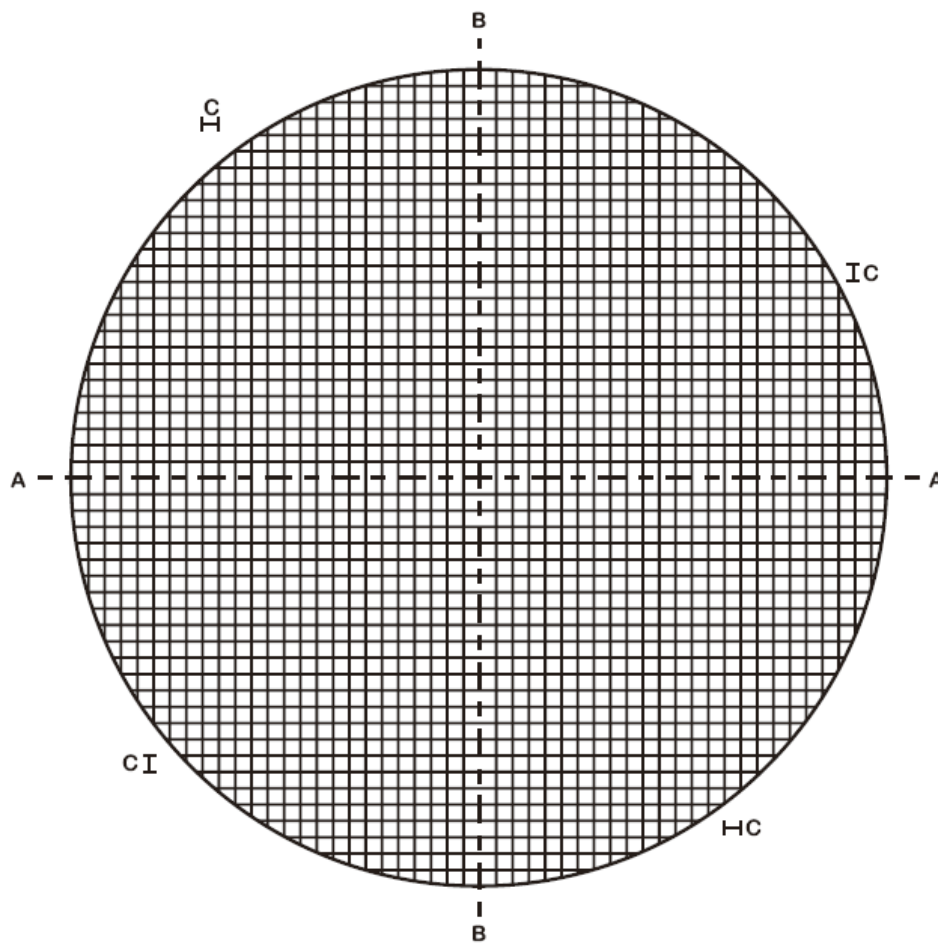
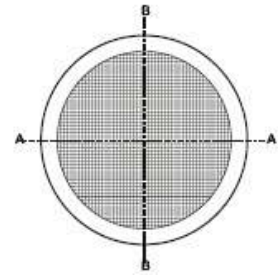
COLOR		SEÑAL	DIMENSIONES (cm)			
FONDO	BLANCO		A	B	C	D
SÍMBOLO	NEGRO	60,00	60,00	6,00	24,00	48,00
ORLA	ROJO	75,00	75,00	7,50	30,00	60,00
TRAZO OBLICUO	ROJO	90,00	90,00	9,00	36,00	72,00
		120,00	12,00	12,00	48,00	96,00

B. SEÑALES REGLAMENTARIAS (PROHIBITIVAS) FORMA, COLORES Y DIMENSIONES



COLOR		SEÑAL	DIMENSIONES (cm)			
FONDO	BLANCO		A	B	C	D
SÍMBOLO	NEGRO	60,00	60,00	6,00	24,00	48,00
ORLA	ROJO	75,00	75,00	7,50	30,00	60,00
TRAZO OBLICUO	ROJO	90,00	90,00	9,00	36,00	72,00
		120,00	12,00	12,00	48,00	96,00

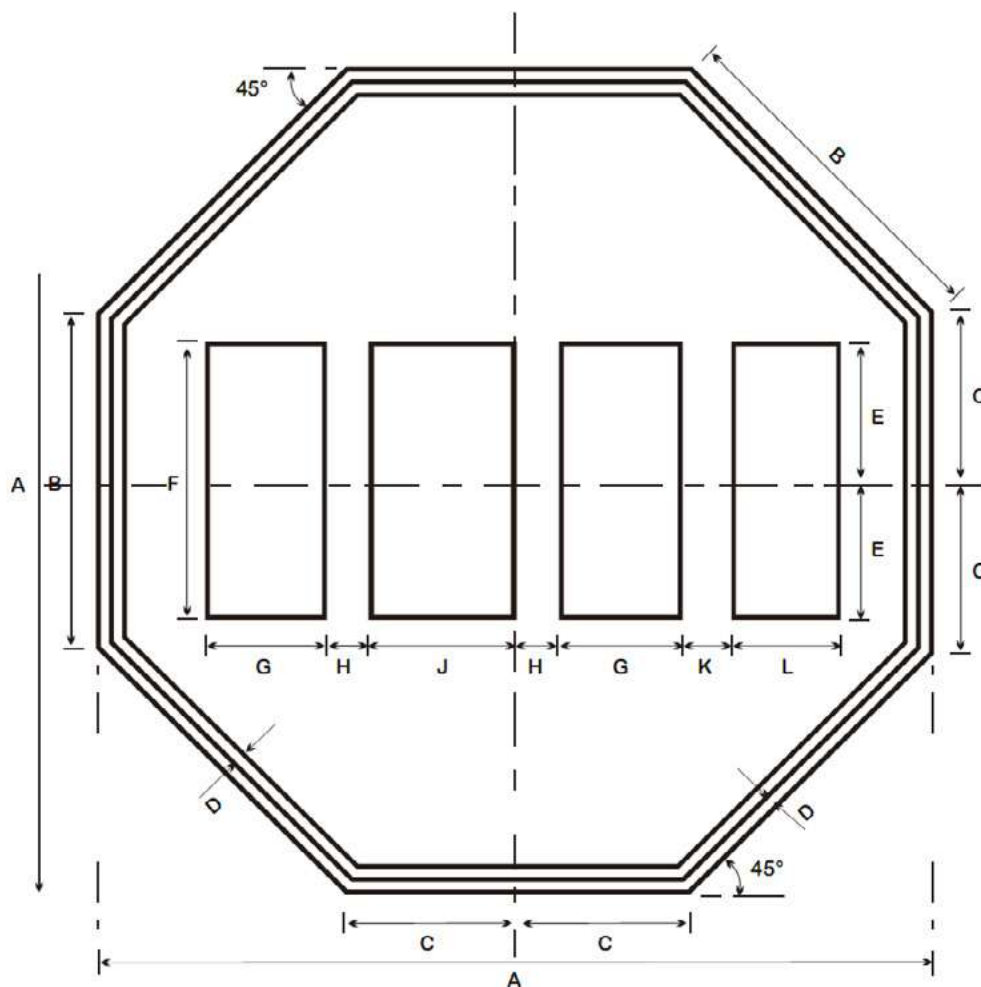
C. SEÑALES REGLAMENTARIAS DIMENSIONES DE LA CUADRÍCULA



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)
	CUADRÍCULA
60,00	C = 1,00
75,00	C = 1,25
90,00	C = 1,50
120,00	C = 2,00

D. SEÑALES REGLAMENTARIAS DE PRIORIDAD

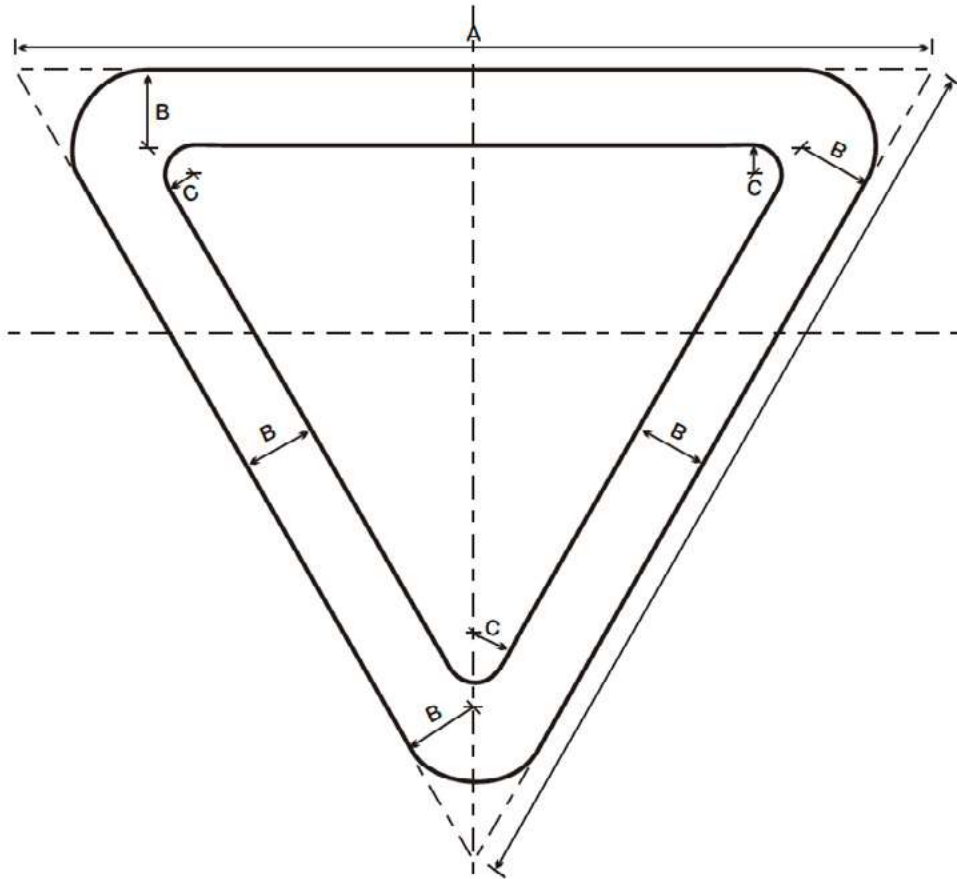
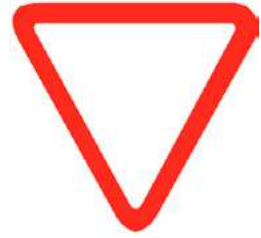
D.1. R-01: PARE



COLOR		SEÑAL	DIMENSIONES (cm)			
FONDO	ROJO		A	B	C	D
ORLA	BLANCO	60,00	60,00	24,84	12,42	1,00
LETRAS	BLANCO	75,00	75,00	31,06	15,53	1,25
		90,00	90,00	37,26	18,63	1,50

SEÑAL	DIMENSIONES (cm)							
	E	F	G	H	J	K	L	ALFABETO
60,00	10,00	20,00	8,59	3,05	10,80	3,81	7,62	B - 20
75,00	12,50	25,00	10,72	3,81	13,49	4,78	9,53	B - 25
90,00	15,00	30,00	12,86	4,58	16,20	5,72	11,43	B - 30

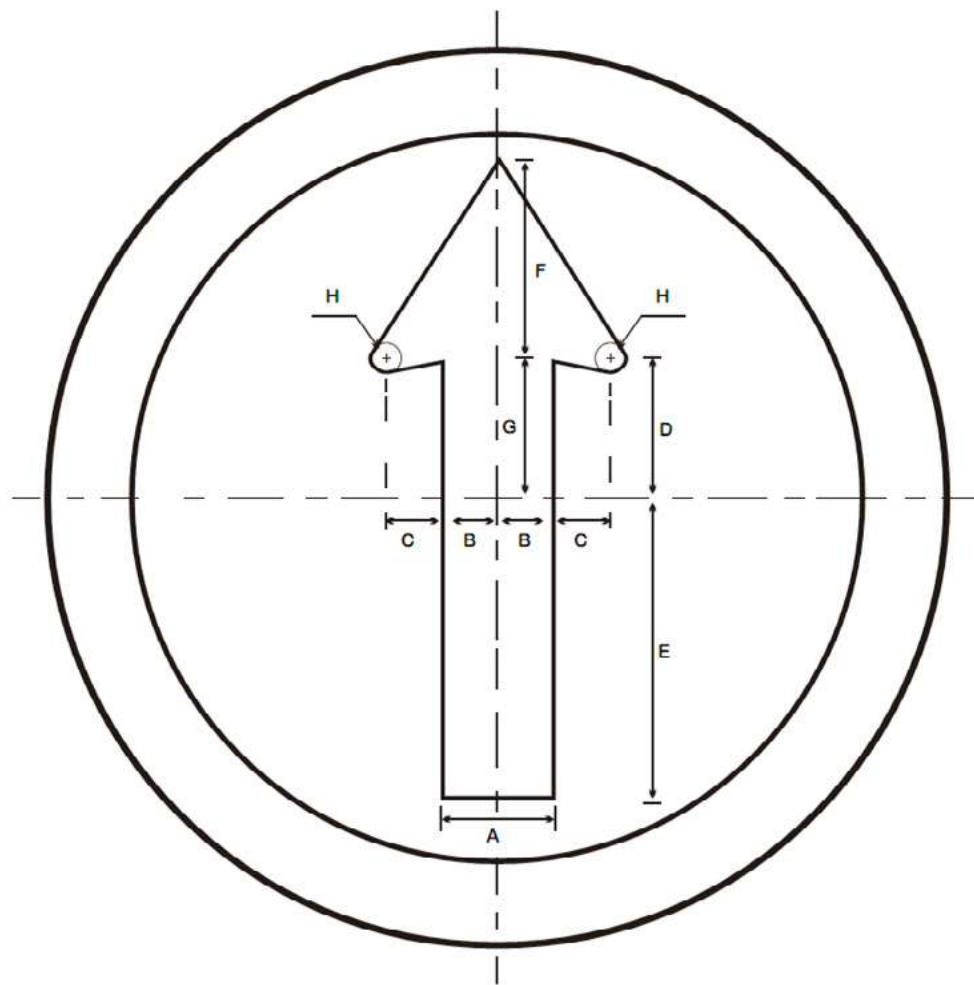
D.2.R-02: CEDA EL PASO



COLOR		SEÑAL	DIMENSIONES (cm)							
FONDO	BLANCO		A	B	C	D	E	F	G	ALFABETO
ORLA	ROJO	60,00	75,00	6,00	2,00	4,00	4,80	8,00	0,80	B – 8
LETRAS	NEGRO	75,00	90,00	7,50	2,50	5,00	6,00	10,00	1,00	B – 10
		90,00	90,00	9,00	3,00	6,00	7,20	12,00	1,20	B – 12

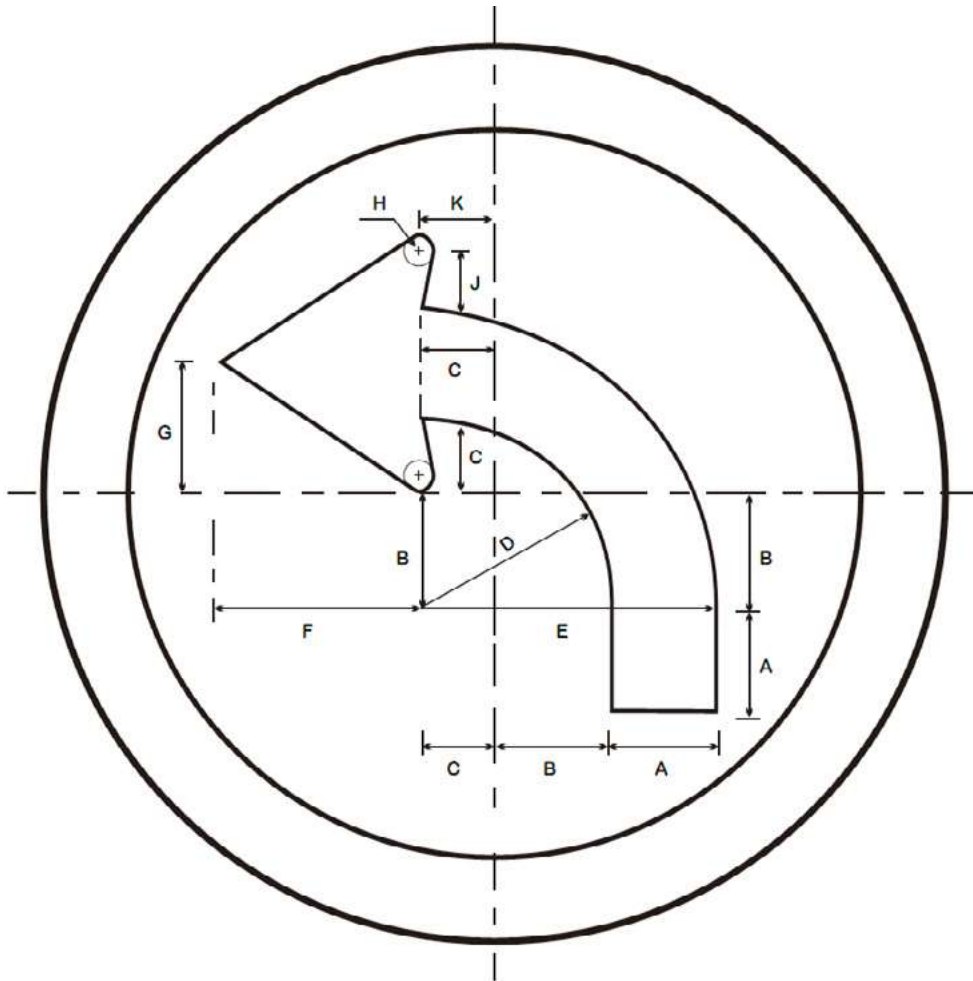
E. SEÑALES REGLAMENTARIAS DE RESTRICCIÓN

E.1. R-03: DIRECCIÓN OBLIGATORIA



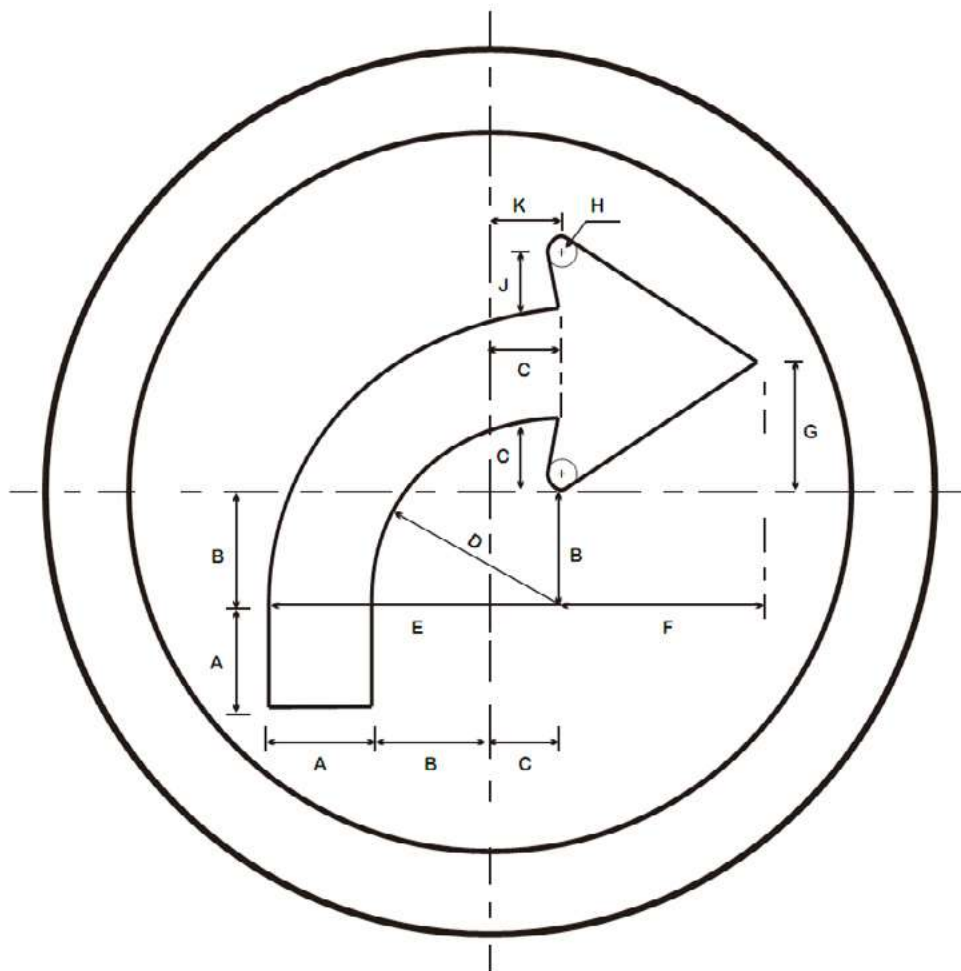
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
60,00	8,00	4,00	4,45	7,50	20,50	15,20	7,30	0,80
75,00	9,00	4,50	4,95	9,38	25,50	17,15	11,20	0,90
90,00	12,00	6,00	6,67	11,25	30,75	22,80	10,95	1,20
120,00	16,00	8,00	8,90	15,00	41,00	30,40	14,60	1,60

E.2. R-04: GIRO A LA IZQUIERDA SOLAMENTE



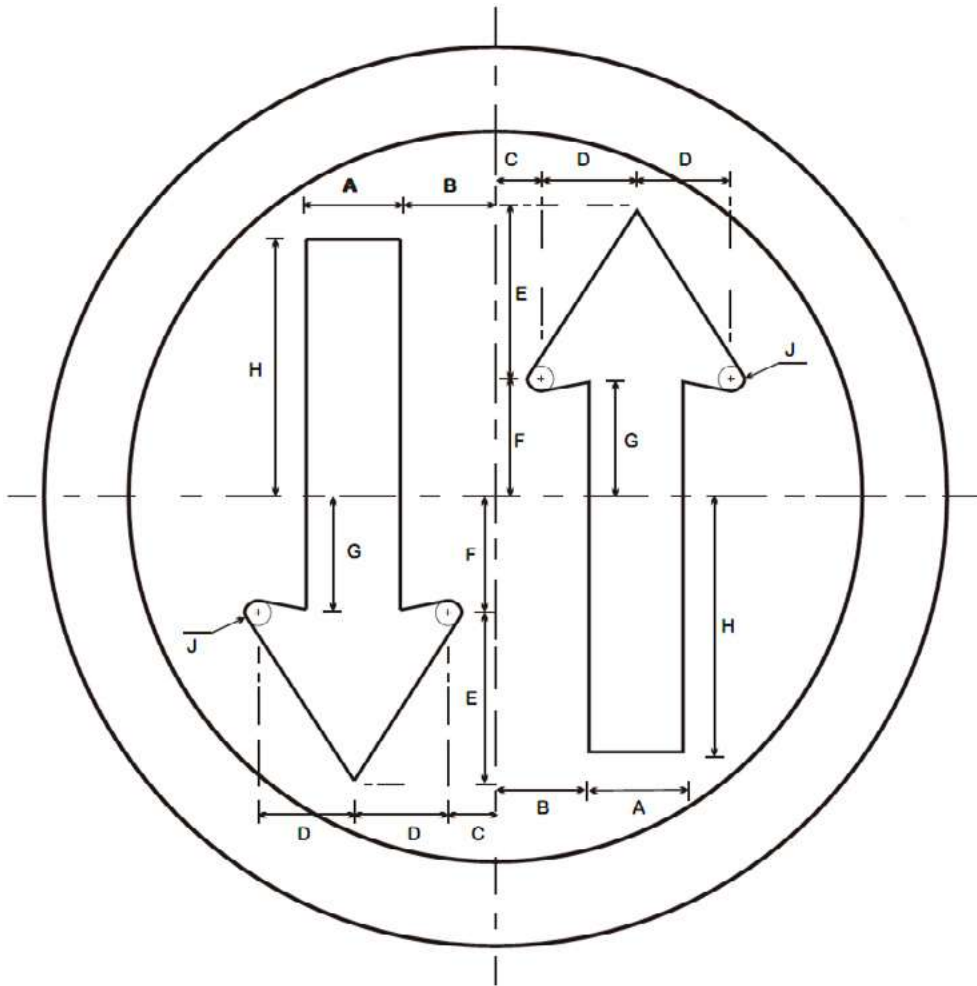
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
60,00	8,00	8,00	5,25	13,25	21,25	15,20	9,25	0,80	4,45	5,45
75,00	9,00	9,50	5,95	15,45	24,45	17,15	10,45	0,90	4,95	6,25
90,00	12,00	12,00	7,87	19,87	31,87	22,80	13,87	1,20	6,67	8,17
120,00	16,00	16,00	10,50	26,50	42,50	30,40	18,50	1,60	8,90	10,90

E.3. R-05: GIRO A LA DERECHA SOLAMENTE



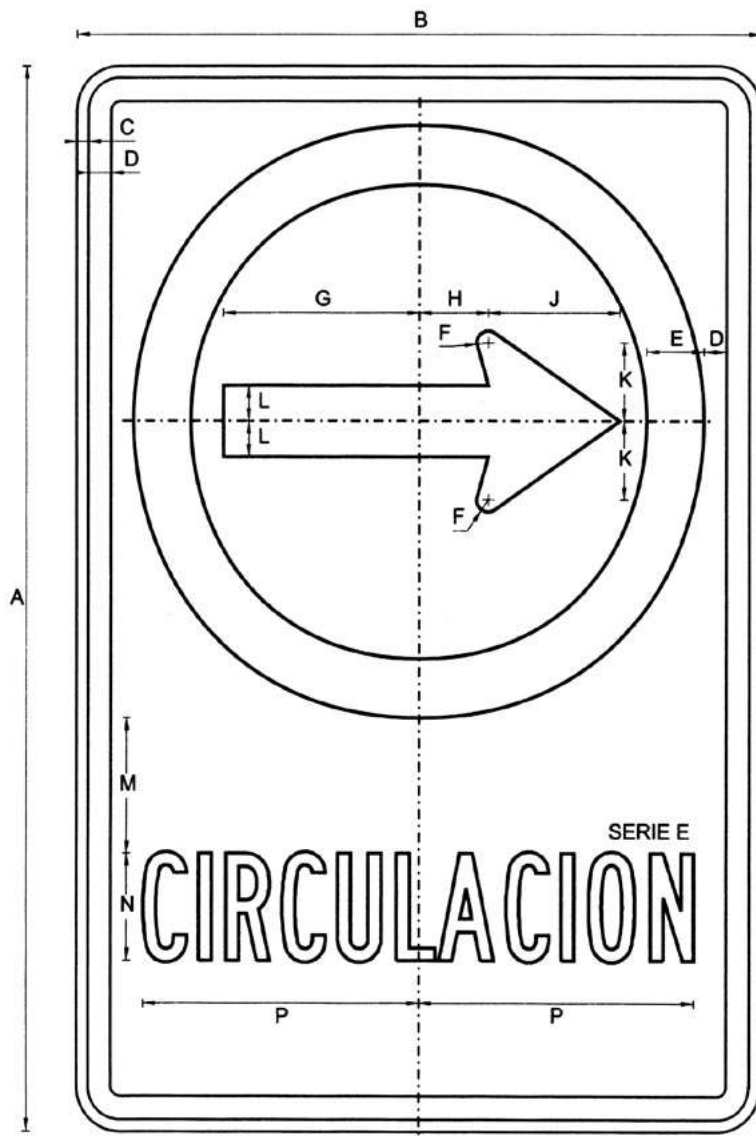
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
60,00	8,00	8,00	5,25	13,25	21,25	15,20	9,25	0,80	4,45	5,45
75,00	9,00	9,50	5,95	15,45	24,45	17,15	10,45	0,90	4,95	6,25
90,00	12,00	12,00	7,87	19,87	31,87	22,80	13,87	1,20	6,67	8,17
120,00	16,00	16,00	10,50	26,50	42,50	30,40	18,50	1,60	8,90	10,90

E.4. R-06: DOBLE VÍA



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	J
60,00	6,00	6,00	2,60	6,40	11,30	7,50	7,40	17,00	0,60
75,00	8,00	7,50	3,05	8,45	15,00	9,00	8,80	21,50	0,80
90,00	9,00	9,00	3,90	9,60	16,95	11,25	11,10	25,50	0,90
120,00	12,00	12,00	5,20	12,80	22,60	15,00	14,80	34,00	1,20

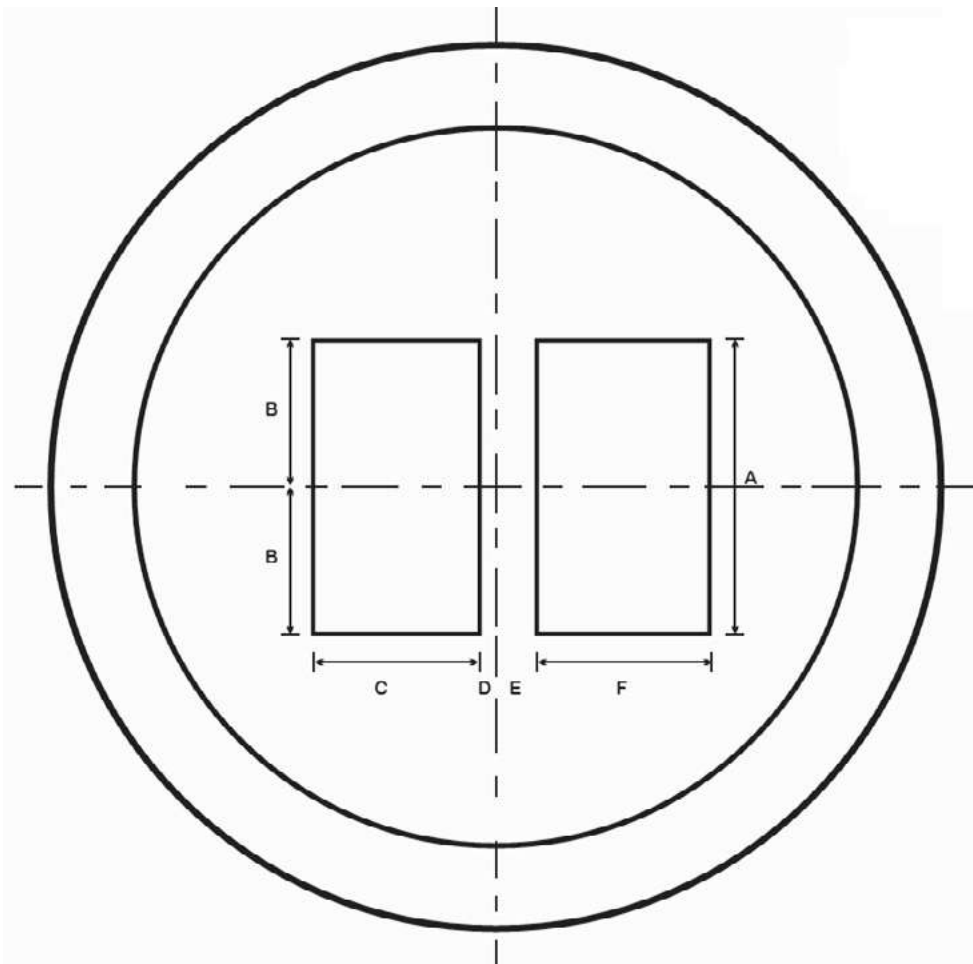
E.5. R -03: CIRCULACIÓN OBLIGATORIA



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	J
60,00	90,00	60,00	1,00	2,00	55,00	1,01	17,15	6,05	11,60
75,00	112,50	75,00	1,30	2,50	68,80	1,30	21,40	7,60	14,50
90,00	135,00	90,00	1,50	3,00	82,50	1,50	25,70	9,10	17,40
120,00	180,00	120,00	2,00	4,00	110,00	2,00	34,30	12,10	23,20

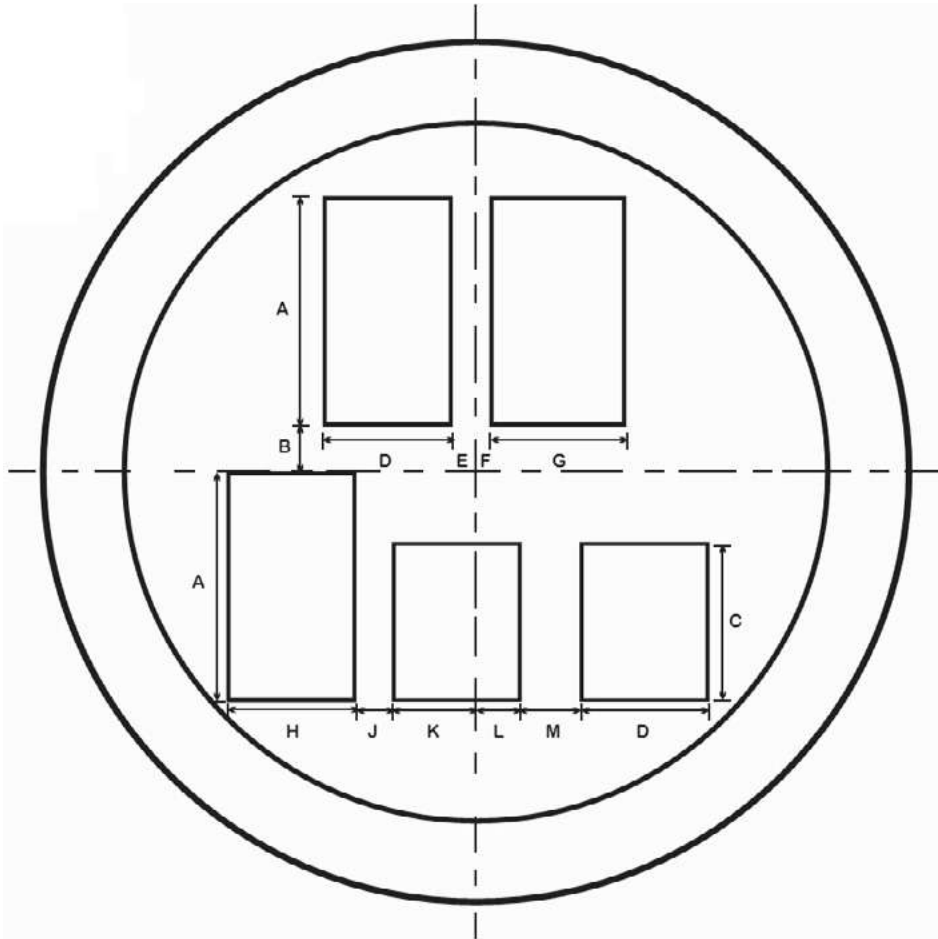
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)				
	K	L	M	N	P
60,00	6,64	3,03	11,50	9,00	24,16
75,00	8,30	3,80	14,40	11,30	30,20
90,00	10,00	4,50	17,30	13,50	36,20
120,00	13,30	6,10	23,00	18,00	48,30

E.6. R-08: VELOCIDAD MÁXIMA



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)						ALFABETO
	A	B	C	D	E	F	
60,00	20,00	10,00	11,13	2,00	1,40	11,74	D – 25
75,00	25,00	12,50	13,89	2,50	3,30	14,68	D – 30
90,00	30,00	15,00	16,69	3,00	2,10	17,61	D – 37,5
120,00	40,00	20,00	22,26	4,00	2,80	23,48	D – 50

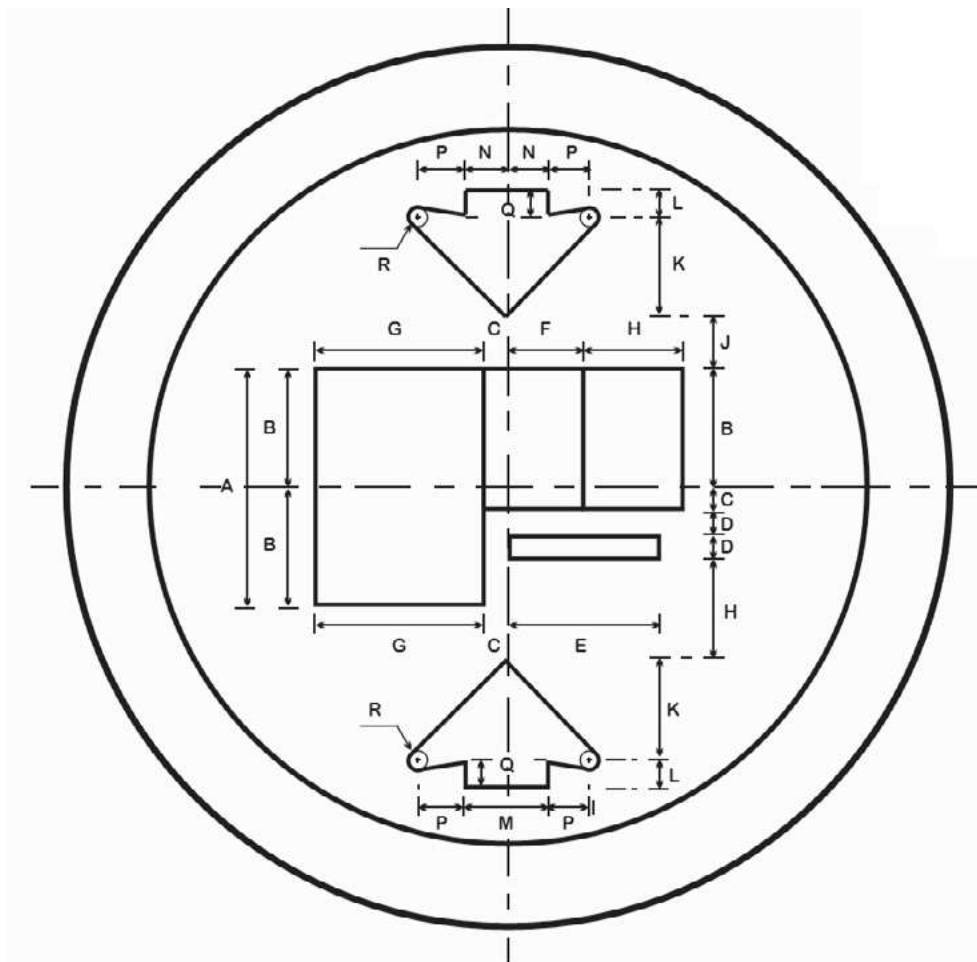
E.7. R-09: PESO MÁXIMO TOTAL PERMITIDO



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
60,00	15,00	3,00	10,00	8,33	1,52	1,05	8,81	7,62
75,00	20,00	4,00	13,33	11,13	2,00	1,40	11,74	10,16
90,00	22,50	4,50	15,00	12,50	2,28	1,57	13,21	11,43
120,00	30,00	6,00	20,00	16,66	3,04	2,10	17,62	15,24

SEÑAL	DIMENSIONES (cm)					ALFABETO
	J	K	L	M		
60,00	2,54	4,97	3,36	3,44	C – 15	
75,00	3,38	6,83	4,30	4,93	C – 20	
90,00	3,81	7,45	5,04	5,16	C – 22,5	
120,00	5,08	9,94	6,72	6,88	C – 30	

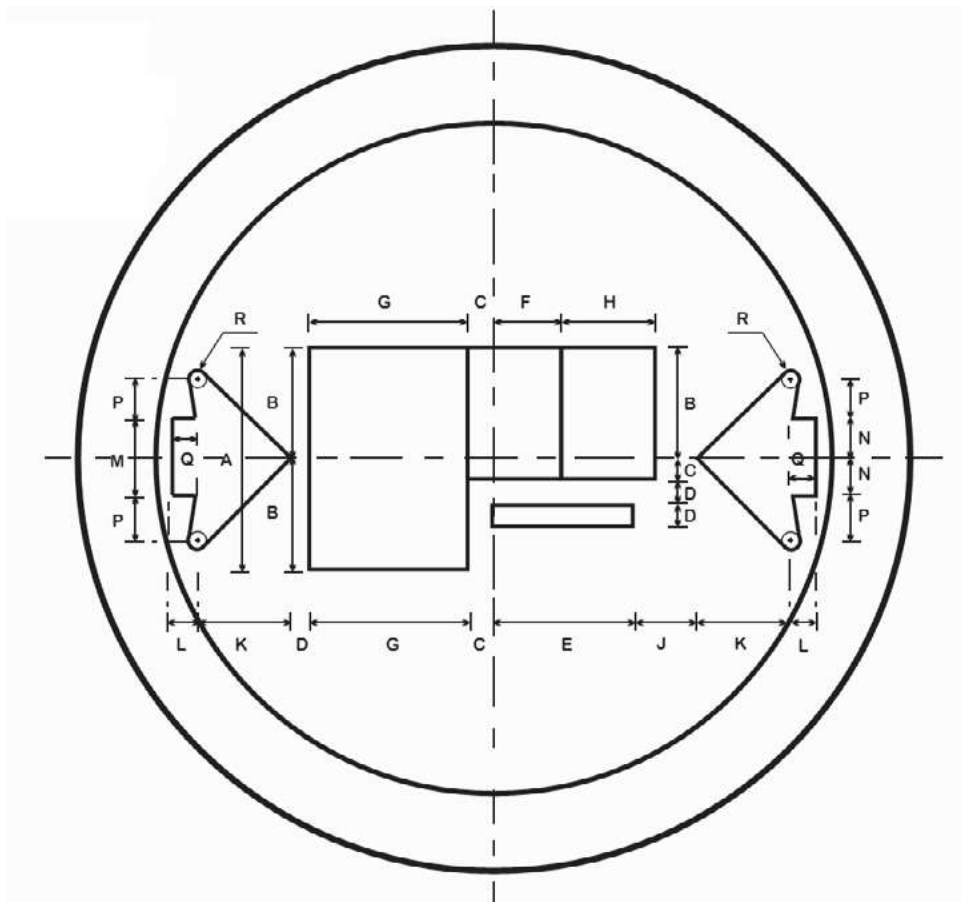
E.8. R-10: ALTURA MÁXIMA PERMITIDA



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
60,00	15,00	7,50	2,50	1,50	9,00	4,50	10,50	7,00	5,00	6,75
75,00	20,00	10,00	2,00	2,00	12,80	6,40	14,00	8,40	4,40	8,40
90,00	22,50	11,25	3,75	2,25	13,50	6,75	15,75	10,50	7,50	10,12
120,00	30,00	15,00	5,00	3,00	18,00	9,00	21,00	14,00	10,00	13,50

SEÑAL	DIMENSIONES (cm)							ALFABETO
	A	B	C	D	E	F		
60,00	1,55	6,00	3,00	3,40	1,50	0,60	C - 15 (C - 10)	
75,00	2,20	7,00	3,50	3,85	2,00	0,70	C - 20 (C - 12,5)	
90,00	2,32	9,00	4,50	5,10	2,25	0,90	C - 22,5 (C - 15)	
120,00	3,10	12,00	6,00	6,80	3,00	1,20	C - 30 (C - 15)	

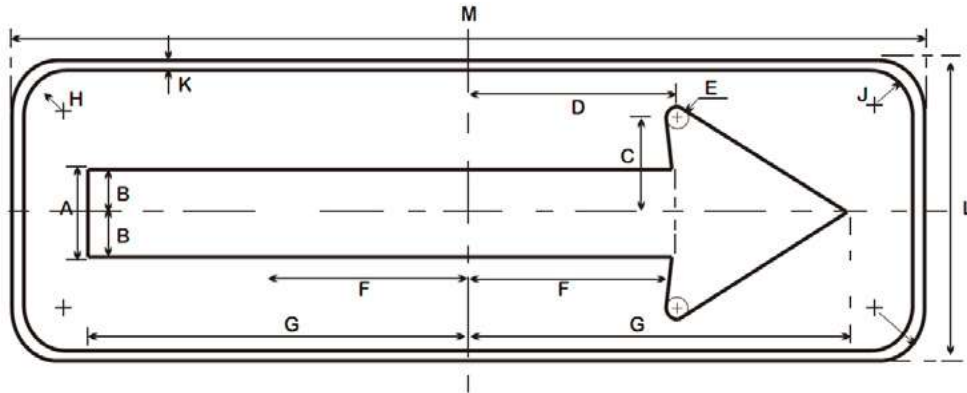
E.9. R-11: ANCHO MÁXIMO PERMITIDO



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
60,00	15,00	7,50	2,50	1,50	9,00	4,50	10,50	7,00	5,50	6,75
75,00	18,80	9,40	3,10	1,90	11,30	5,60	13,10	8,80	6,90	8,40
90,00	22,50	11,30	3,80	2,30	13,50	6,80	15,80	10,50	8,30	10,10
120,00	30,00	15,00	5,00	3,00	18,00	9,00	21,00	14,00	11,00	13,50

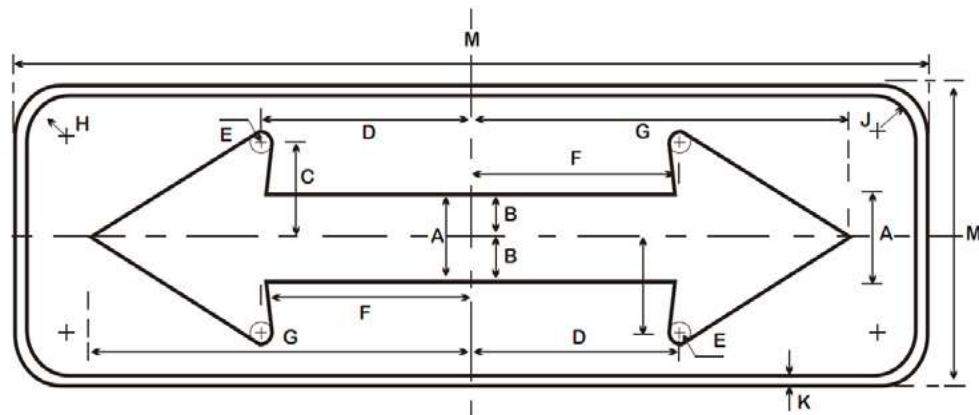
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)							ALFABETO
	L	M	N	P	Q	R		
60,00	1,55	6,00	3,00	3,40	1,50	0,60	C-15 (C-10)	
75,00	1,90	7,50	3,80	4,30	1,90	0,80	C-19 (C-12,5)	
90,00	2,30	9,00	4,50	5,10	2,30	0,90	C-22,5 (C-15)	
120,00	3,10	12,00	6,00	6,80	3,00	1,20	C-30 (C-20)	

E.10. R-12: SENTIDO ÚNICO DE CIRCULACIÓN



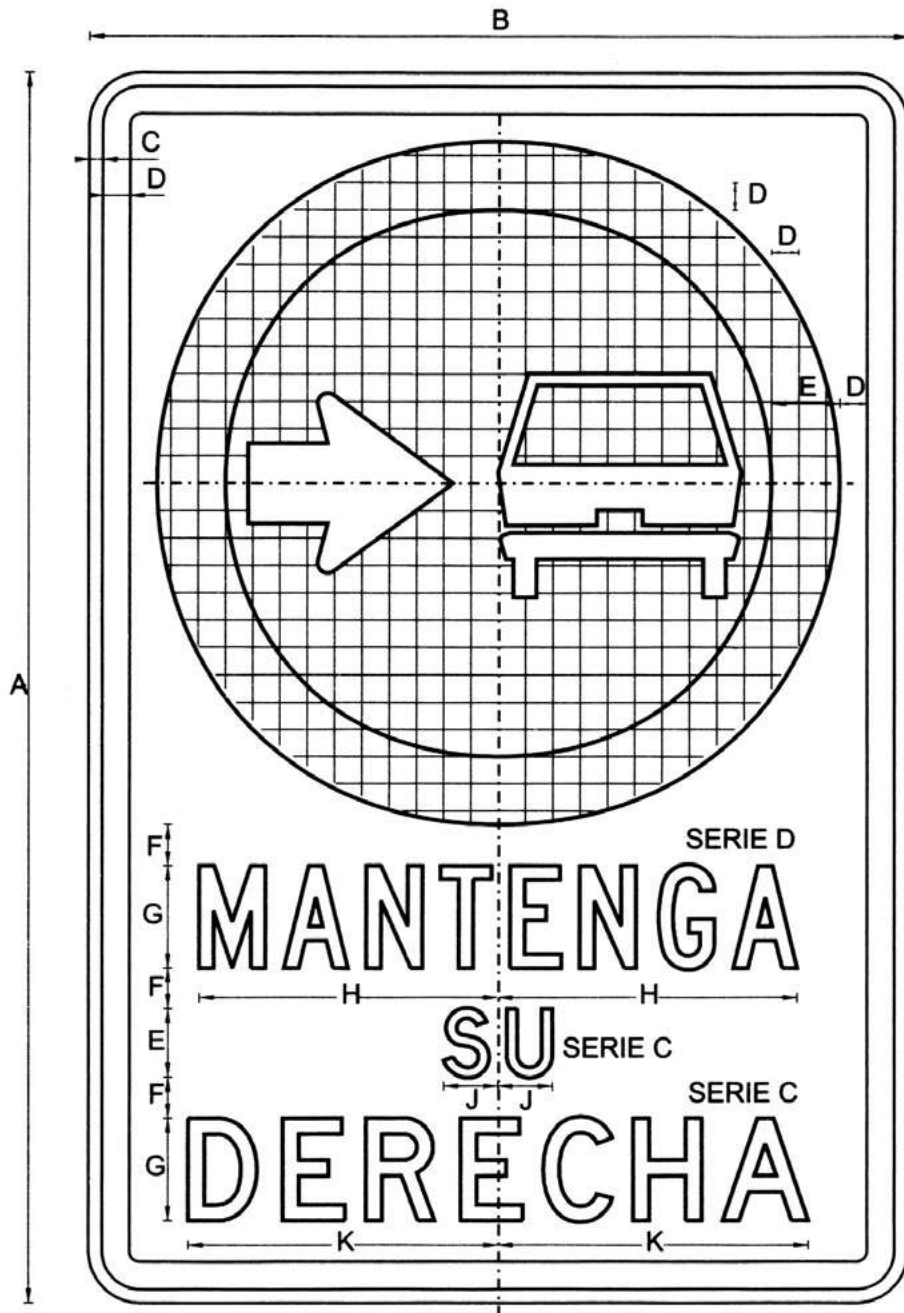
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)											
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M
75,00	8,00	4,00	8,45	16,00	0,80	15,85	31,00	3,00	4,00	1,00	25,00	75,00
90,00	10,00	5,00	10,55	20,00	1,00	19,75	38,75	3,75	5,00	1,25	30,00	90,00

E.11. R-13: SENTIDO DE CIRCULACIÓN DOBLE



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)											
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M
75,00	8,00	4,00	8,45	16,00	0,80	15,85	31,00	3,00	4,00	1,00	25,00	75,00
90,00	10,00	5,00	10,55	20,00	1,00	19,75	38,75	3,75	5,00	1,25	30,00	90,00

E.12. R-14: MANTENGA SU DERECHA



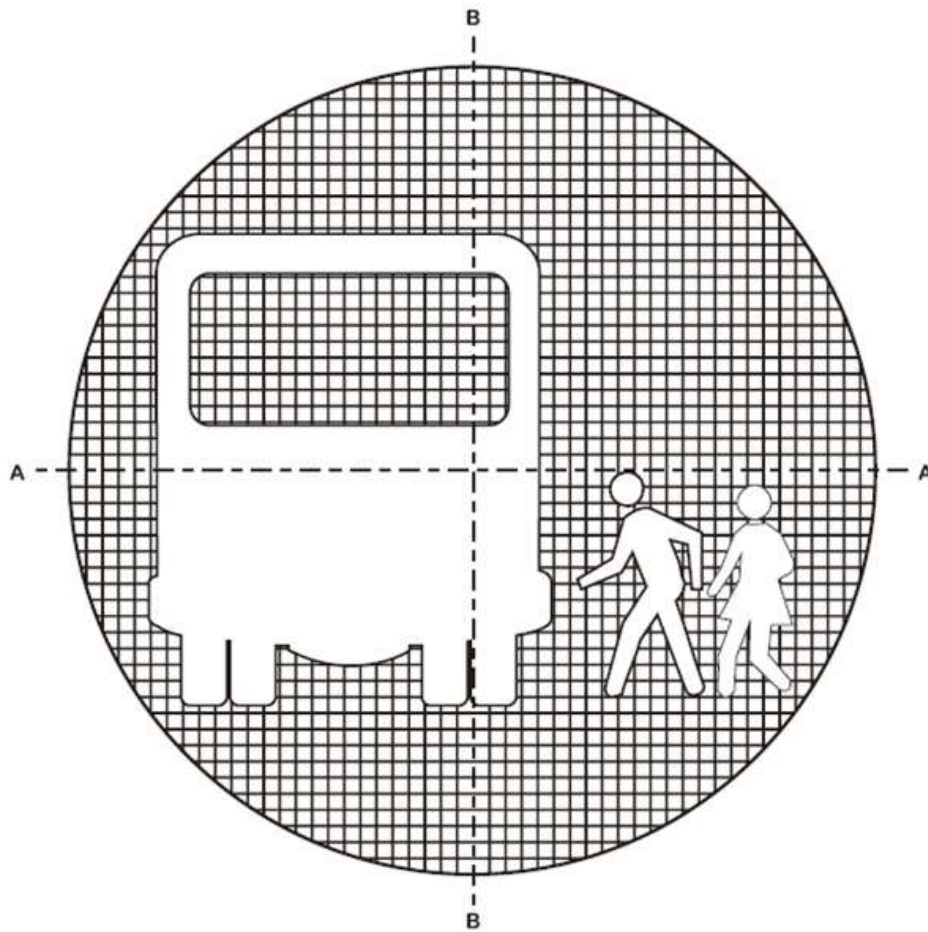
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)										
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L
60,00	90,00	60,00	1,00	2,00	5,00	3,00	7,50	21,89	3,99	22,71	5,00
75,00	112,50	75,00	1,30	2,50	6,30	3,80	9,40	27,40	5,00	28,40	6,30
90,00	135,00	90,00	1,50	3,00	7,50	4,50	11,30	32,80	6,00	34,10	7,50
120,00	180,00	120,00	2,00	4,00	10,00	6,00	15,00	43,80	8,00	45,40	10,00

E.13. R-15: CAMIONES A LA DERECHA



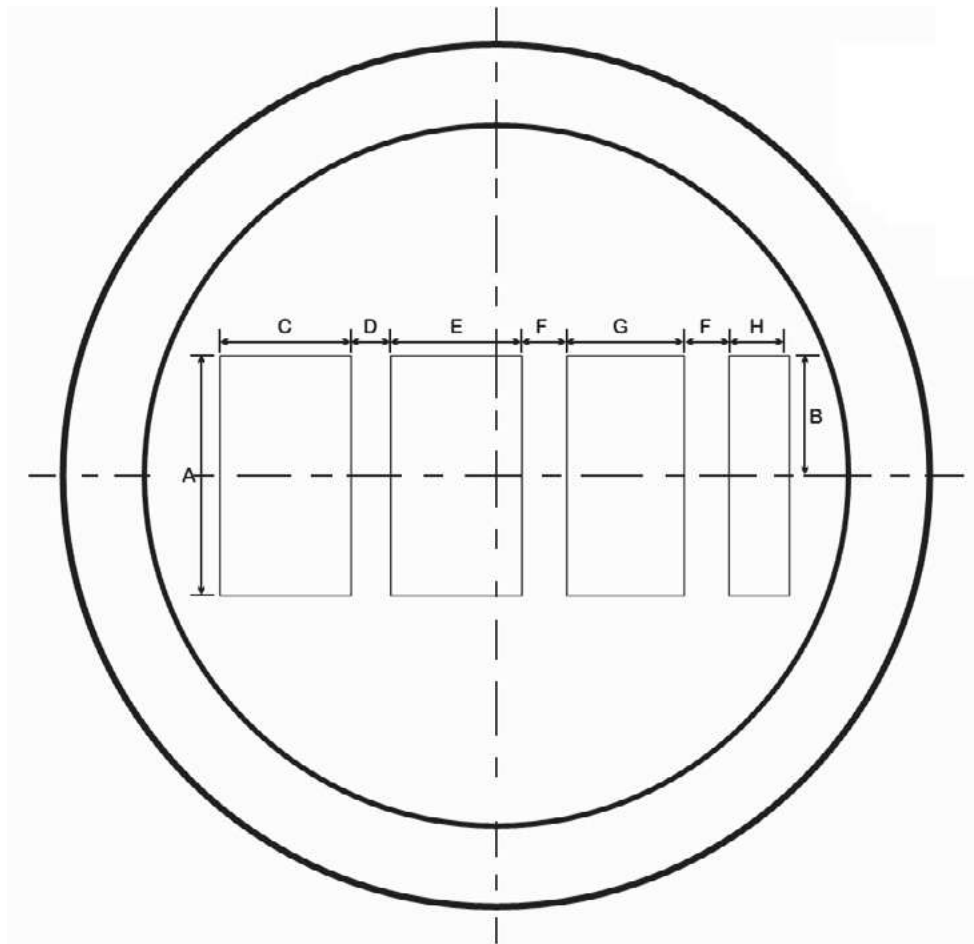
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	J
60,00	90,00	60,00	1,00	2,00	5,00	3,50	9,00	23,85	24,30
75,00	112,50	75,00	1,30	2,50	6,30	4,40	11,30	29,80	30,40
90,00	135,00	90,00	1,50	3,00	7,50	5,30	13,50	35,80	36,50
120,00	180,00	120,00	2,00	4,00	10,00	7,00	18,00	47,70	48,60

E.14. R-16: PARADA DE ÓMNIBUS



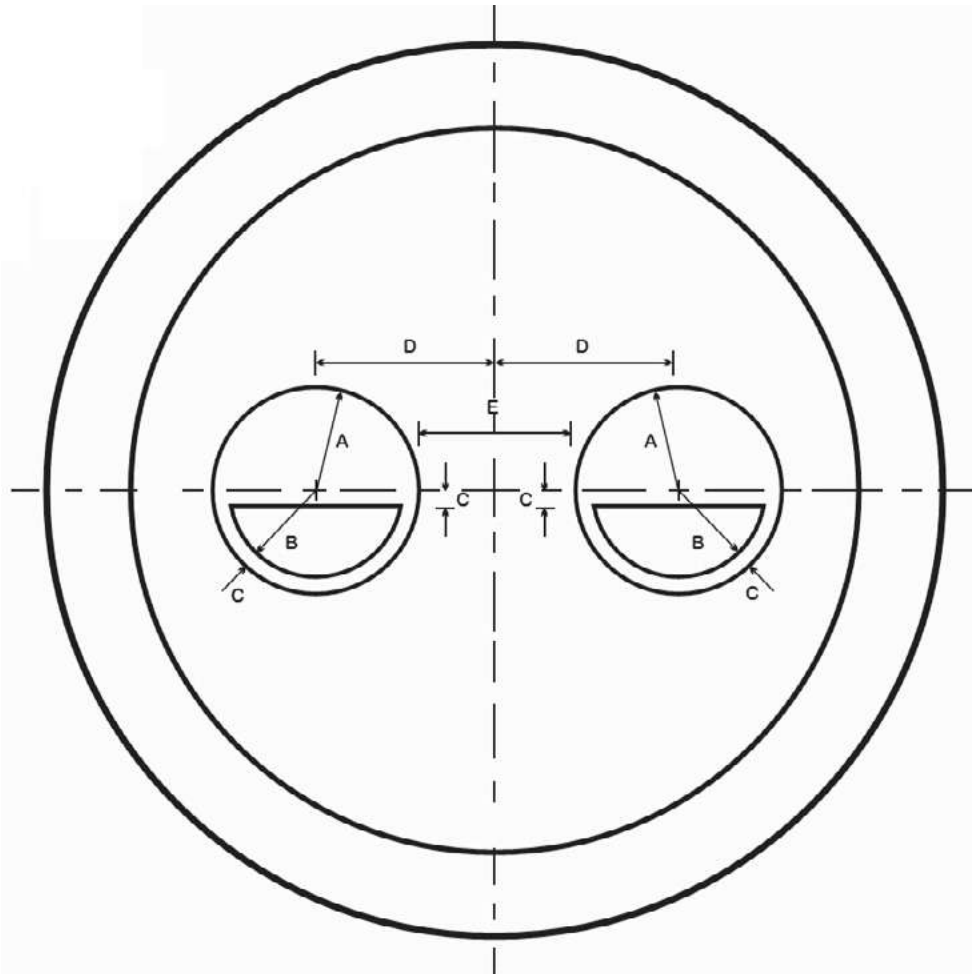
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)			
	A	B	C	CUADRÍCULA
60,00	60,00	1,00	1,00	1,00 X 1,00
75,00	75,00	1,25	1,25	1,25 X 1,25
90,00	90,00	1,50	1,50	1,50 X 1,50

E.15. R-17: PARADA DE TAXIS



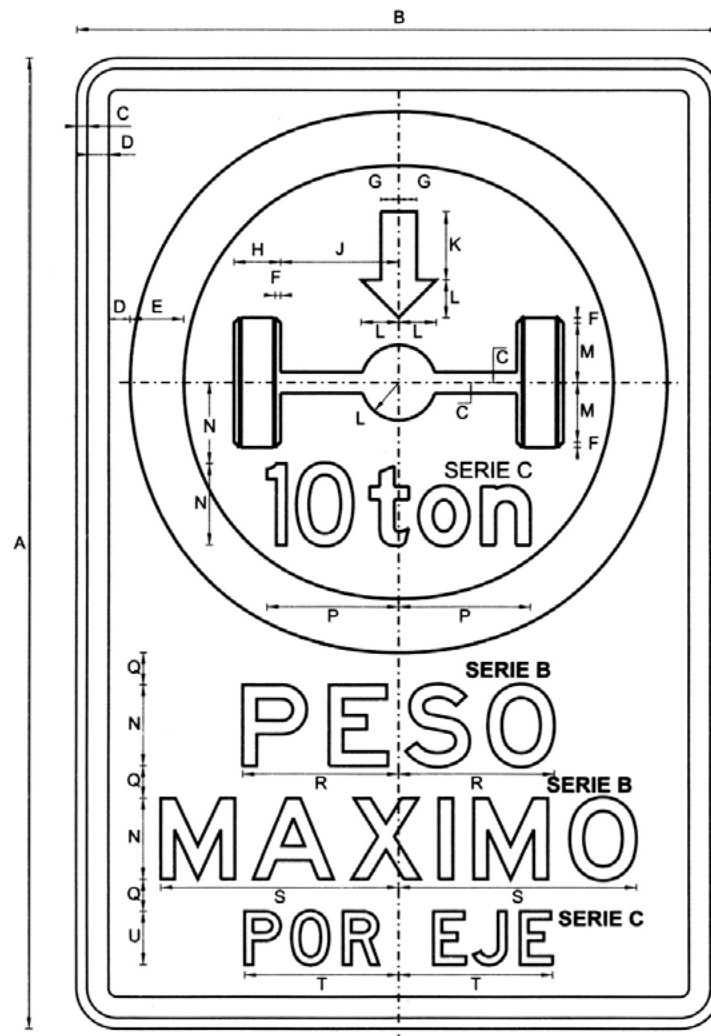
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)								ALFABETO
	A	B	C	D	E	F	G	H	
60,00	20,00	10,00	7,62	1,27	8,59	3,81	9,37	2,54	B - 20

E.16. R-18: CIRCULACIÓN CON LUCES BAJAS



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)				
	A	B	C	D	E
60.00	7.50	6.50	1.00	12.50	10.00
75.00	8.50	7.00	1.50	15.00	13.00
90.00	11.25	9.75	1.50	18.75	15.00
120.00	15.00	13.00	2.00	25.00	20.00

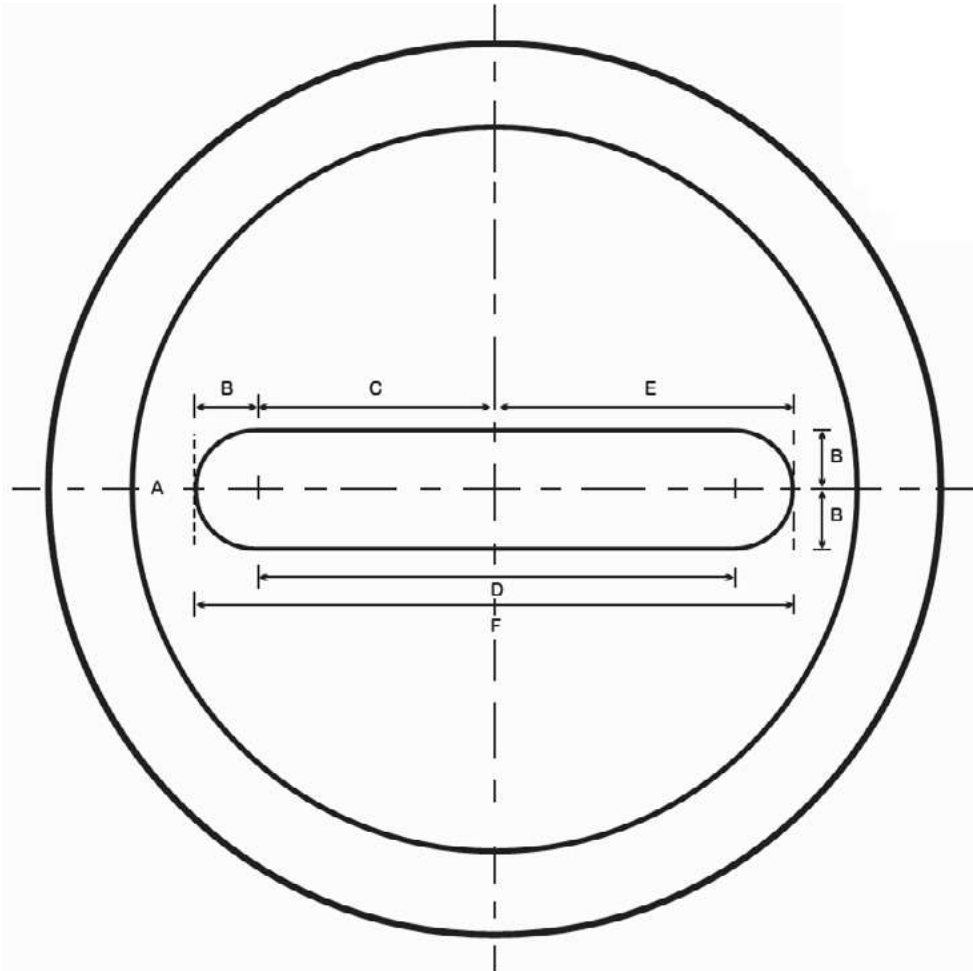
E.17. R-19: PESO MÁXIMO POR EJE



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
60,00	90,00	60,00	1,00	2,00	5,00	0,50	1,67	4,33	11,00	62,50
75,00	112,50	75,00	1,30	2,50	6,30	0,60	2,10	5,40	13,80	78,10
90,00	135,00	90,00	1,50	3,00	7,50	0,80	2,50	6,50	16,50	93,80
120,00	180,00	120,00	2,00	4,00	10,00	1,00	3,30	8,70	22,00	125,00

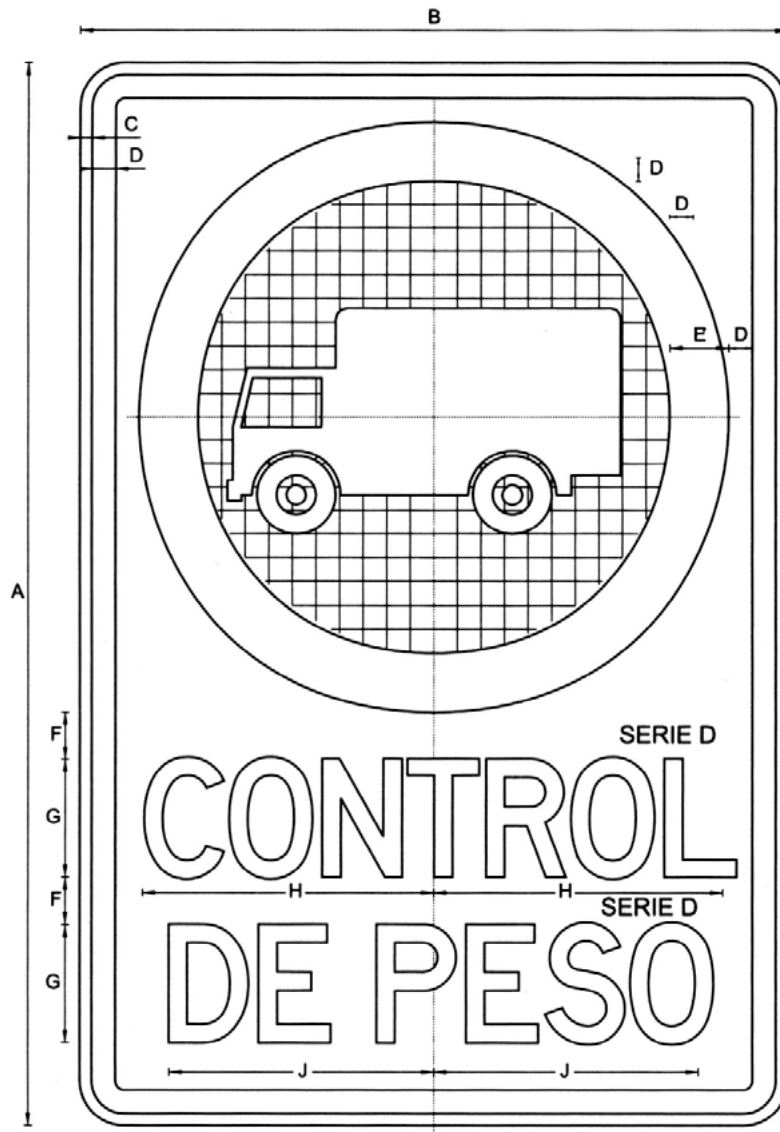
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)								
	L	M	N	P	Q	R	S	T	U
60,00	3,50	5,50	7,50	12,27	3,00	14,51	22,13	14,33	5,00
75,00	4,40	6,90	9,40	15,30	3,80	18,10	27,70	17,90	6,30
90,00	5,30	8,30	11,30	18,40	4,50	21,80	33,20	21,50	7,50
120,00	7,00	11,00	15,00	24,50	6,00	29,00	44,30	28,70	10,00

E.18. R-20: RETÉN



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)					
	A	B	C	D	E	F
60,00	8,00	4,00	16,00	32,00	20,00	40,00
75,00	10,00	5,00	20,00	40,00	25,00	50,00
90,00	12,00	6,00	24,00	48,00	30,00	60,00
120,00	16,00	8,00	32,00	64,00	40,00	80,00

E.19. R-21: CONTROL DE PESO



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	J
60,00	90,00	60,00	1,00	2,00	5,00	4,00	10,00	24,55	22,45
75,00	112,50	75,00	1,30	2,50	6,30	5,00	12,50	30,70	28,10
90,00	135,00	90,00	1,50	3,00	7,50	6,00	15,00	36,80	33,70

E.20. R-22: PERMITIDO ESTACIONAR



R-26	DIMENSIONES (milímetros)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	
900 x 600	900.0	600.0	10.0	20.0	50.0	60.0	35.0	101.7	66.7	
1200 x 800	1200.0	800.0	13.3	26.7	66.7	80.0	46.7	135.6	88.9	

	K	L	M	N	P	Q	R	S
900 x 600	53.3	30.0	65.0	75.0	237.4	241.6	236.8	50.0
1200 x 800	71.1	40.0	86.7	100.0	308.6	322.1	315.7	65.0

SEÑAL	DIMENSIONES (cm)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	
60,00	90,00	60,00	1,00	2,00	5,00	6,00	3,50	10,17	6,67	
75,00	112,50	75,00	1,30	2,50	6,30	7,50	4,40	12,70	8,30	
90,00	135,00	90,00	1,50	3,00	7,50	9,00	5,30	15,30	10,00	

SEÑAL	DIMENSIONES (cm)								
	K	L	M	N	P	Q	R	S	
60,00	5,33	3,00	6,50	7,50	23,74	24,16	23,68	5,00	
75,00	6,70	3,80	8,10	9,40	29,70	30,20	29,60	6,30	
90,00	8,00	4,50	9,80	11,30	35,60	36,20	35,50	7,50	

F. SEÑALES REGLAMENTARIAS DE PROHIBICIÓN

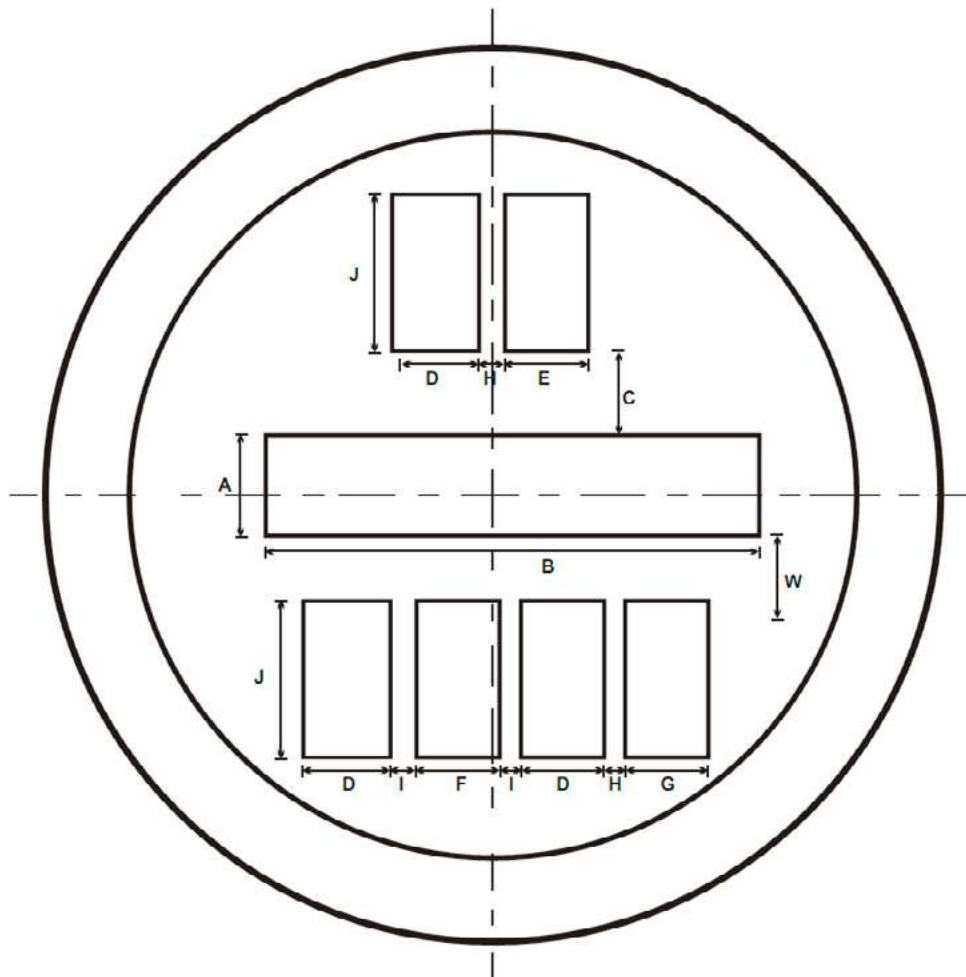
F.1. R-23: DIRECCIÓN PROHIBIDA



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
60,00	90,00	60,00	1,00	2,00	5,00	6,70	12,95	5,87	6,05	7,10
75,00	112,50	75,00	1,30	2,50	6,30	8,40	16,20	7,30	7,60	8,90
90,00	135,00	90,00	1,50	3,00	7,50	10,10	19,40	8,80	9,10	10,70

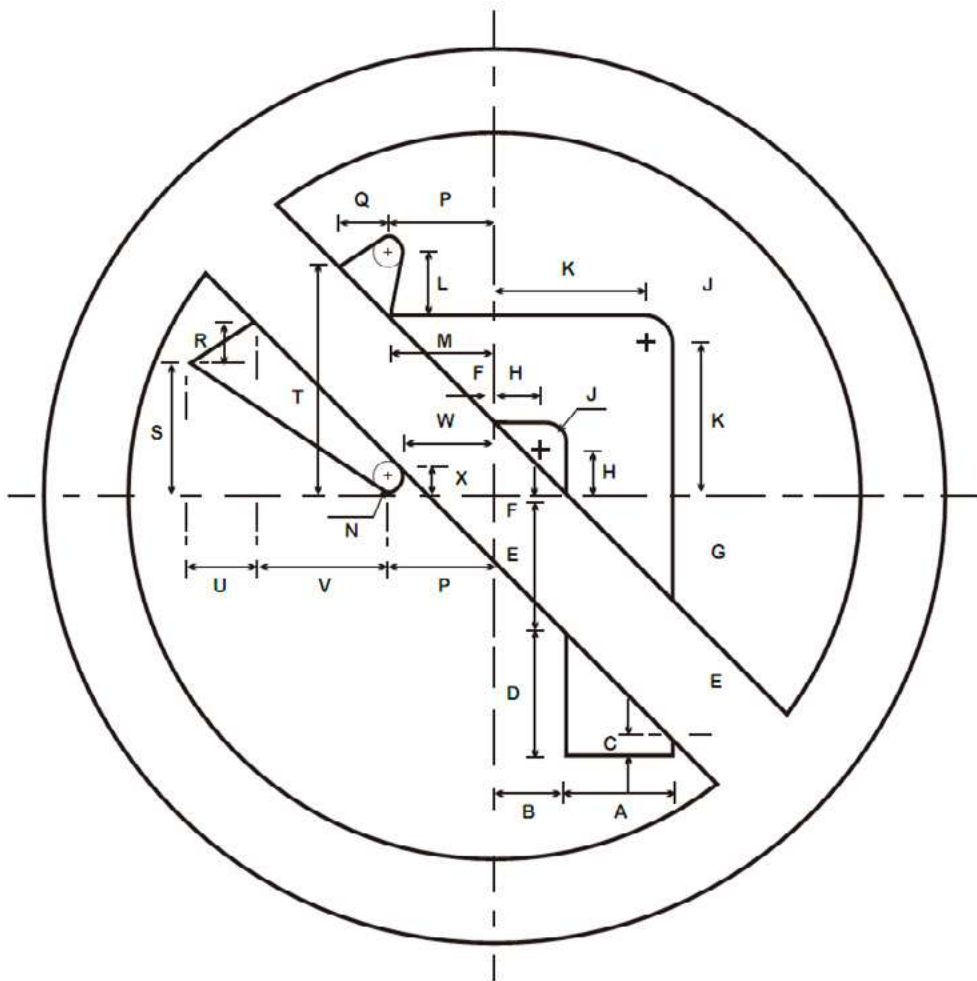
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)								
	L	M	N	P	Q	R	S	T	U
60,00	3,74	17,48	6,72	3,36	3,50	10,00	23,90	17,40	5,00
75,00	4,70	21,90	8,40	4,20	4,40	12,50	29,90	21,80	6,30
90,00	5,60	26,20	10,10	5,00	5,30	15,00	35,90	26,10	7,50

F.2. R-24: CONTRAMANO



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	ALFABETO
60,00	10,00	54,00	6,00	6,93	7,34	7,93	6,35	2,67	2,13	12,50	C - 12,5
75,00	12,50	67,50	7,50	8,70	9,20	9,90	7,90	3,30	2,70	15,60	C - 16,0
90,00	15,00	81,00	9,00	10,40	11,00	11,90	9,50	4,00	3,20	18,80	C - 19,0
120,00	20,00	108,00	12,00	13,90	14,70	15,90	12,70	5,30	4,30	25,00	C - 25,0

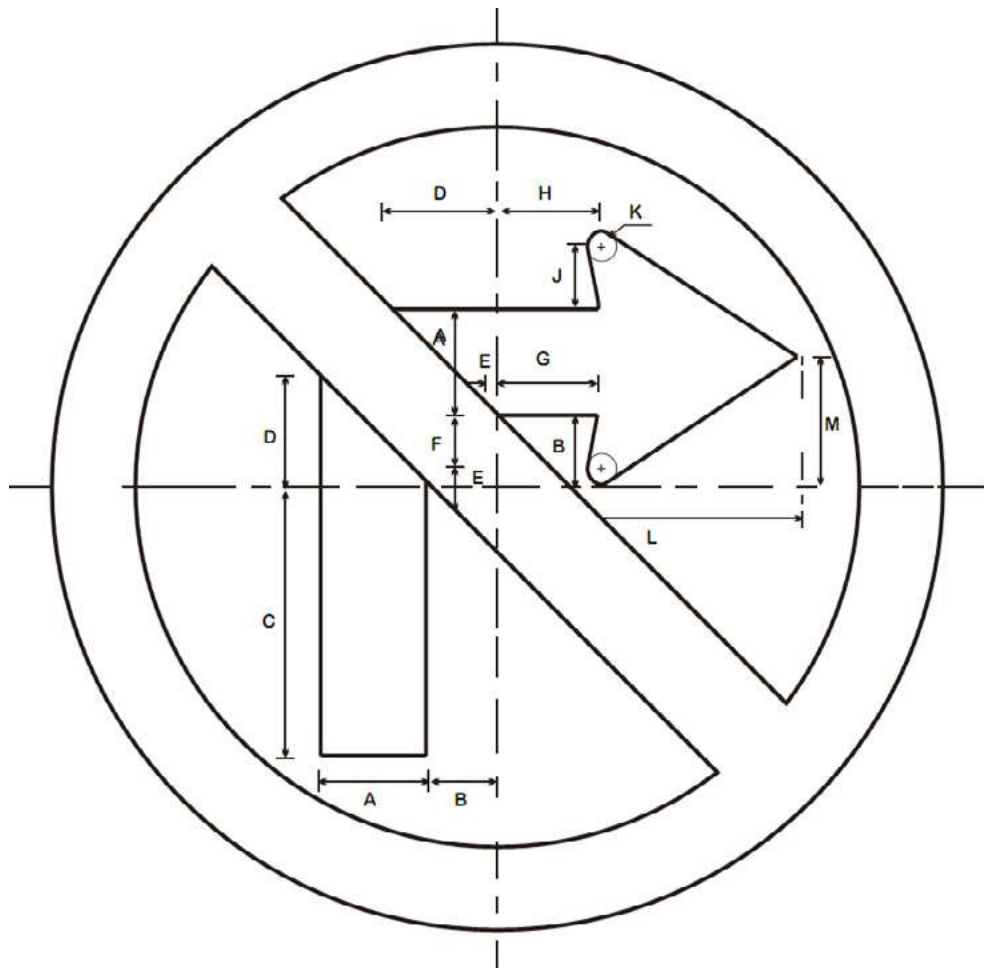
F.3. R-25: PROHIBIDO GIRAR A LA IZQUIERDA



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)										
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L
60,00	8,00	5,25	0,60	6,50	8,50	1,00	8,90	3,75	1,50	11,75	4,45
75,00	9,00	5,85	1,60	10,50	10,60	0,60	9,50	3,85	2,00	12,85	4,95
90,00	12,00	7,87	0,90	9,75	12,75	1,50	13,35	5,62	2,25	17,62	6,67
120,00	16,00	10,50	1,20	13,00	17,00	2,00	17,8	7,5	3,00	23,50	8,90

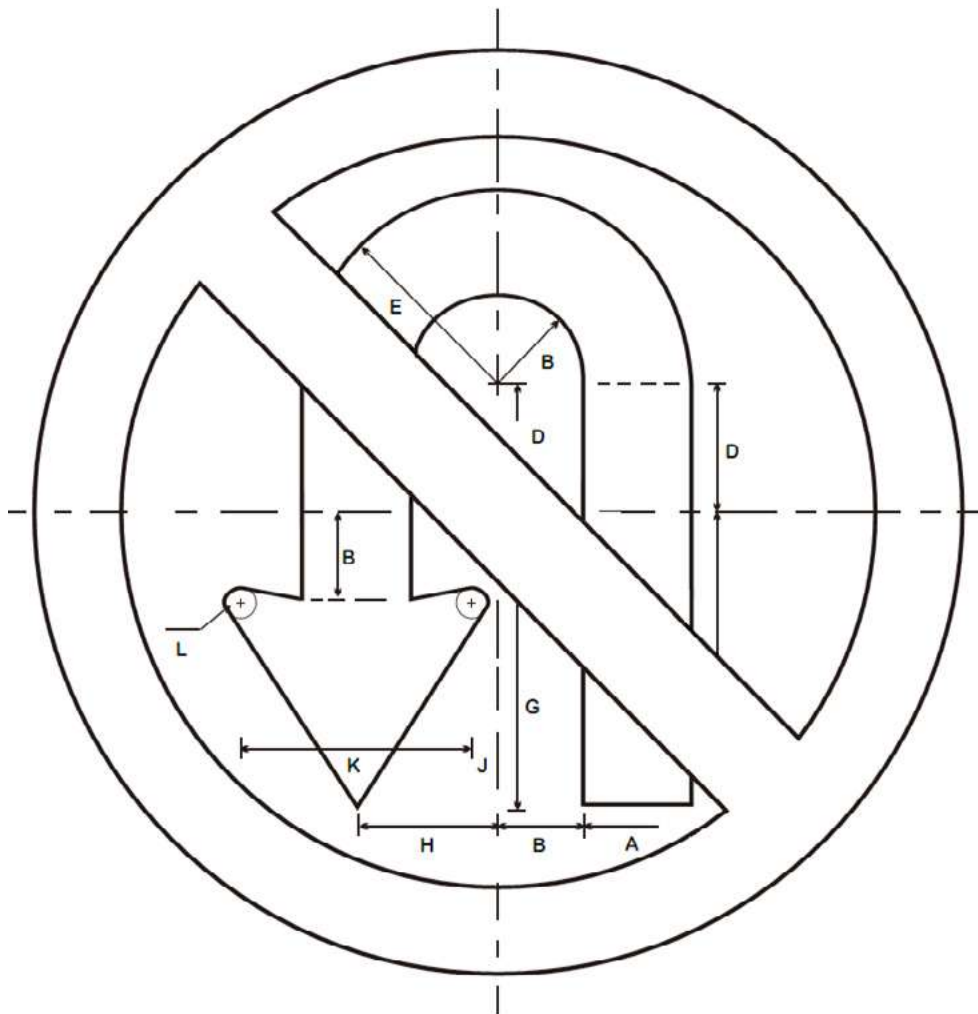
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)										
	M	N	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
60,00	5,80	0,80	6,00	6,70	2,90	9,25	15,40	4,60	10,40	5,30	1,00
75,00	8,10	0,90	8,40	4,45	3,65	10,35	18,00	6,00	10,85	7,75	2,30
90,00	8,70	1,20	9,00	10,05	4,35	13,87	23,10	6,90	15,60	7,95	1,50
120,00	11,60	1,60	12,00	13,40	5,80	18,50	30,80	9,20	20,8	10,60	2,00

F.4. R-26: PROHIBIDO GIRAR A LA DERECHA



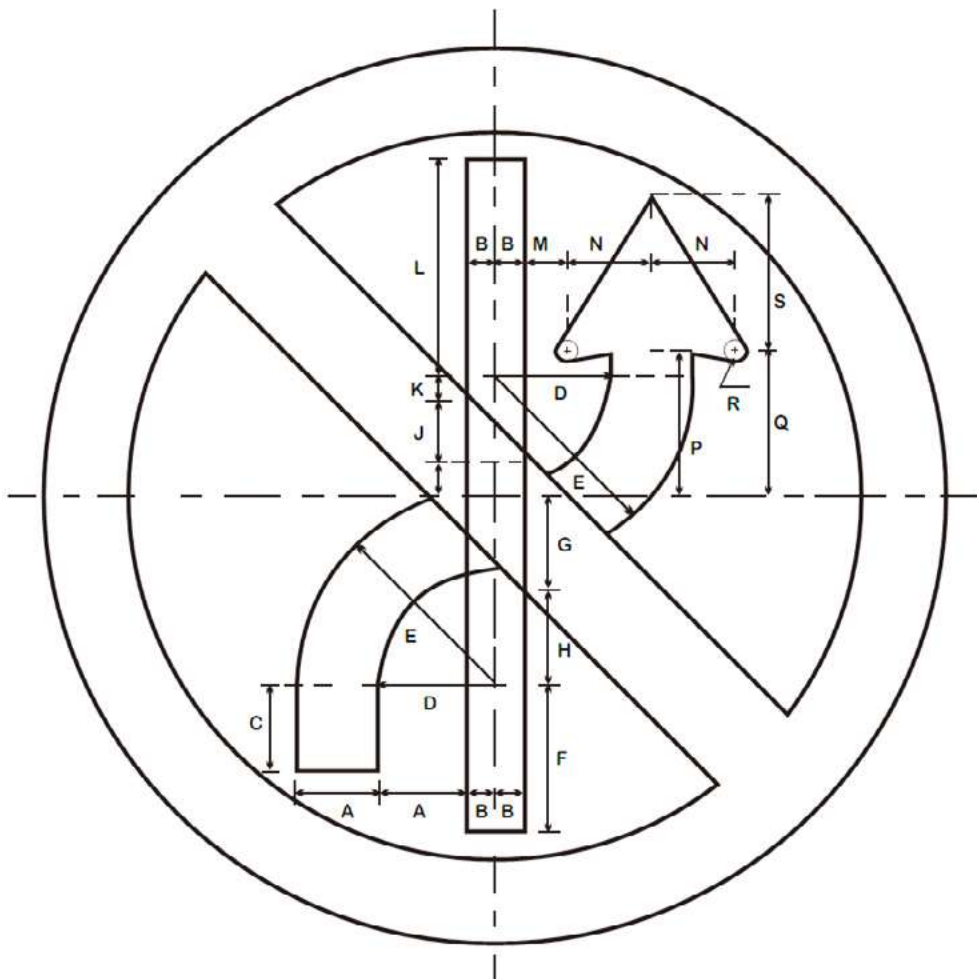
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)											
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M
60,00	8,00	5,25	16,50	9,00	1,00	4,25	5,55	5,75	4,45	0,80	20,75	9,25
75,00	9,00	5,85	22,50	9,50	0,50	5,35	8,15	8,45	4,95	0,90	25,30	10,35
90,00	12,00	7,87	24,75	13,50	1,50	6,37	8,33	8,63	6,67	1,20	31,12	13,87
120,00	16,00	10,50	33,00	18,00	2,00	8,50	11,10	11,50	8,90	1,60	41,50	18,50

F.5. R-27: PROHIBIDO GIRAR EN "U"



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)										
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L
60,00	8,00	5,25	19,00	9,25	13,25	5,45	15,00	9,25	0,80	16,90	0,80
75,00	9,00	6,75	23,90	10,50	15,75	7,05	16,85	11,25	1,80	18,90	0,90
90,00	12,00	7,87	28,50	13,87	19,87	8,17	22,50	13,87	1,20	25,35	1,20
120,00	16,00	10,50	38,00	18,50	26,50	10,90	30,00	18,50	1,60	33,80	1,60

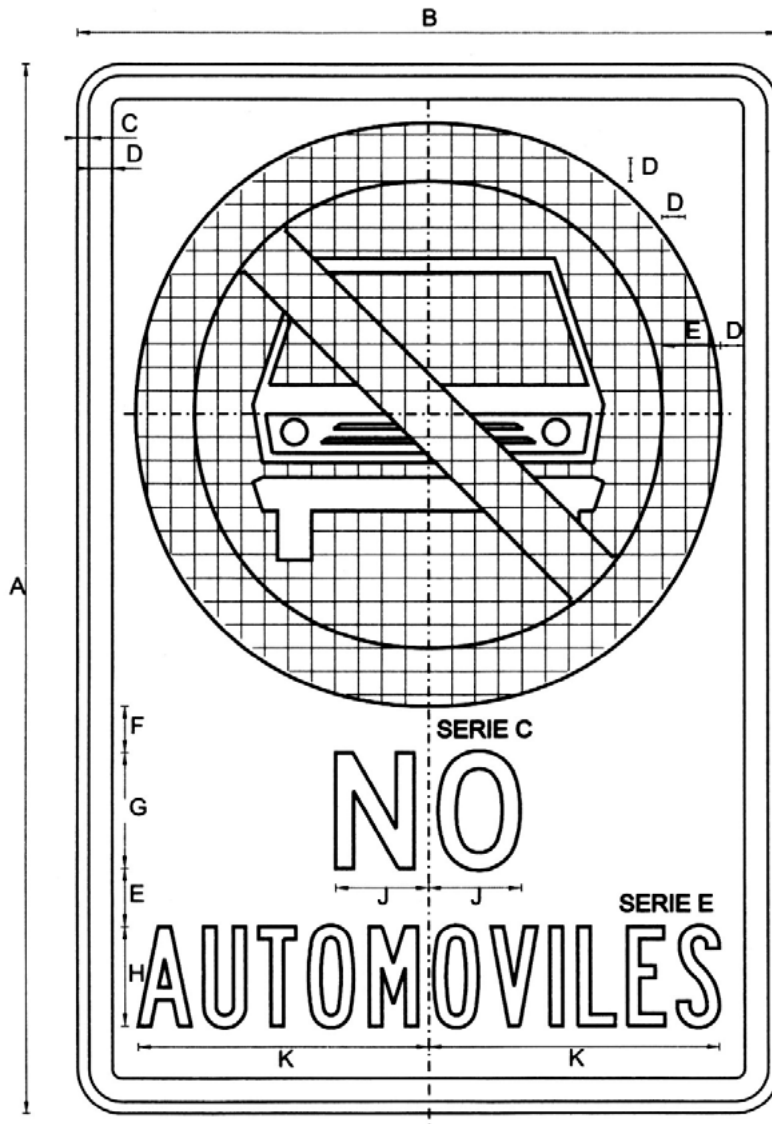
F.6. R-28: PROHIBIDO EL CAMBIO DE CALZADA



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	J
60,00	6,00	2,00	4,25	8,00	14,00	9,70	6,25	7,05	4,00
75,00	7,00	2,50	7,35	9,50	16,50	12,65	7,75	7,85	5,00
90,00	9,00	3,00	6,37	12,00	21,00	14,55	9,37	10,57	6,00
120,00	12,00	4,00	8,50	16,00	28,00	19,40	12,50	14,10	8,00

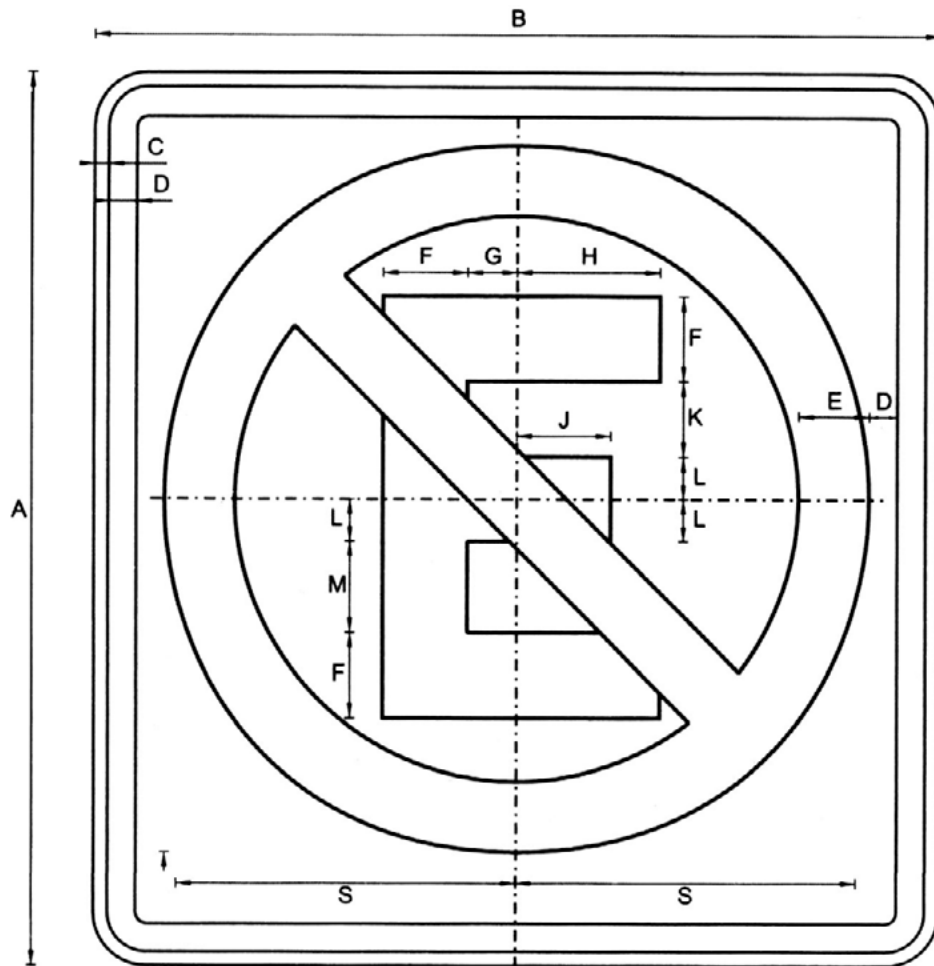
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)								
	K	L	M	N	O	P	R	S	
60,00	2,45	14,30	2,60	6,40	8,75	8,85	0,60	11,30	
75,00	2,60	17,90	3,15	7,35	11,70	11,90	0,70	13,00	
90,00	3,67	21,45	3,90	9,60	13,12	13,27	0,90	16,95	
120,00	4,90	28,60	5,20	12,80	17,50	17,70	1,20	22,60	

F.7. R-29: CIRCULACIÓN PROHIBIDA DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
60,00	90,00	60,00	1,00	2,00	5,00	4,00	10,00	8,50	7,95	24,83
75,00	112,50	75,00	1,30	2,50	6,30	5,00	12,50	10,60	9,90	31,00
90,00	135,00	90,00	1,50	3,00	7,50	6,00	15,00	12,80	11,90	37,20
120,00	180,00	120,00	2,00	4,00	10,00	8,00	20,00	17,00	15,90	49,70

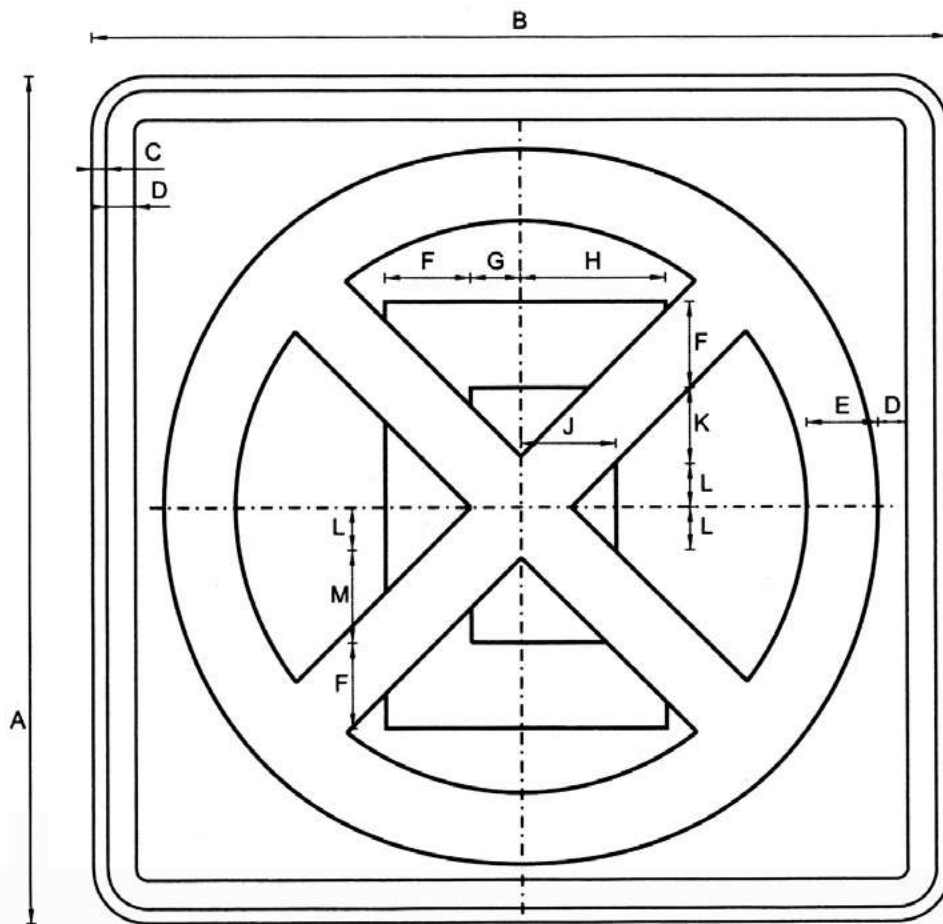
F.8. R-30: PROHIBIDO ESTACIONAR



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	J
60,00	60,00	60,00	1,00	2,00	5,00	6,00	3,50	10,20	6,67
80,00	80,00	80,00	1,33	2,67	6,67	8,00	4,67	13,60	8,90
90,00	90,00	90,00	1,50	3,00	7,50	9,00	5,25	15,30	10,00
120,00	12,00	12,00	2,00	4,00	10,00	12,00	7,00	20,40	13,34

SEÑAL	DIMENSIONES (cm)							
	K	L	M	N	P	Q	R	S
60,00	5,33	3,00	6,50	4,80	10,00	7,50	9,50	24,10
80,00	7,10	4,00	8,67	6,80	12,50	10,00	11,90	32,15
90,00	7,99	4,50	9,75	7,20	15,00	11,25	14,25	36,15
120,00	10,66	6,00	13,00	9,60	20,00	15,00	19,00	48,20

F.9. R-31: PROHIBIDO ESTACIONAR NI DETENERSE



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	J
60,00	60,00	60,00	1,00	2,00	5,00	6,00	3,50	10,20	6,67
80,00	80,00	80,00	1,33	2,67	6,67	8,00	4,67	13,60	8,90
90,00	90,00	90,00	1,50	3,00	7,50	9,00	5,25	15,30	10,00
120,00	12,00	12,00	2,00	4,00	10,00	12,00	7,00	20,40	13,34

SEÑAL	DIMENSIONES (cm)					
	K	L	M	N	P	Q
60,00	5,33	3,00	6,50	4,80	10,00	7,50
80,00	7,10	4,00	8,67	6,80	12,50	10,00
90,00	7,99	4,50	9,75	7,20	15,00	11,25
120,00	10,66	6,00	13,00	9,60	20,00	15,00

F.10. R-32: PROHIBIDO ASCENSO Y DESCENSO DE PASAJEROS



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
60,00	90,00	60,00	1,00	2,00	3,50	10,00	3,00	22,85	24,33	15,67
75,00	112,50	75,00	1,30	2,50	4,40	12,50	3,75	28,56	30,41	19,59
90,00	135,00	90,00	1,50	3,00	5,30	15,00	4,50	34,28	36,50	23,51
120,00	180,00	120,00	2,00	4,00	7,00	20,00	6,00	45,70	48,66	31,34

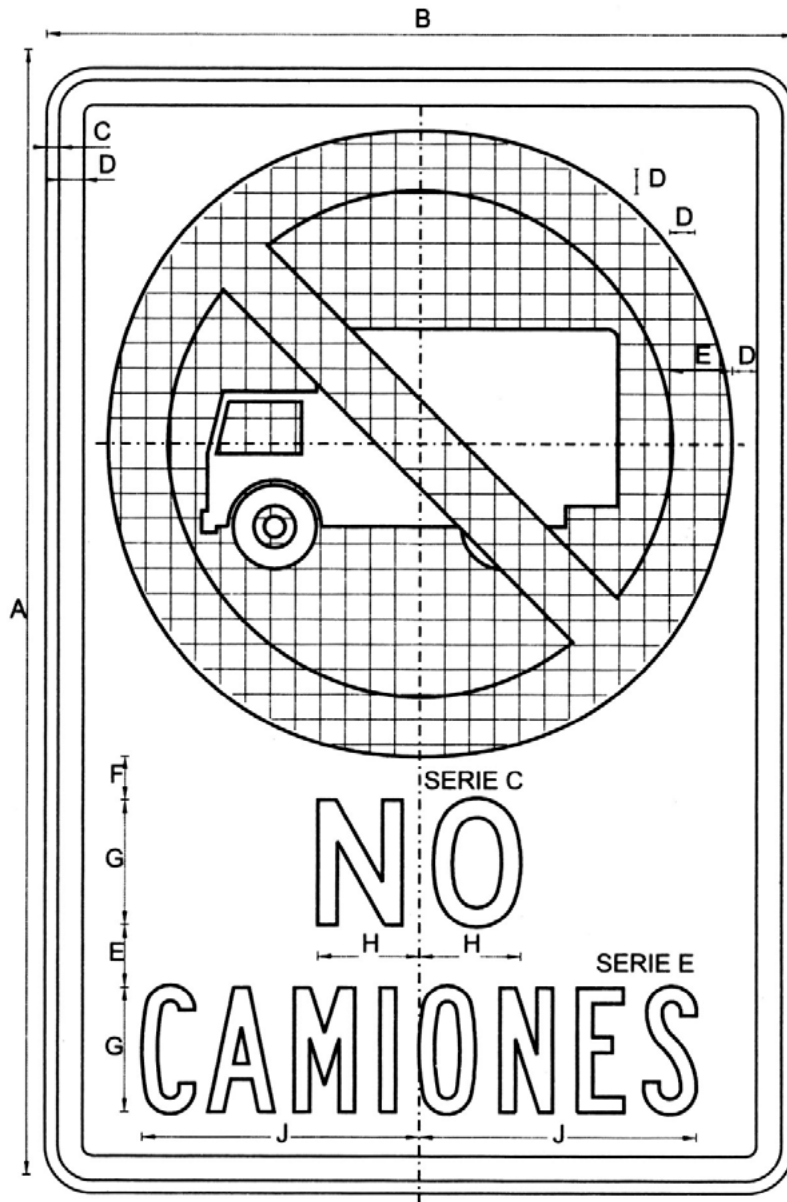
F.11. R-33: CIRCULACIÓN PROHIBIDA DEPEATONES



R-21	DIMENSIONES (milímetros)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
900 x 600	900.0	600.0	10.0	20.0	50.0	30.0	75.0	224.7	126.1	139.5
1200 x 800	1200.0	800.0	13.3	26.7	65.0	40.0	100.0	299.6	163.9	186.0

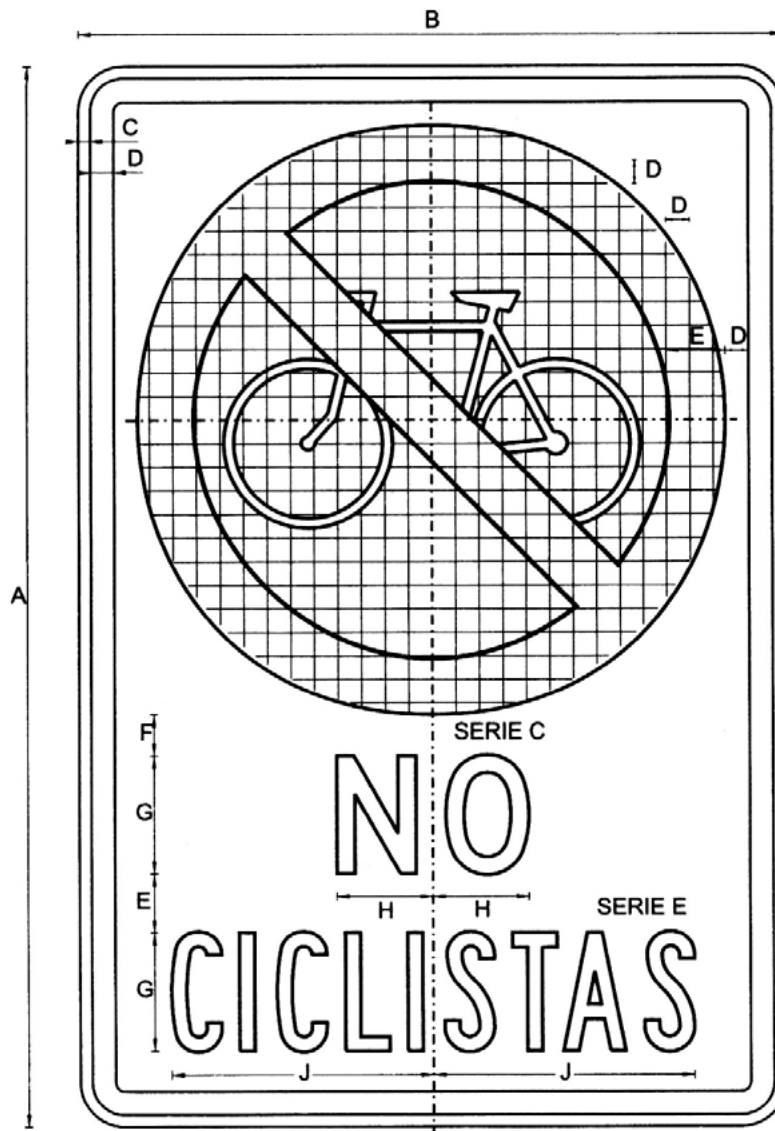
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
60,00	90,00	60,00	1,00	2,00	5,00	5,00	7,50	22,47	12,61	13,95
75,00	112,50	75,00	1,30	2,50	6,30	6,30	9,40	28,10	15,80	17,40
90,00	135,00	90,00	1,50	3,00	7,50	7,50	11,30	33,70	18,90	20,90
120,00	180,00	120,00	2,00	4,00	10,00	10,00	15,00	44,90	25,20	27,90

F.12. R-34: CIRCULACIÓN PROHIBIDA DE VEHÍCULOS PESADOS



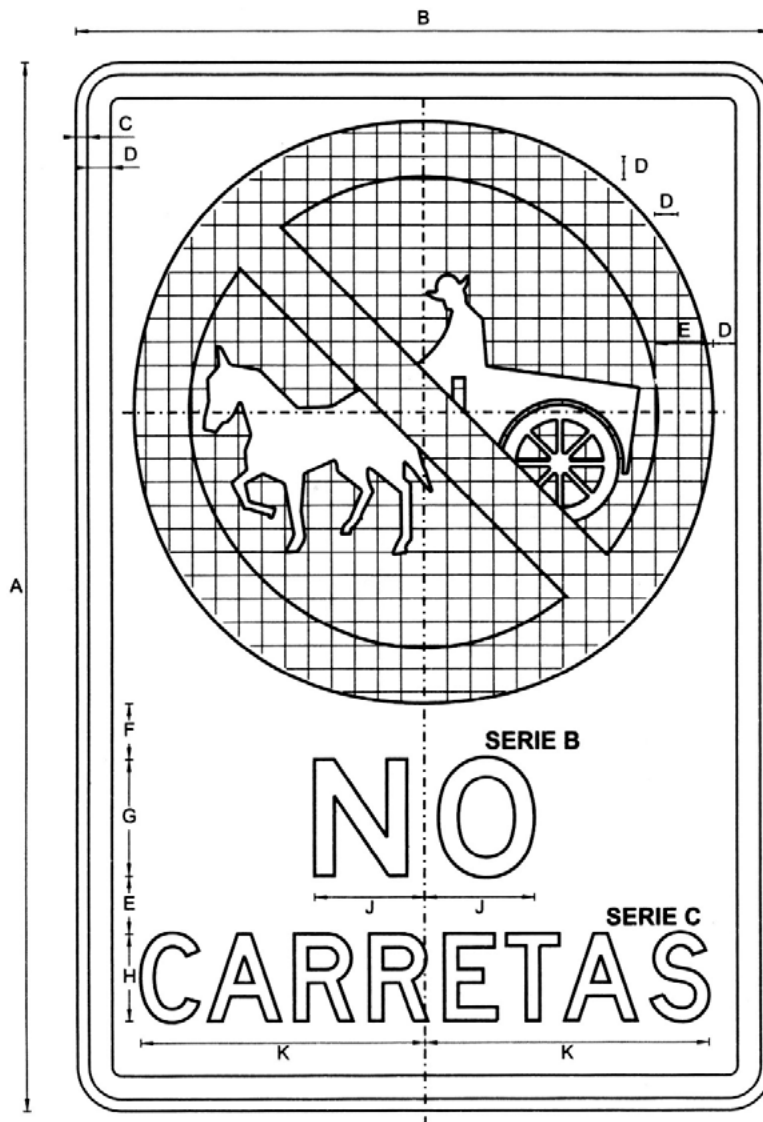
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	J
60,00	90,00	60,00	1,00	2,00	5,00	3,50	10,00	8,14	22,21
75,00	112,50	75,00	1,30	2,50	6,30	4,40	12,50	10,20	27,80
90,00	135,00	90,00	1,50	3,00	7,50	5,30	15,00	12,20	33,30
120,00	180,00	120,00	2,00	4,00	10,00	7,00	20,00	16,30	44,40

F.13. R-35: CIRCULACIÓN PROHIBIDA DE CICLISTAS



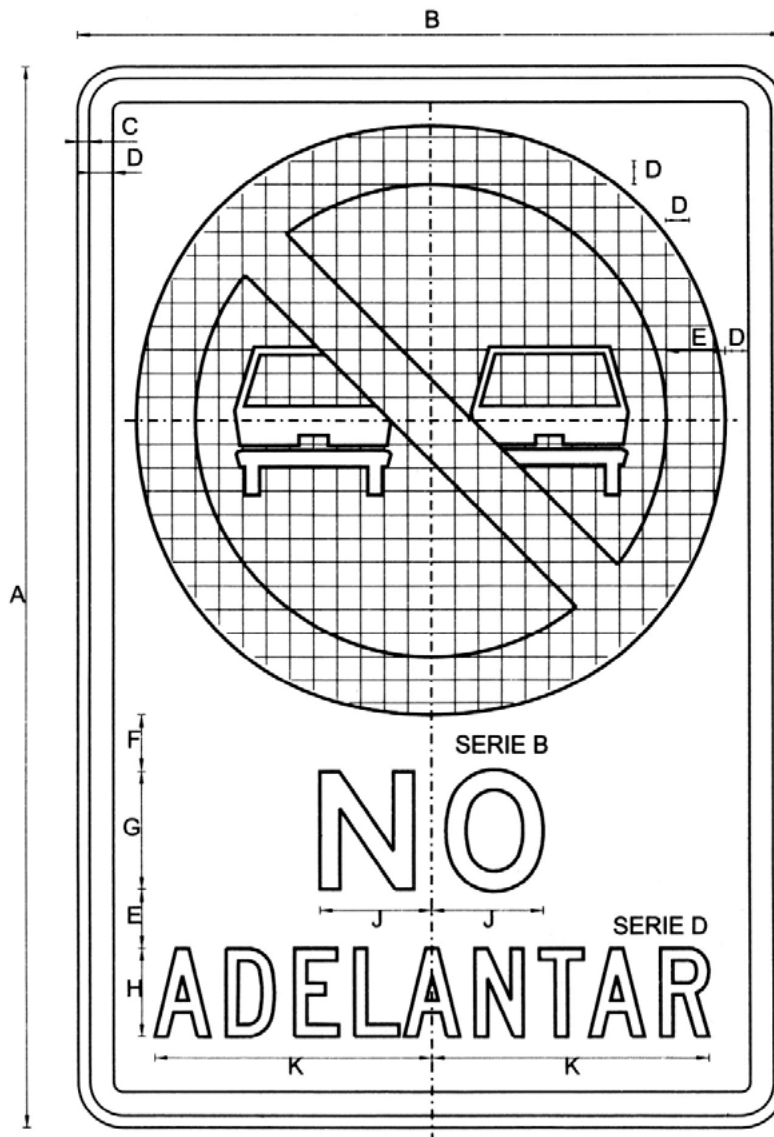
SEÑAL	DIMENSIONES (cm)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	J
60,00	90,00	60,00	1,00	2,00	5,00	3,50	10,00	8,15	22,22
75,00	112,50	75,00	1,30	2,50	6,30	4,40	12,50	10,20	27,80
90,00	135,00	90,00	1,50	3,00	7,50	5,30	15,00	12,20	33,30
120,00	180,00	120,00	2,00	4,00	10,00	7,00	20,00	16,30	44,40

F.14. R-36: CIRCULACIÓN PROHIBIDA DE VEHÍCULOS A TRACCIÓN ANIMAL



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
60,00	90,00	60,00	1,00	2,00	5,00	4,80	10,00	7,50	9,50	24,54
75,00	112,50	75,00	1,30	2,50	6,30	6,00	12,50	9,40	11,90	30,70
90,00	135,00	90,00	1,50	3,00	7,50	7,20	15,00	11,30	14,30	36,80
120,00	180,00	120,00	2,00	4,00	10,00	9,60	20,00	15,00	19,00	49,10

F.15. R-37: PROHIBIDO ADELANTAR



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
60,00	90,00	60,00	1,00	2,00	5,00	4,80	10,00	7,50	7,95	23,50
75,00	112,50	75,00	1,30	2,50	6,30	6,00	12,50	9,40	9,90	29,40
90,00	135,00	90,00	1,50	3,00	7,50	7,20	15,00	11,30	11,90	35,30
120,00	180,00	120,00	2,00	4,00	10,00	9,60	20,00	15,00	15,90	47,00

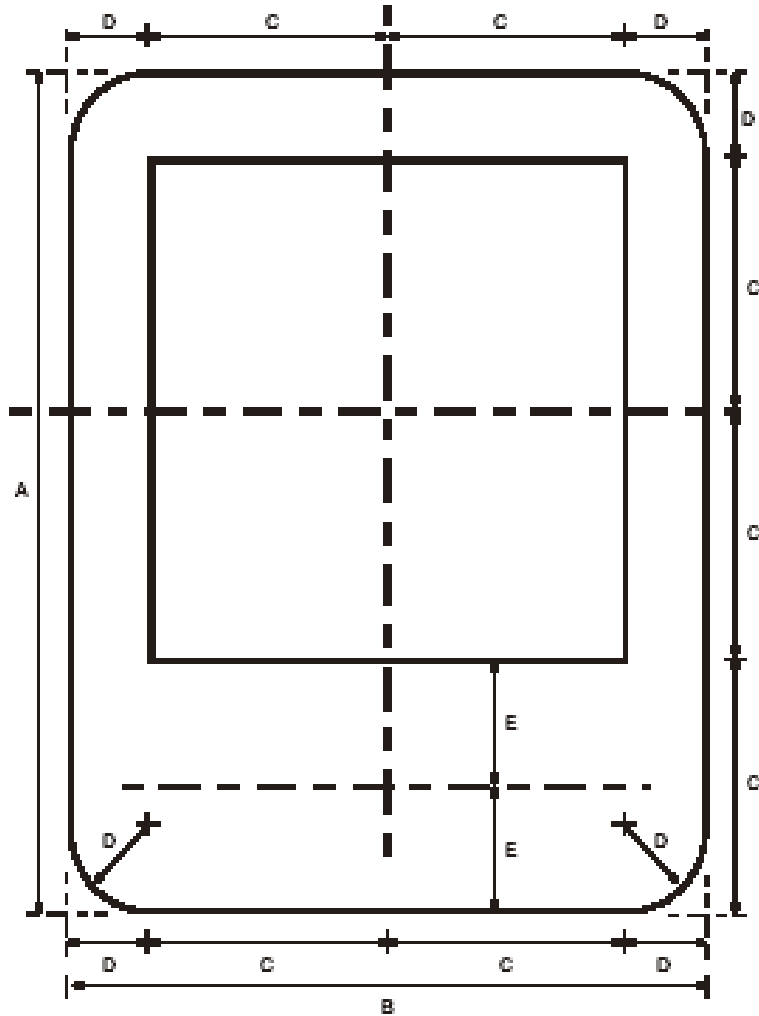
F.16. R-38: PROHIBIDO TOCAR BOCINA



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)						
	A	B	C	D	E	F	G
60,00	90,00	60,00	1,00	2,00	5,00	10,00	24,50
75,00	112,50	75,00	1,30	2,50	6,30	12,50	30,60
90,00	135,00	90,00	1,50	3,00	7,50	15,00	36,80

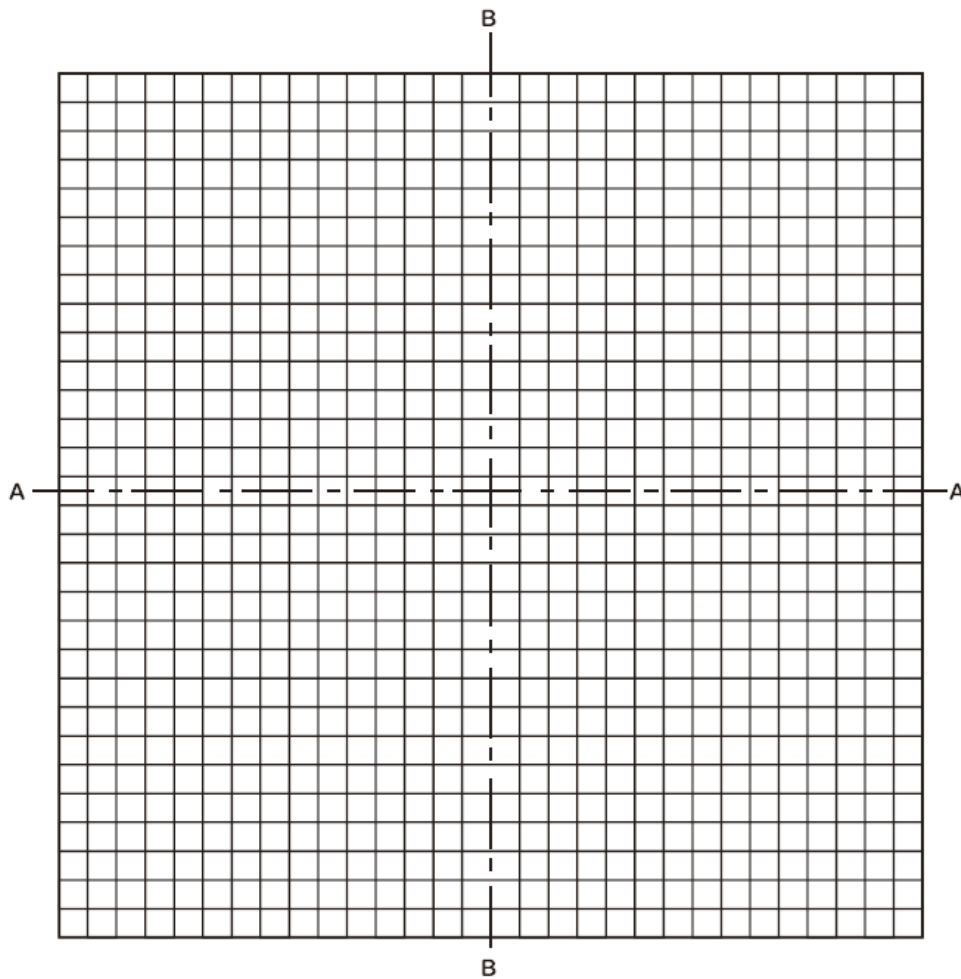
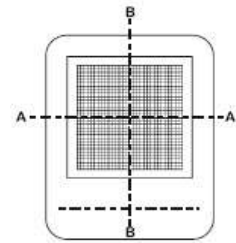
3.3.2.5.3. SEÑALES INFORMATIVAS

A. SEÑALES INFORMATIVAS FORMA, COLORES Y DIMENSIONES



COLOR		SEÑAL	DIMENSIONES (cm)				
FONDO	AZUL		A	B	C	D	E
SÍMBOLO	NEGRO	60	60,00	50,00	17,50	7,50	8.75
CUADRO INTERIOR	BLANCO	75	75,00	60,00	22,50	7,50	11.25
FLECHAS/LETRAS	BLANCO	90	90,00	75,00	26,25	11,25	13.125
		120	120,00	100,00	35,00	15,00	17,50

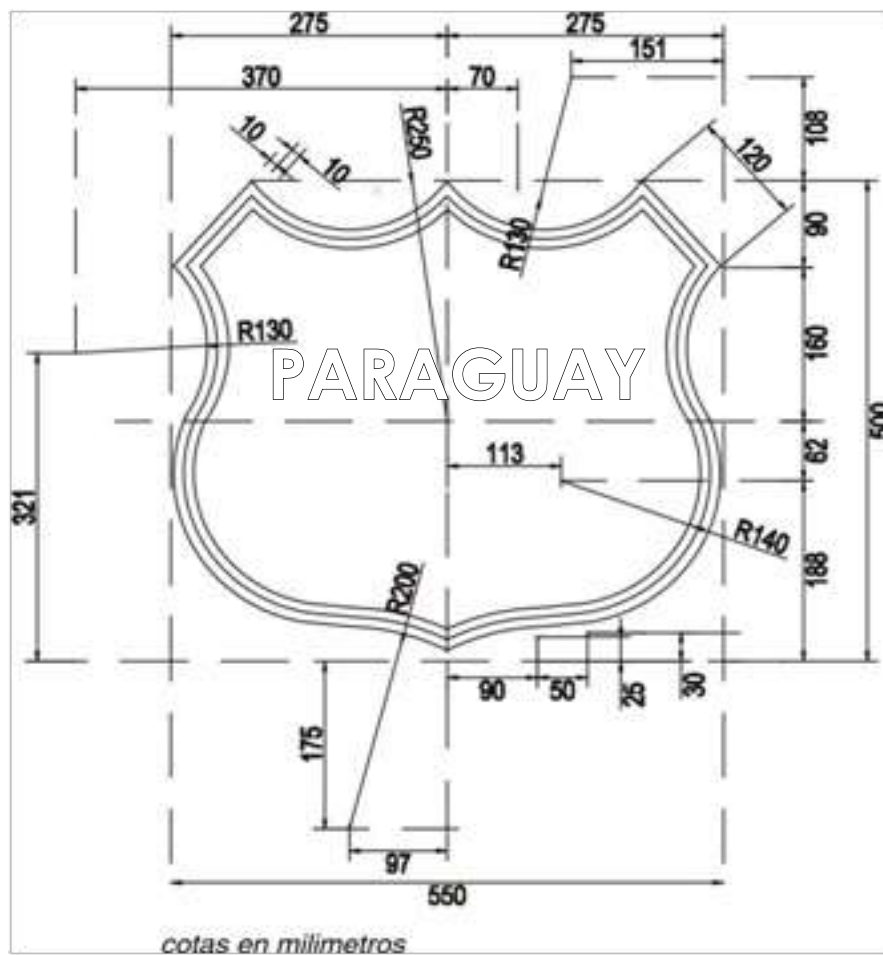
B. SEÑALES INFORMATIVAS DIMENSIONES DE CUADRÍCULA



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)		
	CUADRÍCULA	FLECHA	ALFABETO
60,00	C = 1,00	A = 5,00	C - 10
75,00	C = 1,25	A = 6,00	C - 12,5
90,00	C = 1,50	A = 7,50	C - 15
120,00	C = 2,00	A = 10,00	C - 20

C. SEÑALES INFORMATIVAS DE NOMENCLATURA VIAL Y URBANA, DESTINOS Y DISTANCIAS

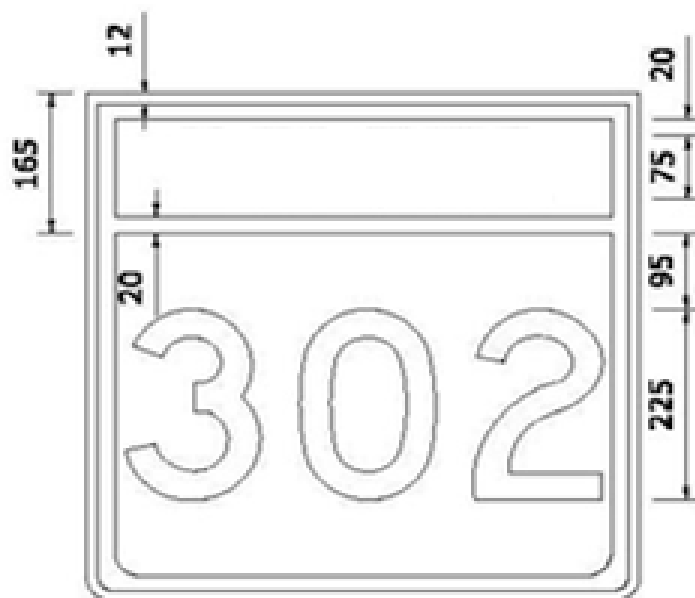
C.1. I-01: RUTA DE LA RED PRIMARIA



C.2. I-02: RUTA DE LA RED SECUNDARIA



C.3. I-03: RUTA DE LA RED TERCIARIA



COTAS EN MILIMETROS

C.4. I-04: NOMBRE Y NUMERACIÓN DE CALLES

Cotas en milímetros



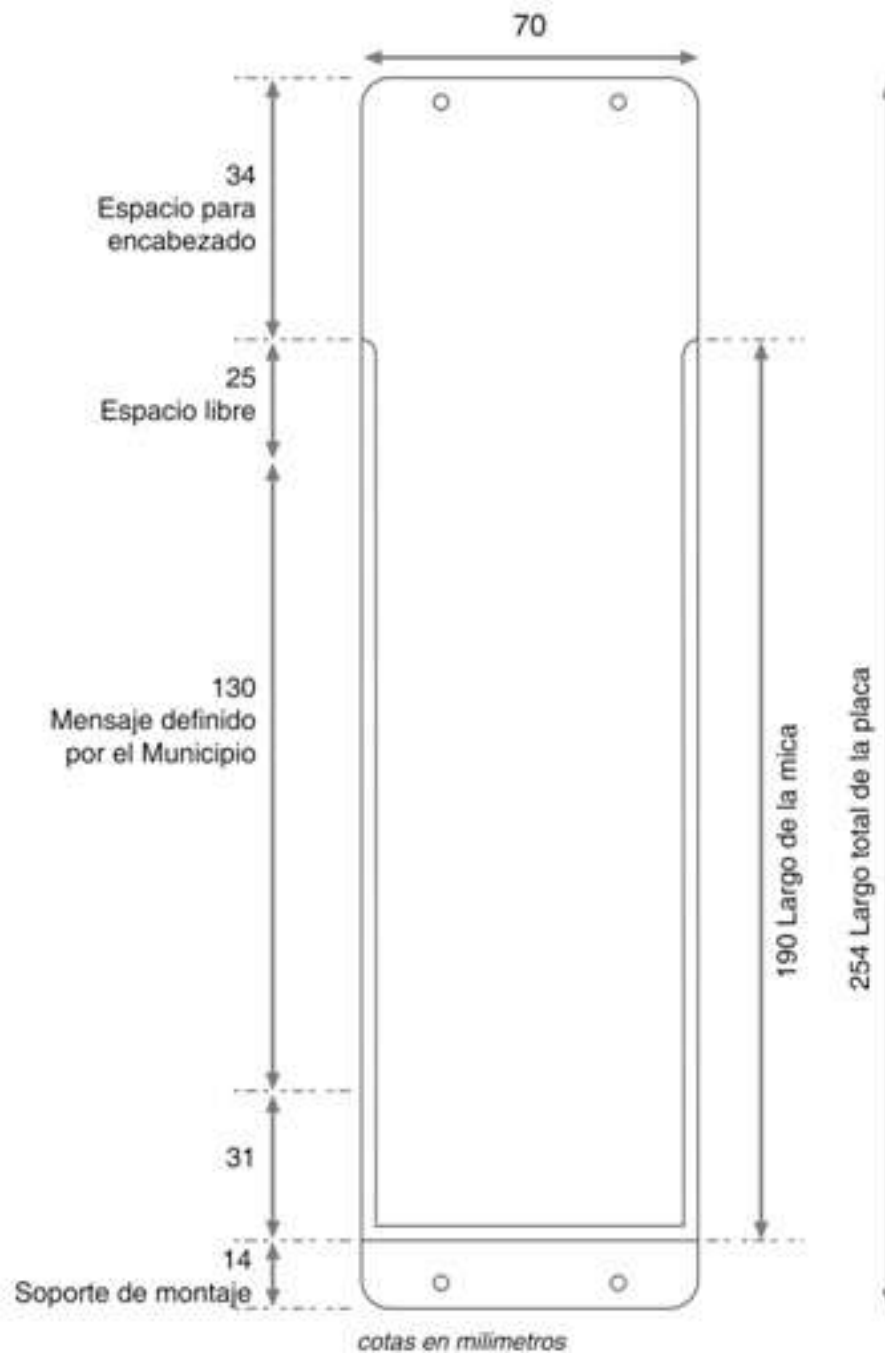


Figura 3.3.2_81.PLACA COMPLEMENTARIA A LA SEÑAL I-04,PARA NO VIDENTES



C.5. I-05: AVISO PREVIO (PRESEÑALIZACIÓN)

PARA DIAGRAMACIÓN VER FIGURA 3.3.2_18.

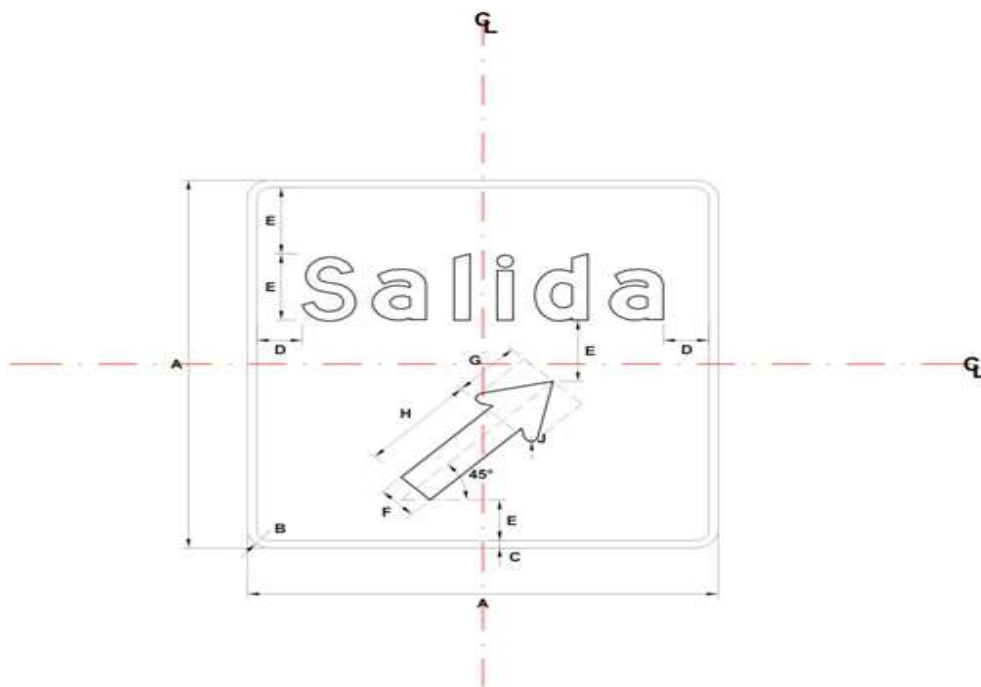


C.6. I-06: DIRECCIÓN

PARA DIAGRAMACIÓN VER Figura 3.3.2_18



C.7. I-07: SALIDA INMEDIATA (AUTOPISTAS Y AUTOVÍAS)



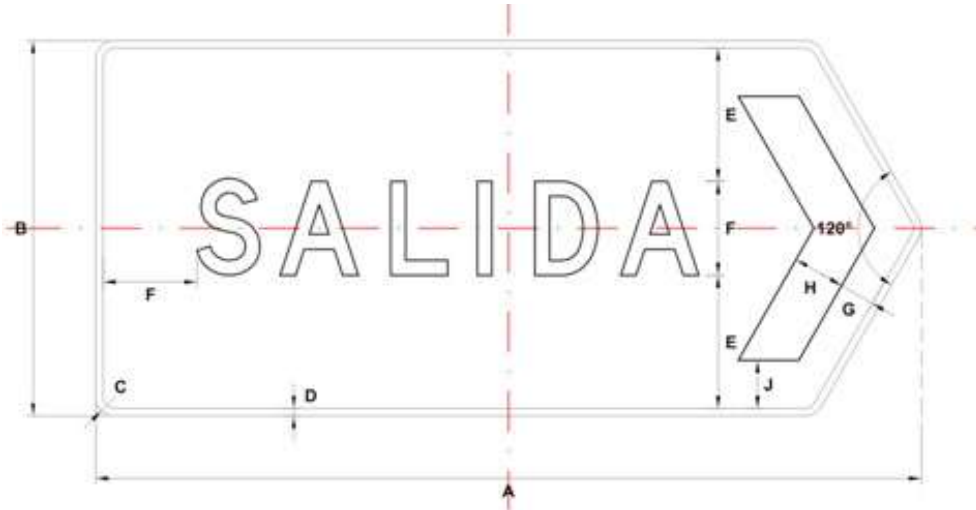
DIMENSION SEÑAL	DIMENSIONES (MILIMETROS)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	J
≤ A 50 Km/h	1000	50	20	98	166	86	153	260	15
60 A 70 Km/h	1000	50	20	98	166	86	153	260	15
80 A 90 Km/h	1000	50	20	98	166	86	153	260	15
> A 90 Km/h	1000	50	20	98	166	86	153	260	15

COLORES		
PICTOGRAMA	BLANCO	MATERIAL REFLECTIVO
ORLA	BLANCO	MATERIAL REFLECTIVO
FONDO PLACA	AZUL	MATERIAL REFLECTIVO

DIMENSIÓN SEÑAL	DIMENSIONES (cm)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	J
< A 50 Km/h	60,00	3,00	1,20	5,81	9,96	5,16	9,18	15,60	0,90
60 A 70 Km/h	75,00	3,80	1,50	7,30	12,50	6,50	11,50	19,50	1,10
80 A 90 Km/h	90,00	4,50	1,80	8,70	14,90	7,70	13,80	23,40	1,40
> A 90 Km/h	120,00	6,00	2,40	11,60	19,90	10,30	18,40	31,20	1,80

COLORES		
PICTOGRAMA	BLANCO	MATERIAL REFLECTIVO
ORLA	BLANCO	MATERIAL REFLECTIVO
FONDO PLACA	AZUL	MATERIAL REFLECTIVO

C.8. I-08: SALIDA INMEDIATA (CARRETERAS CONVENCIONALES)

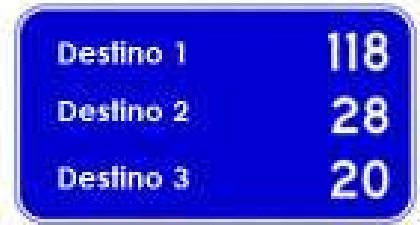


DIMENSIÓN SEÑAL	DIMENSIONES (cm)								
	A	B	C	D	E	F	G	H	J
< A 50 Km/h	132,00	60,00	3,00	1,20	21,00	15,00	5,70	8,40	7,68
60 A 70 Km/h	165,00	75,00	3,80	1,50	26,30	18,80	7,10	10,50	9,60
80 A 90 Km/h	198,00	90,00	4,50	1,80	31,50	22,50	8,60	12,60	11,50
> A 90 Km/h	264,00	120,00	6,00	2,40	42,00	30,00	11,40	16,80	15,40

COLORES		
LEYENDA	BLANCO	MATERIAL REFLECTIVO
ORLA	BLANCO	MATERIAL REFLECTIVO
FONDO PLACA	AZUL	MATERIAL REFLECTIVO

C.9. I-09: CONFIRMACIÓN (AUTOPISTAS Y AUTOVÍAS)

PARA DIAGRAMACIÓN VER Figura 3.3.2_18

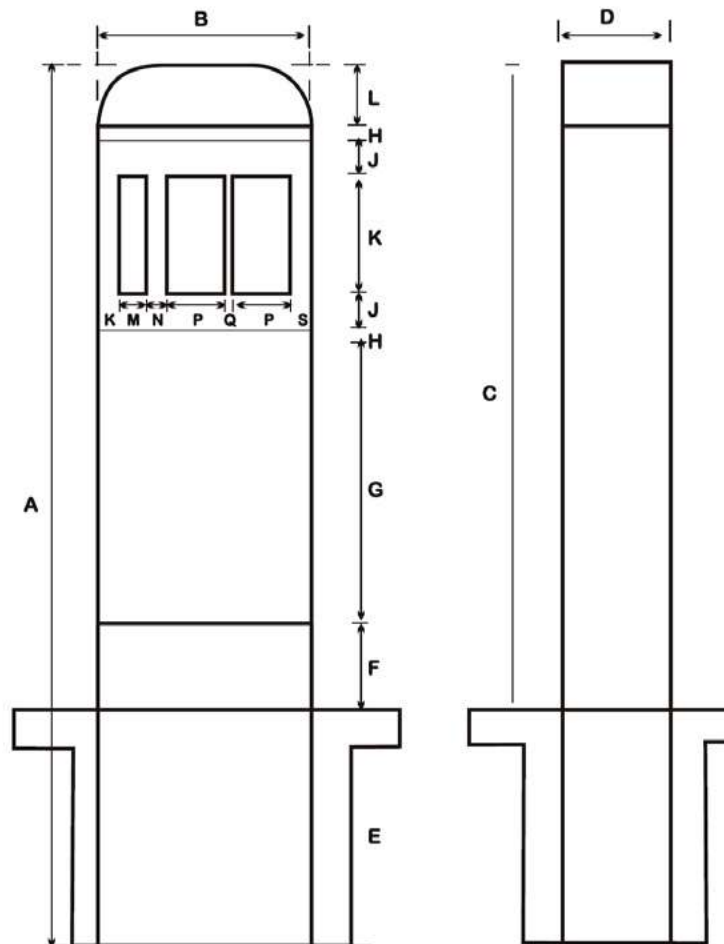
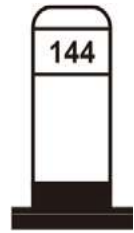


105.03.3 (j) I-10: CONFIRMACIÓN (CARRETERAS CONVENCIONALES)



PARA DIAGRAMACIÓN VER Figura 3.3.2_18

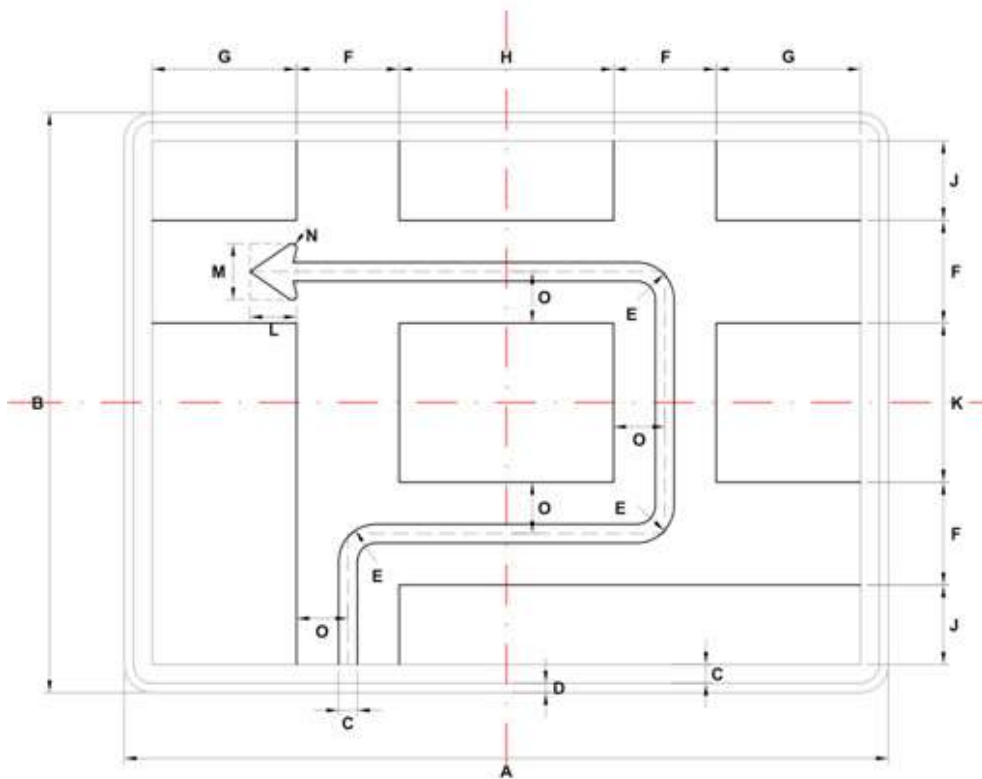
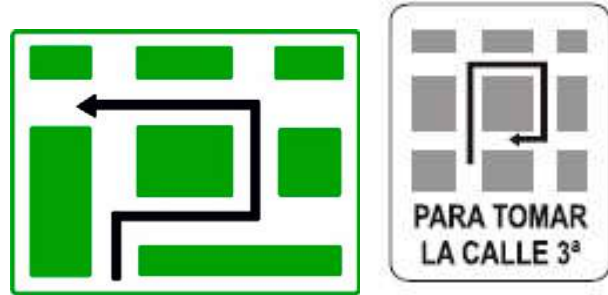
C.10. I-11: MOJÓN KILOMÉTRICO



COLOR		ALFABETO
FONDO	BLANCO	
ZÓCALO/LÍNEAS	NEGRO	B - 15
NÚMEROS	NEGRO	

DIMENSIONES (cm)																
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	R	S
110,00	26,00	80,00	13,00	30,00	11,00	35,00	2,00	4,00	15,00	7,00	3,10	2,29	7,39	0,76	2,54	2,53

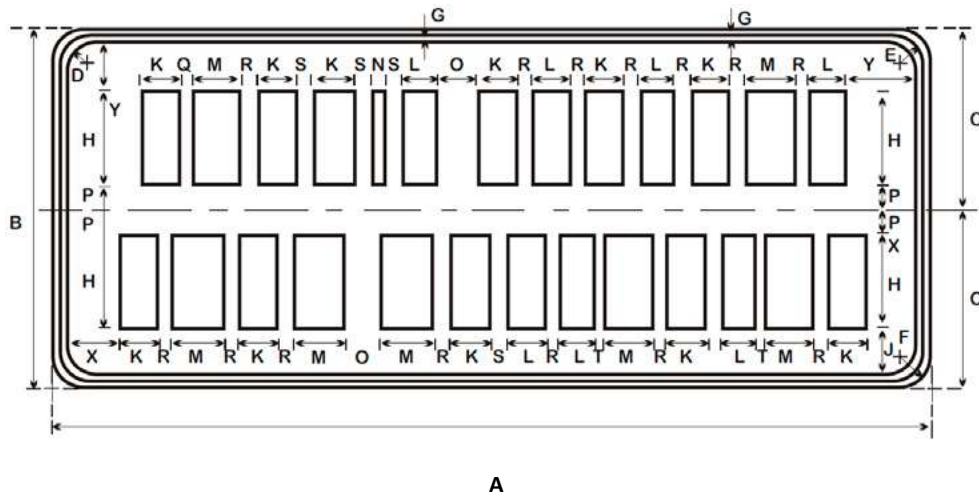
C.11. I-12: DESCRIPCIÓN DE GIROS



DIMENSIÓN SEÑAL	DIMENSIONES (cm)													
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	O
< A 50 Km/h	79,35	60,00	1,94	0,97	3,87	10,65	15,00	22,26	8,23	16,45	4,84	5,81	0,48	5,32
60 A 70 Km/h	99,20	75,00	2,40	1,20	4,80	13,30	18,80	27,80	10,30	20,60	6,10	7,30	0,60	6,70
80 A 90 Km/h	119,00	90,00	2,90	1,50	5,80	16,00	22,50	33,40	12,30	24,70	7,30	8,70	0,70	8,00
, > A 90 Km/h	158,70	120,00	3,90	1,90	7,70	21,30	30,00	44,50	16,50	32,90	9,70	11,60	1,00	10,60

COLORES		
PICTOGRAMA	NEGRO	MATERIAL NO REFLECTIVO
ORLA	BLANCO	MATERIAL REFLECTIVO
FONDO PLACA	VERDE	MATERIAL REFLECTIVO

C.12. I-13SEGURIDAD VIAL

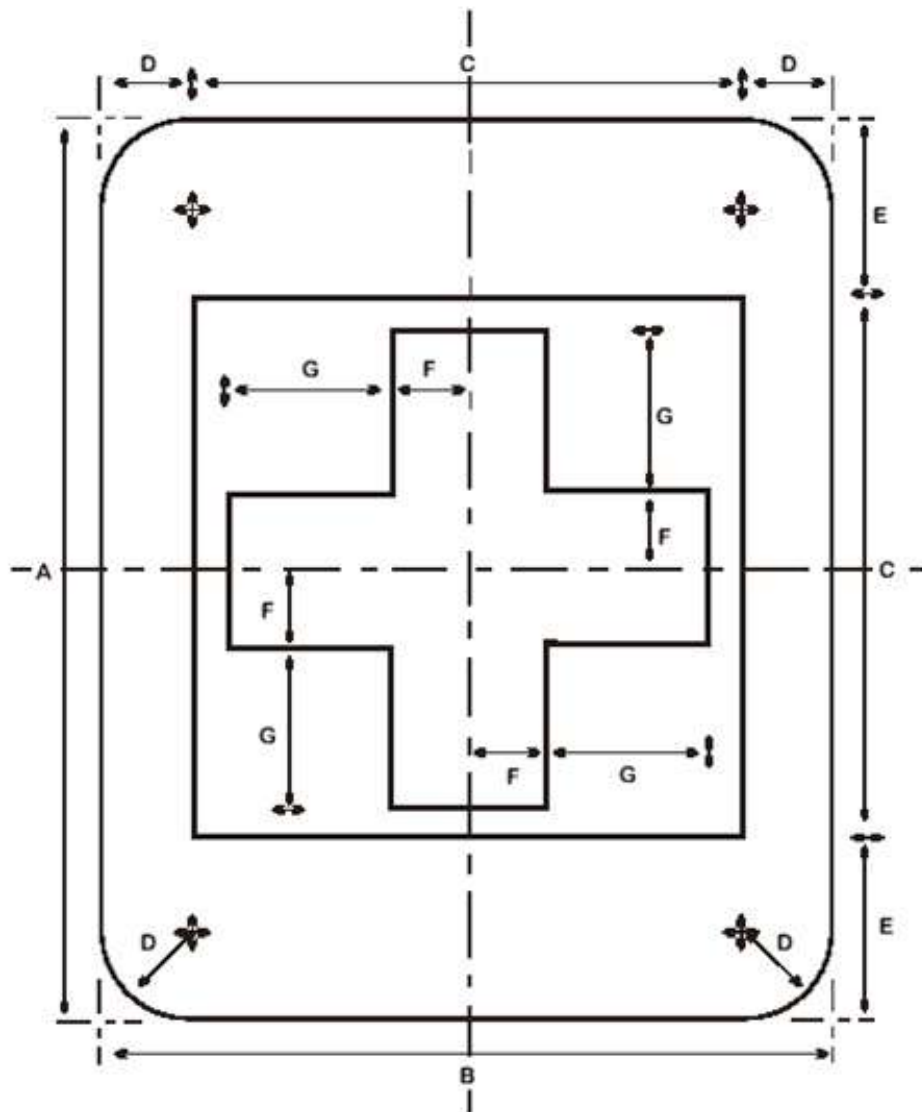


DIMENSIONES (cm)											
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M
128.70	57.50	28.75	2.50	3.75	5.00	1.25	15.00	7.50	6.00	5.60	7.50

DIMENSIONES (cm)									
N	O	P	Q	R	S	T	X	Y	ALFABETO
1.80	7.50	3.75	1.00	1.60	1.90	0.60	8.00	11.55	C – 15

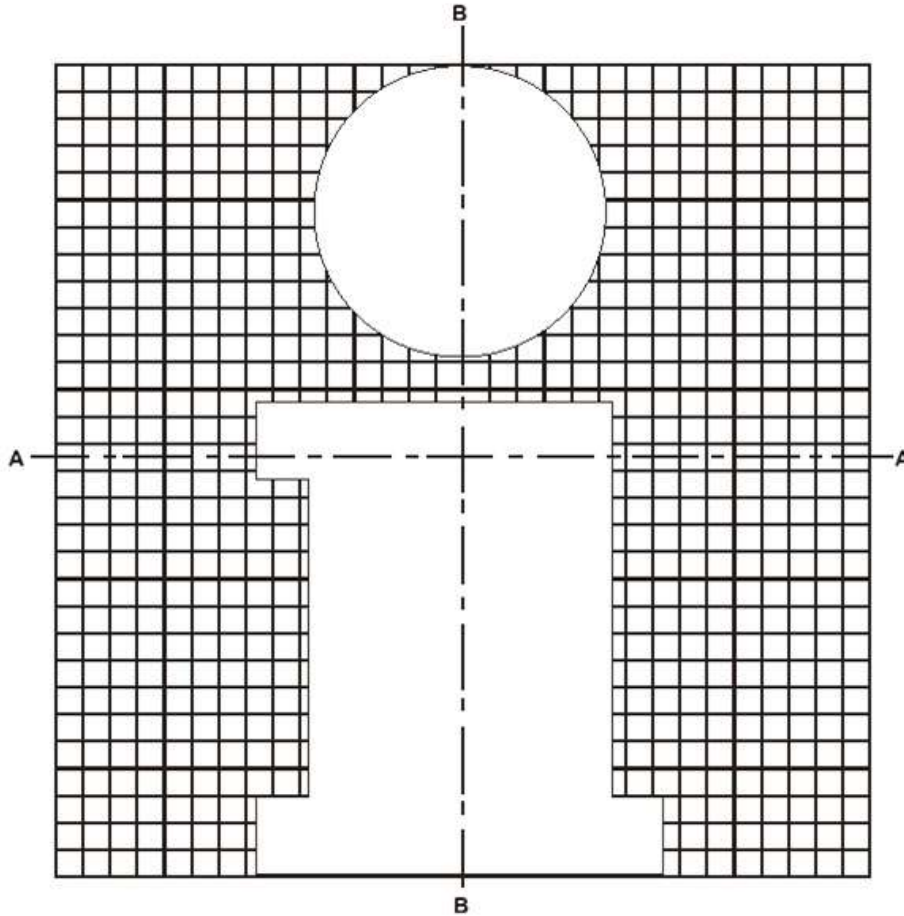
D. SEÑALES INFORMATIVAS DE SERVICIOS AL USUARIO

D.1. I-14: PRIMEROS AUXILIOS

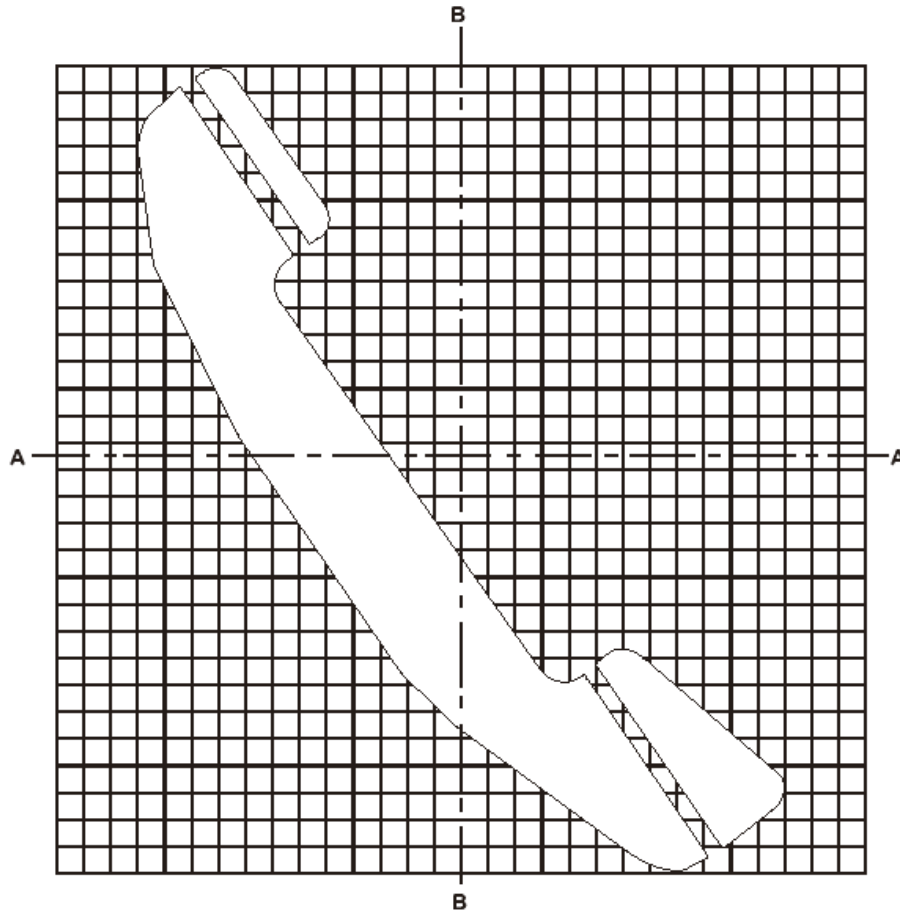


SEÑAL	DIMENSIONES (cm)							COLOR	
	A	B	C	D	E	F	G	FONDO	AZUL
60,00	60,00	50,00	35,00	7,50	12,50	5,00	10,00	SÍMBOLO	ROJO
75,00	75,00	62,50	43,80	9,40	15,60	6,30	12,50	CUADRO INTERIOR	BLANCO

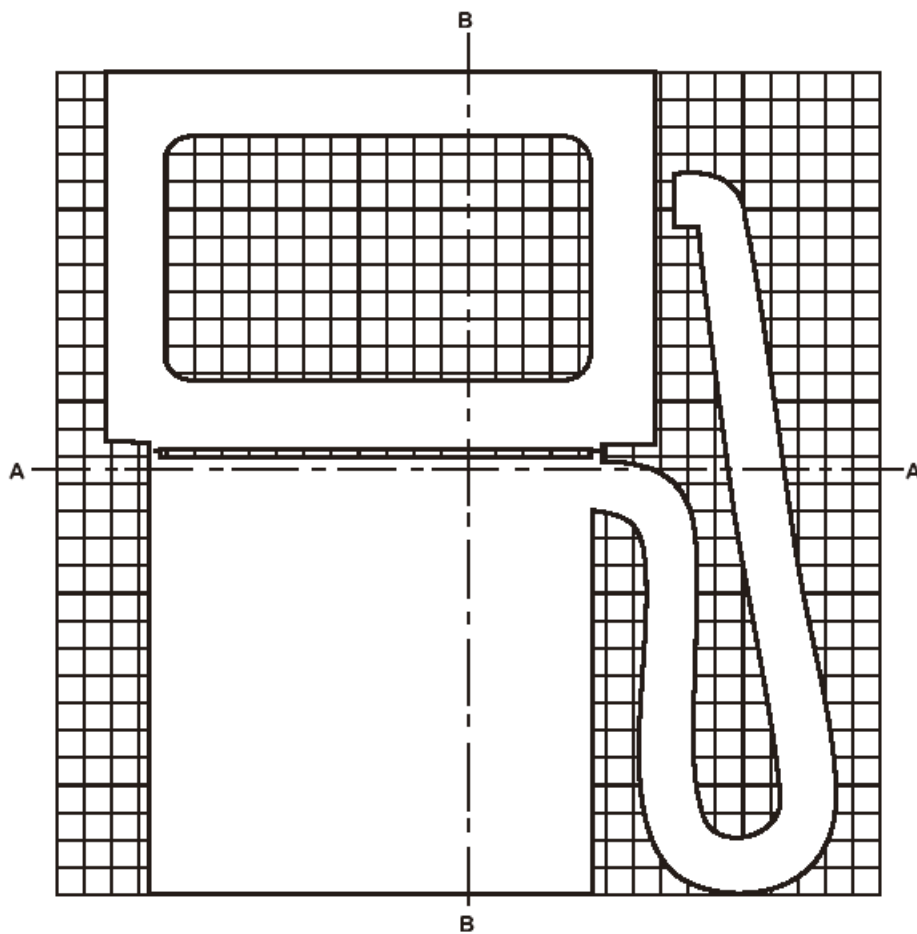
D.2. I-15: PUNTO DE INFORMACIÓN TURÍSTICA



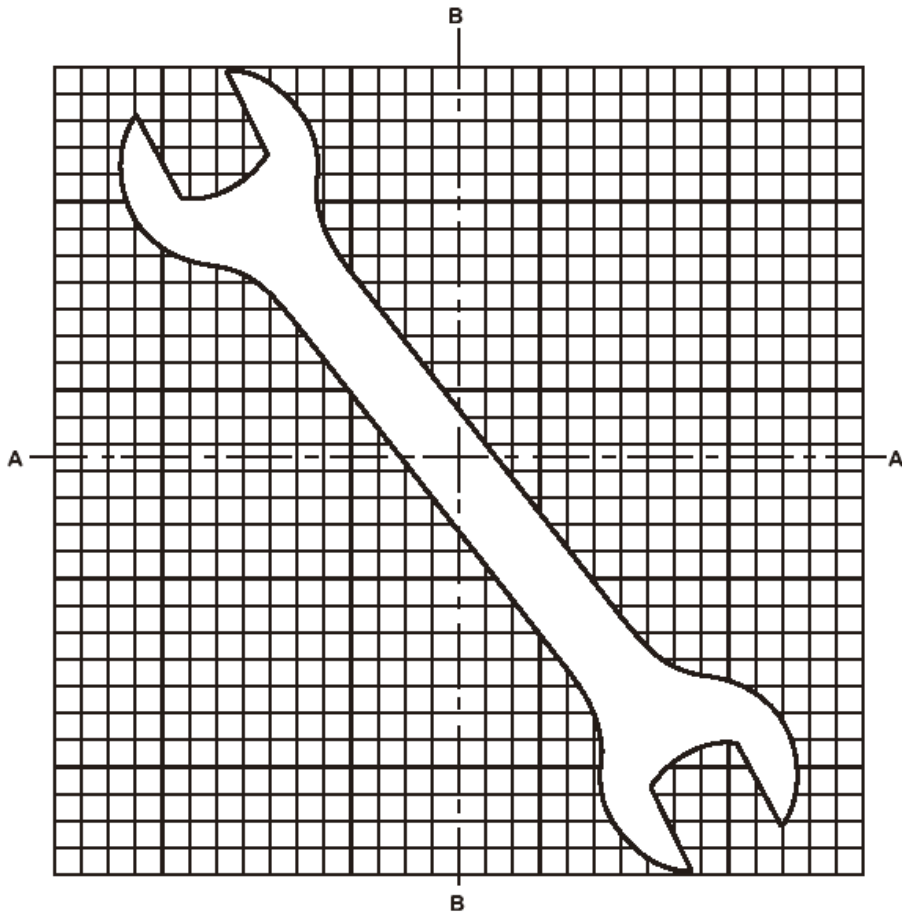
D.3. I-16: TELÉFONO



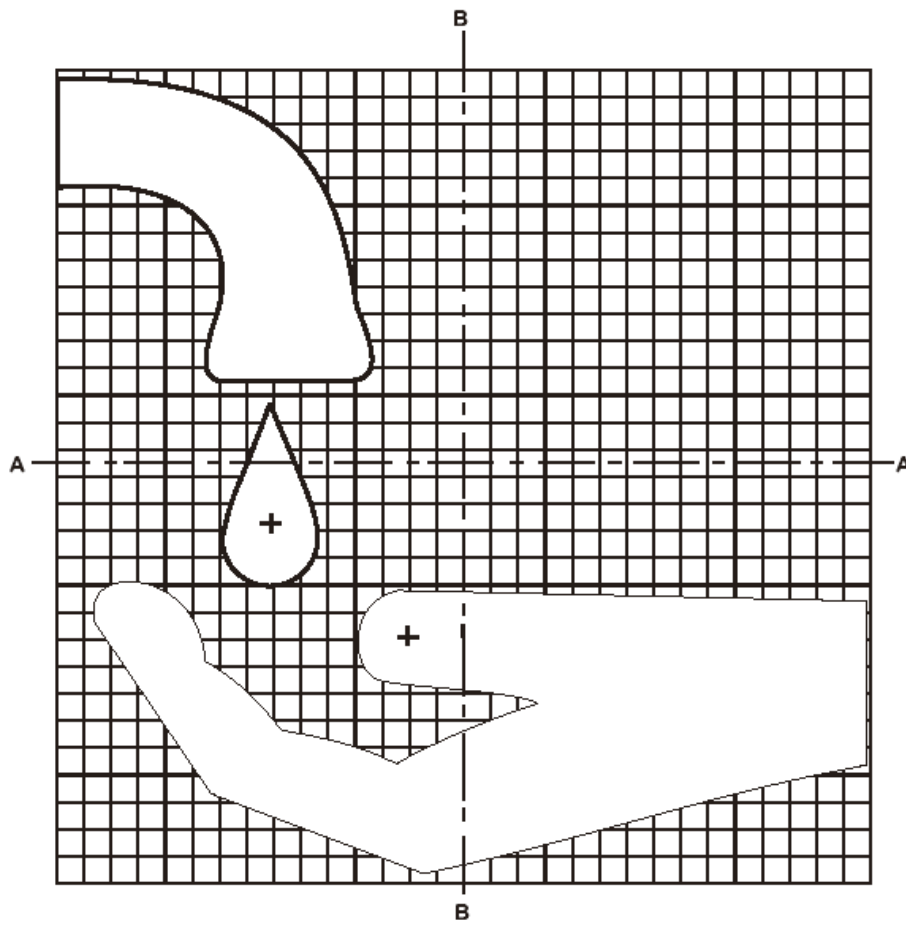
D.4. I-17: ESTACIÓN DE SERVICIO



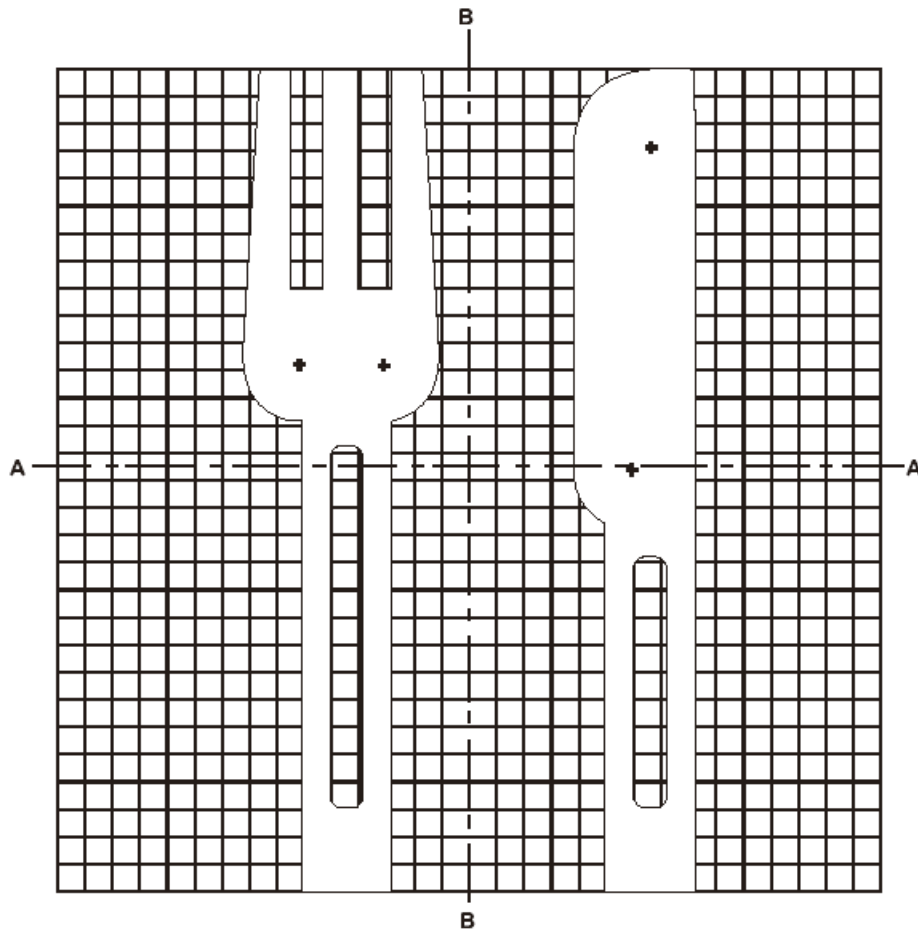
D.5. I-18: SERVICIO MECÁNICO



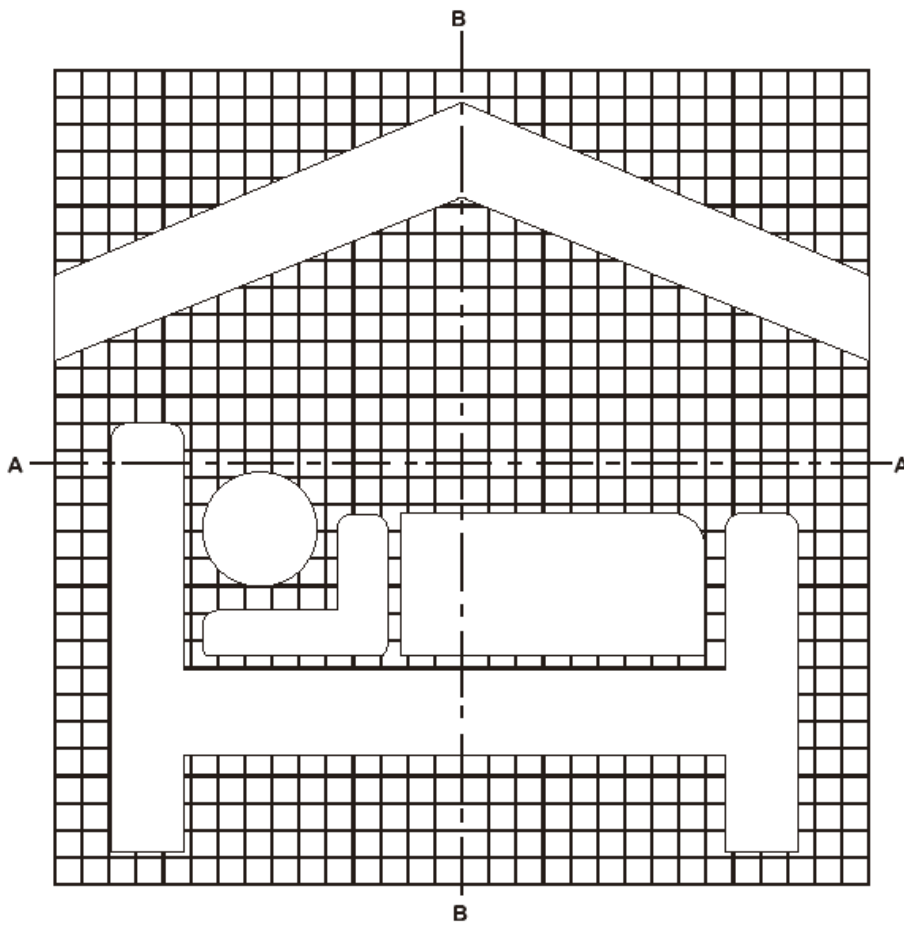
D.6. I-19: SERVICIOS HIGIÉNICOS



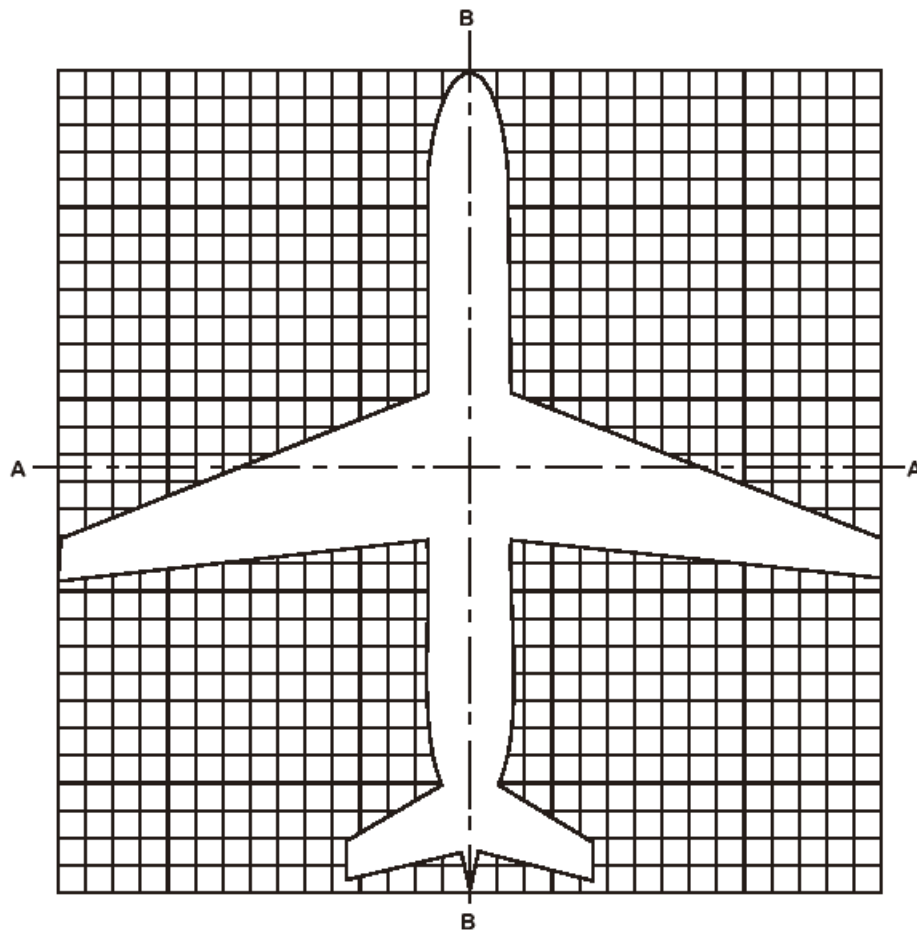
D.7. I-20: ALIMENTACIÓN



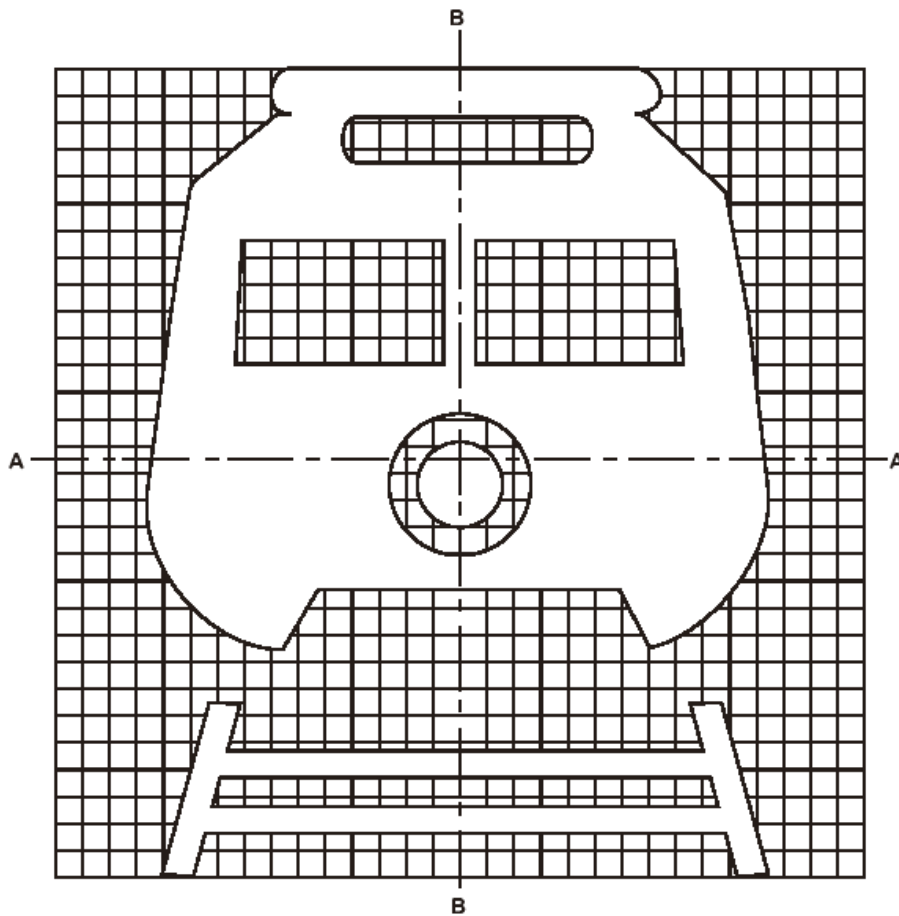
D.8. I-21: HOSPEDAJE



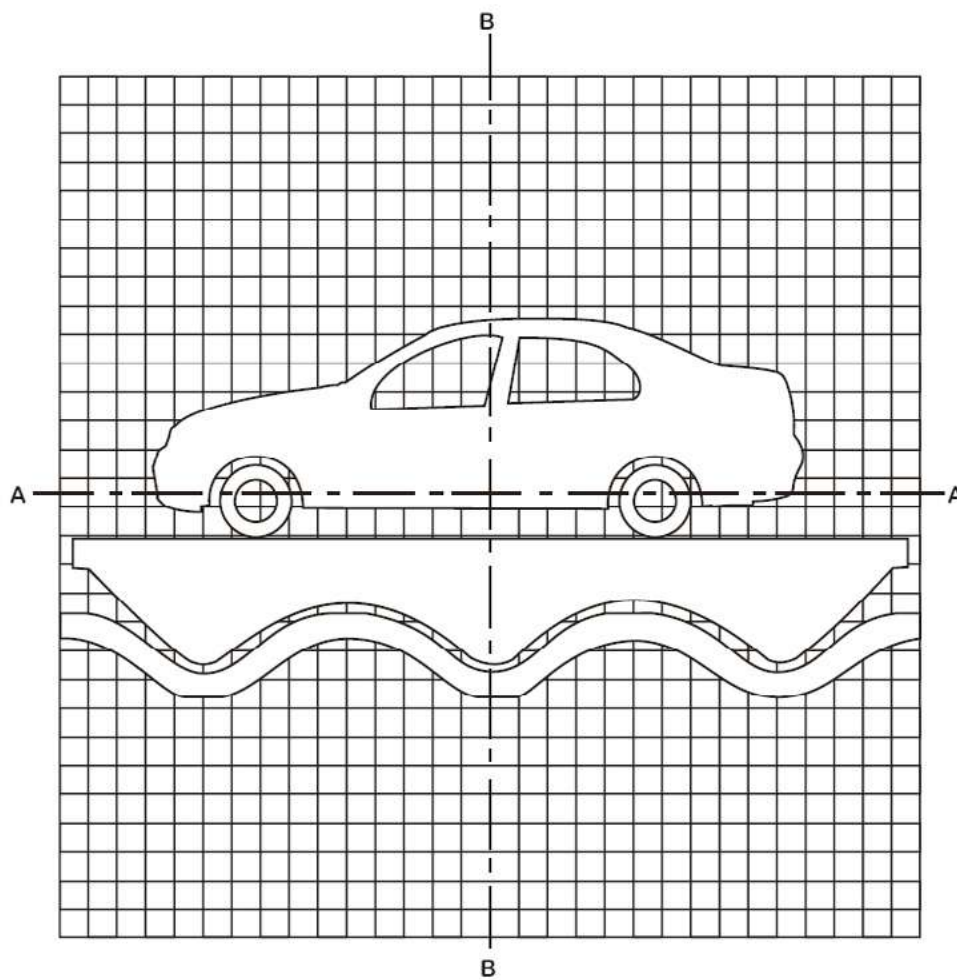
D.9. I-22: AEROPUERTO



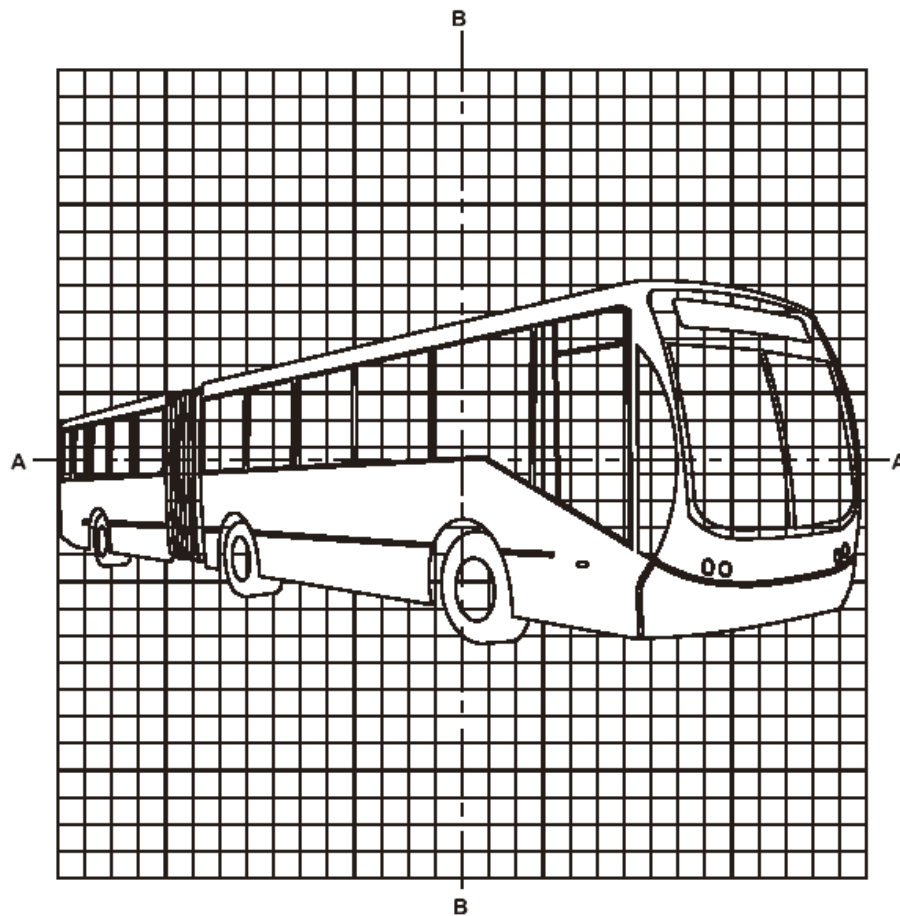
D.10. I-23: ESTACIÓN DE FERROCARRILES



D.11. I-24: TRANSBORDADOR

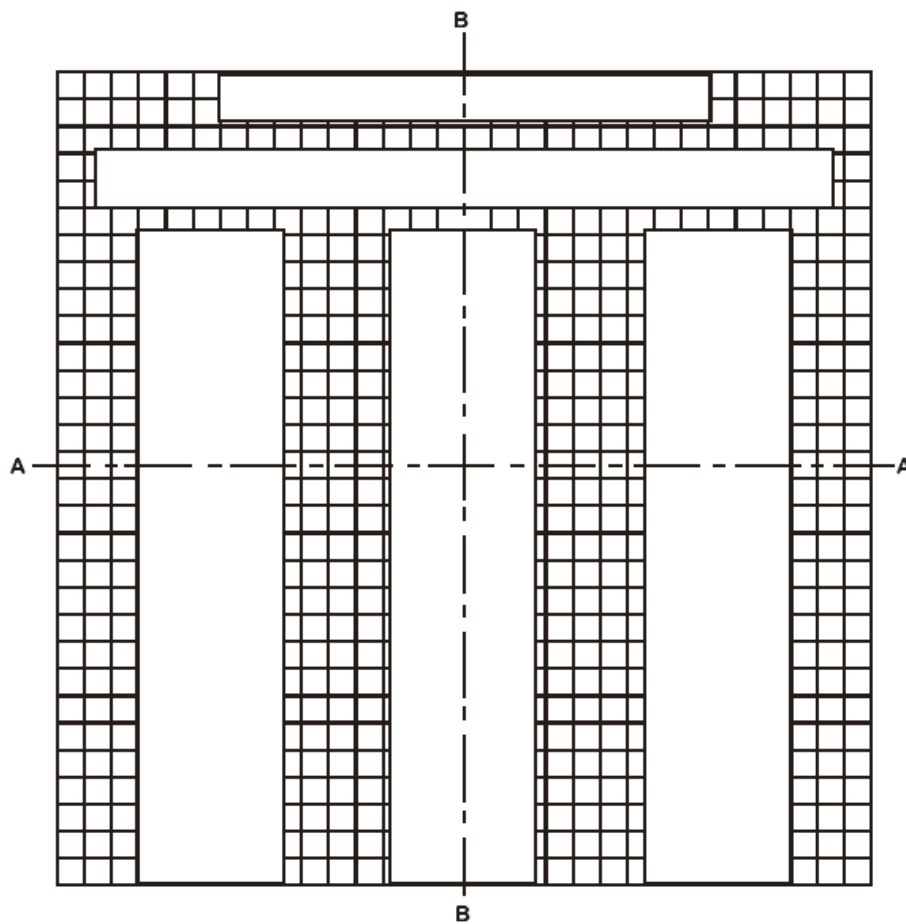


D.12. I-25: TRANSPORTE MASIVO

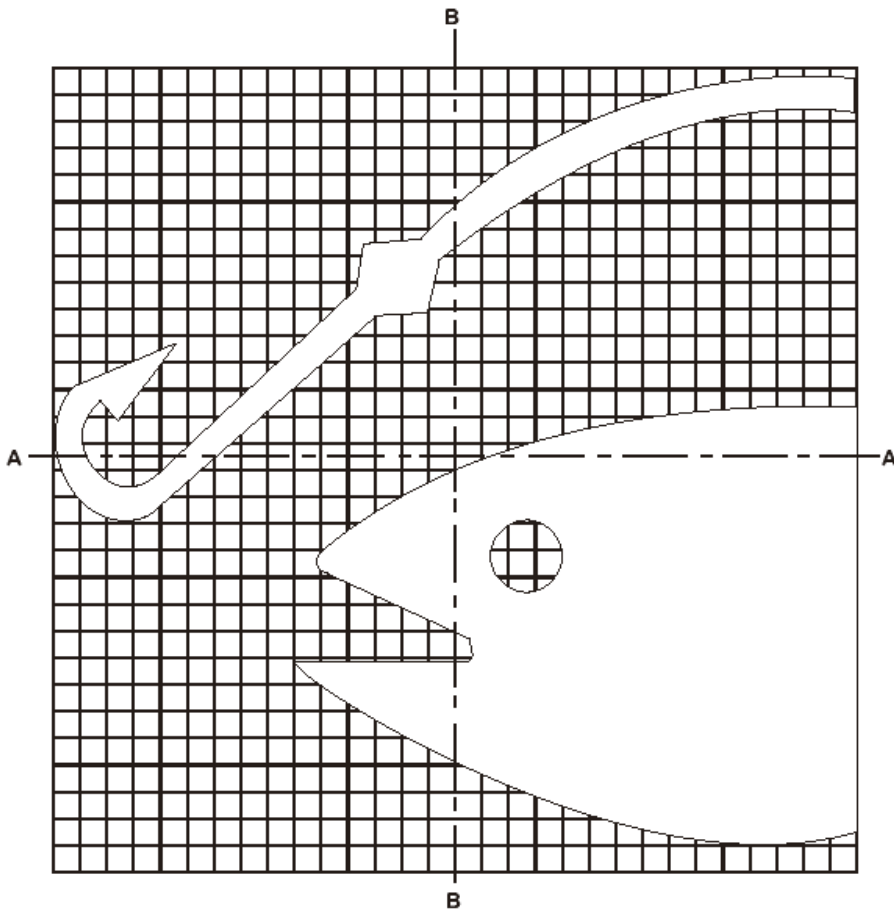


E. SEÑALES INFORMATIVAS DE ATRACTIVOS TURÍSTICOS

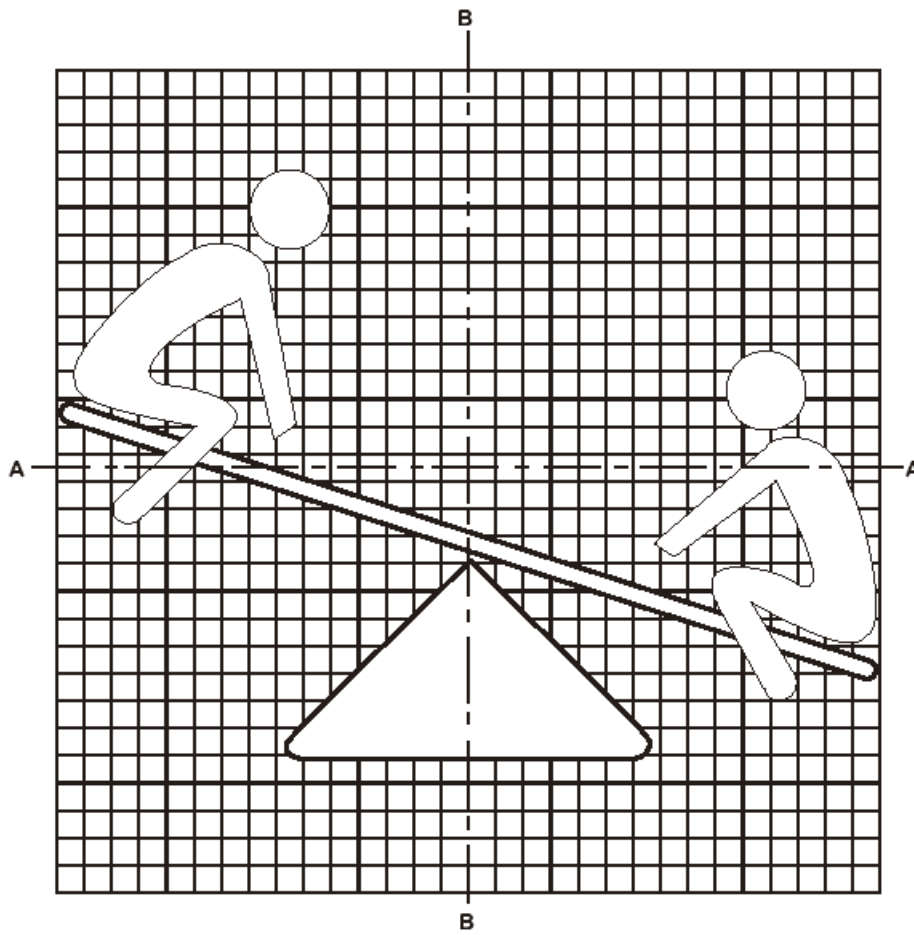
E.1. I-26: MUSEO



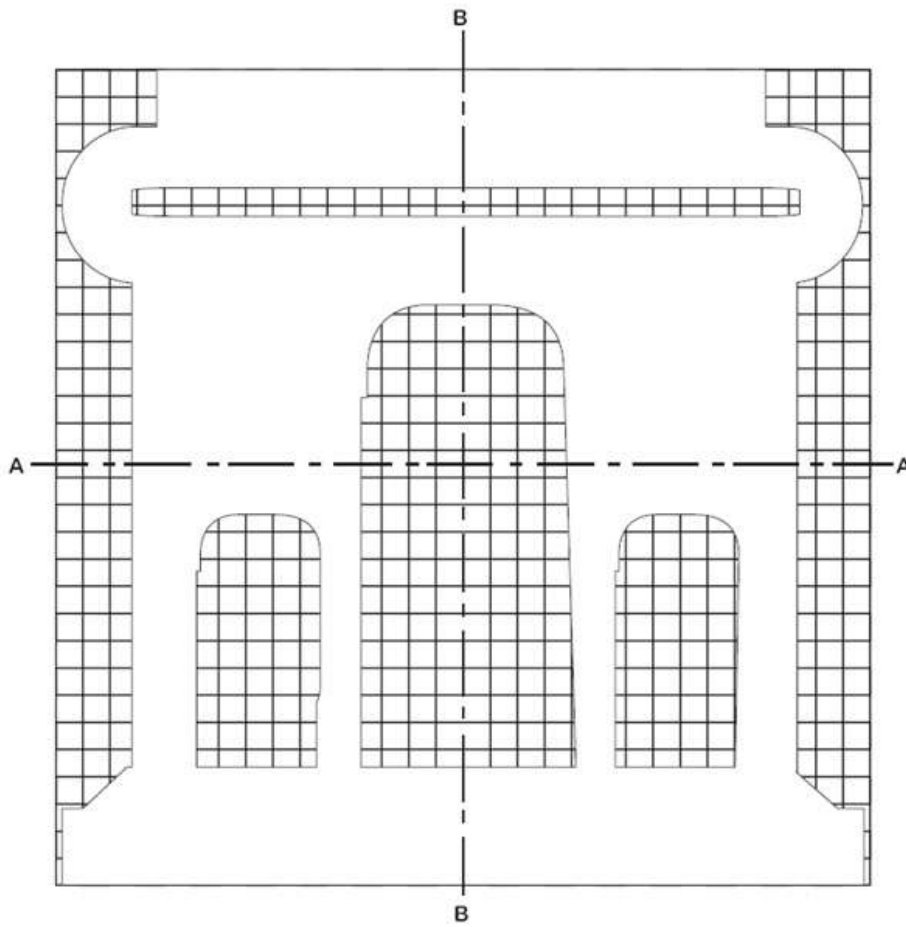
E.2. I-27: PESCA



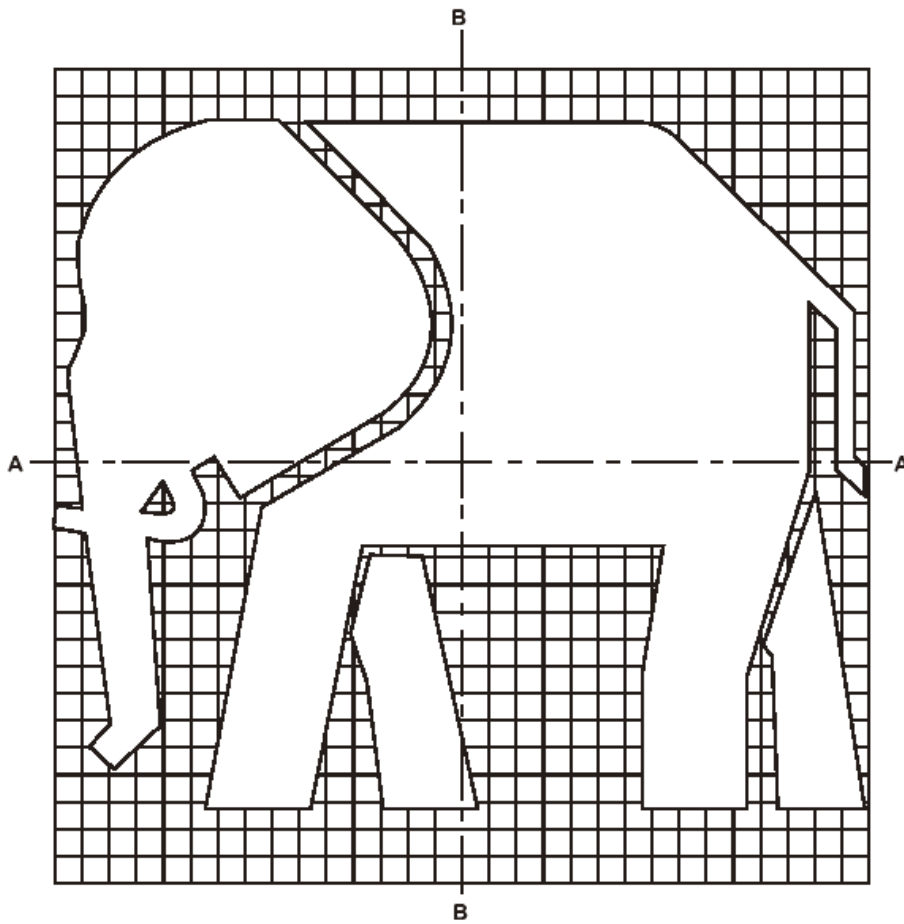
E.3. I-28: JUEGOS INFANTILES



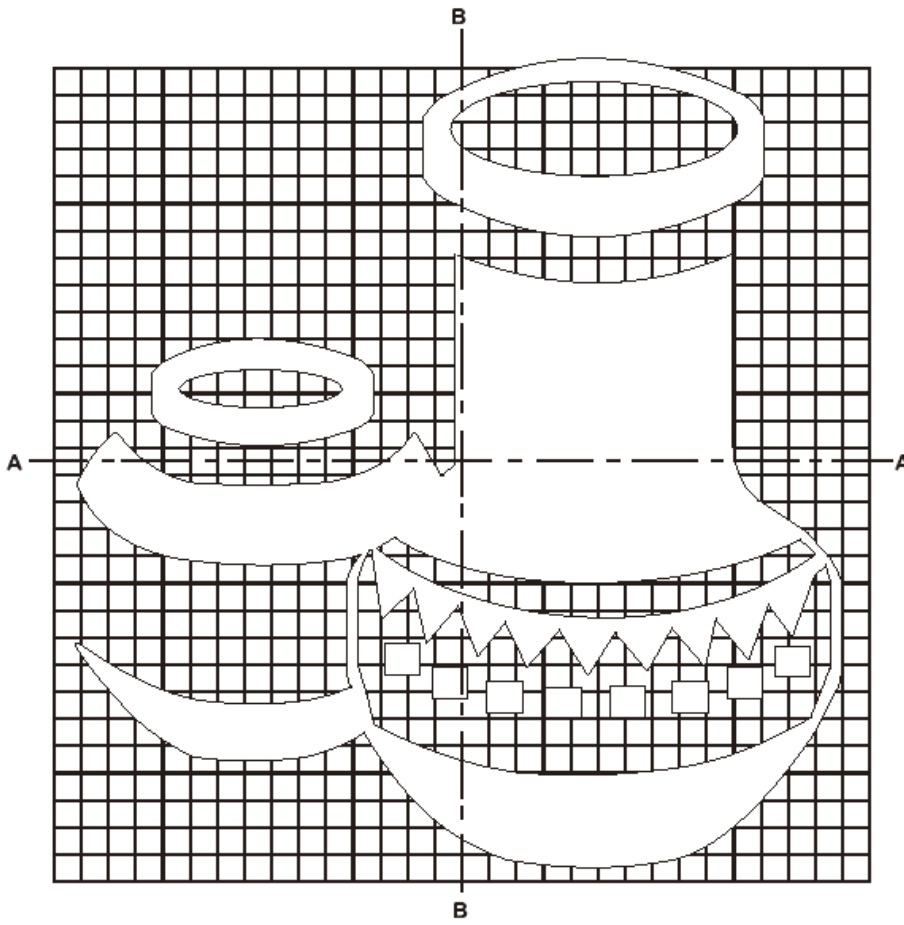
E.4. I-29: MONUMENTO NACIONAL



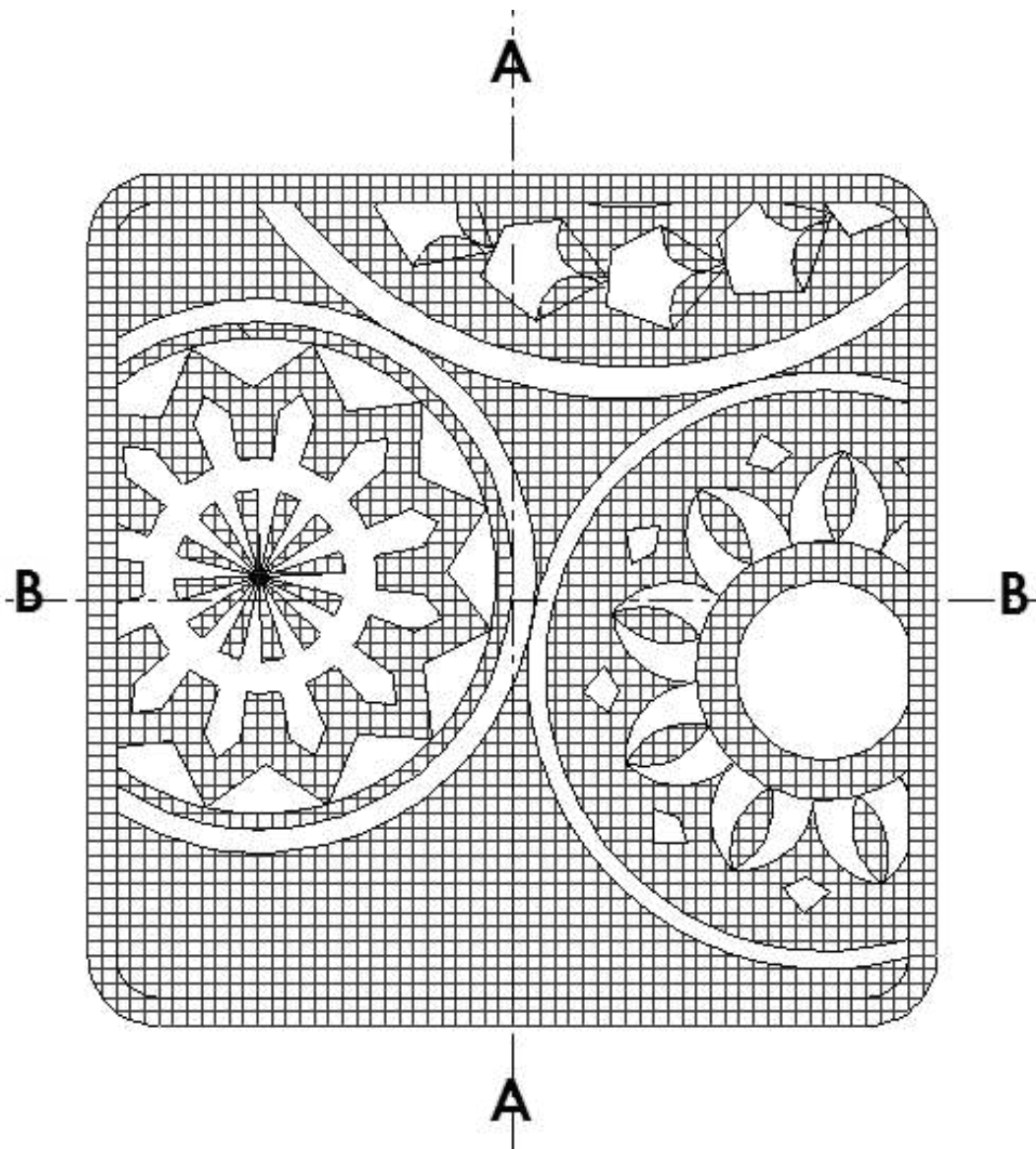
E.5. I-30: ZOOLOGICO



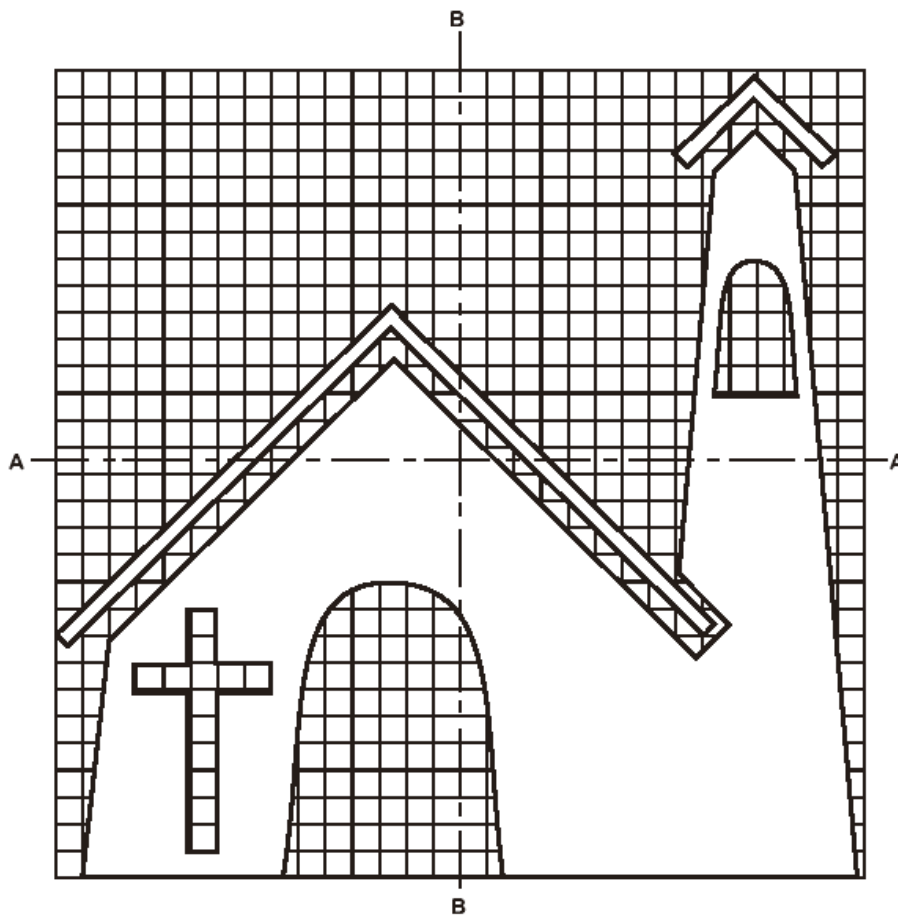
E.6. I-31: ARTESANÍAS



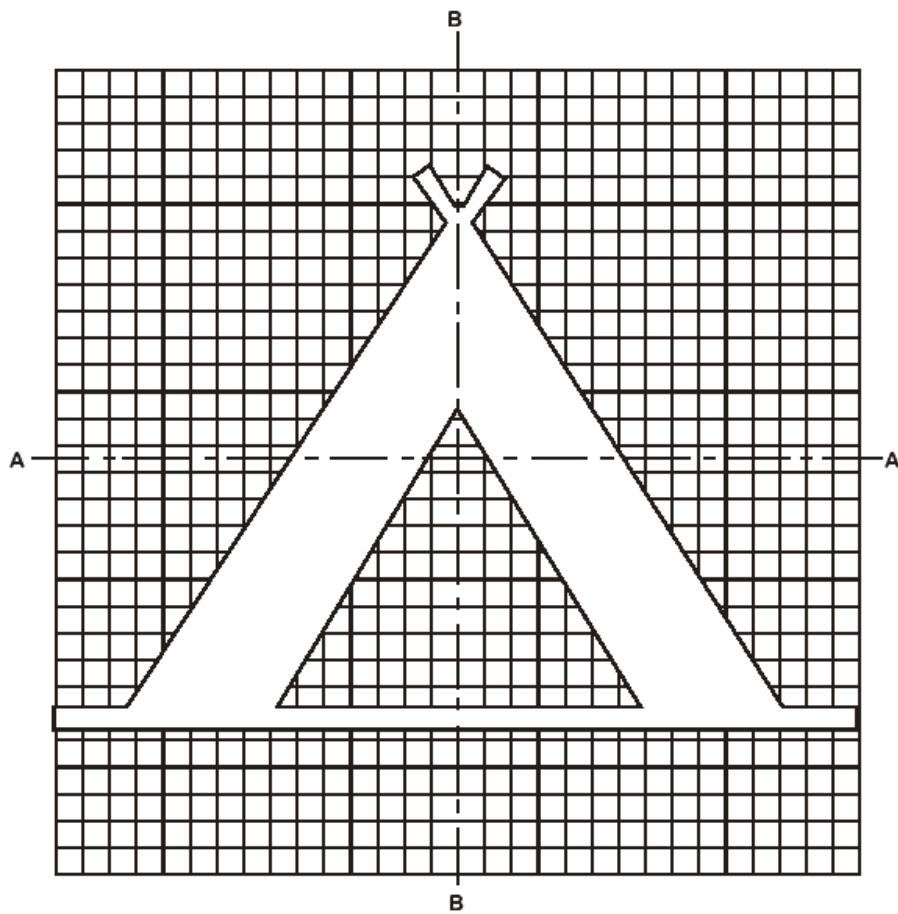
E.7. I-31: ARTESANÍAS (SEÑAL ALTERNA)



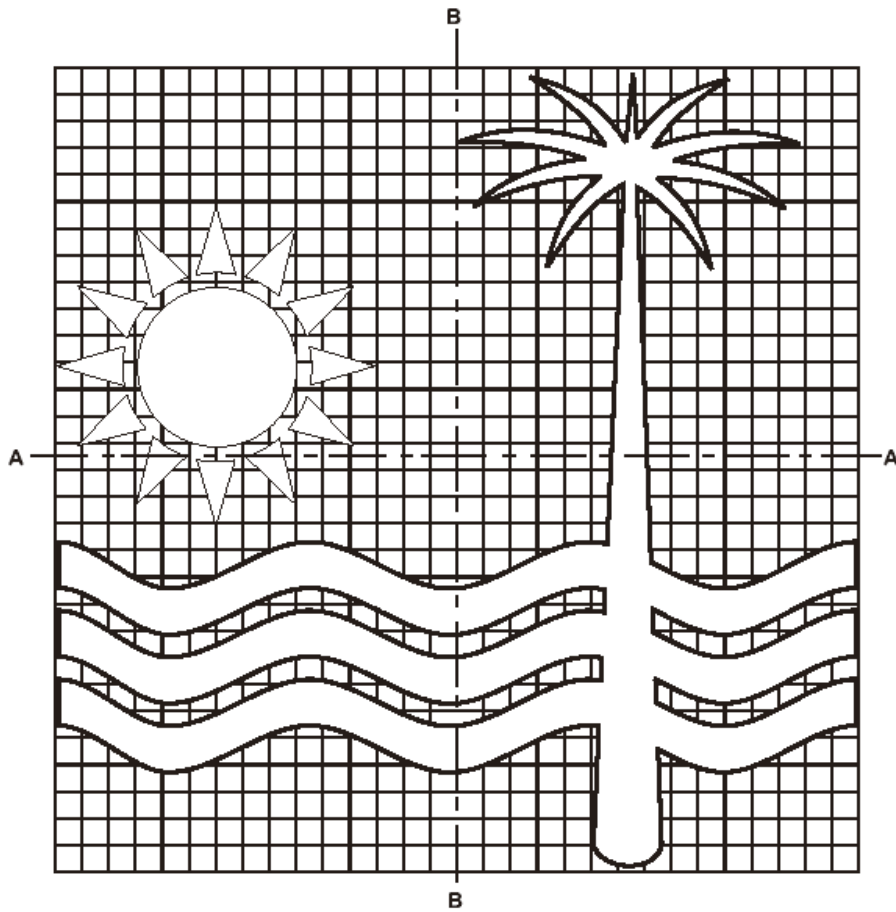
E.8. I-32: IGLESIA



E.9.I-33: ZONA DE CAMPING

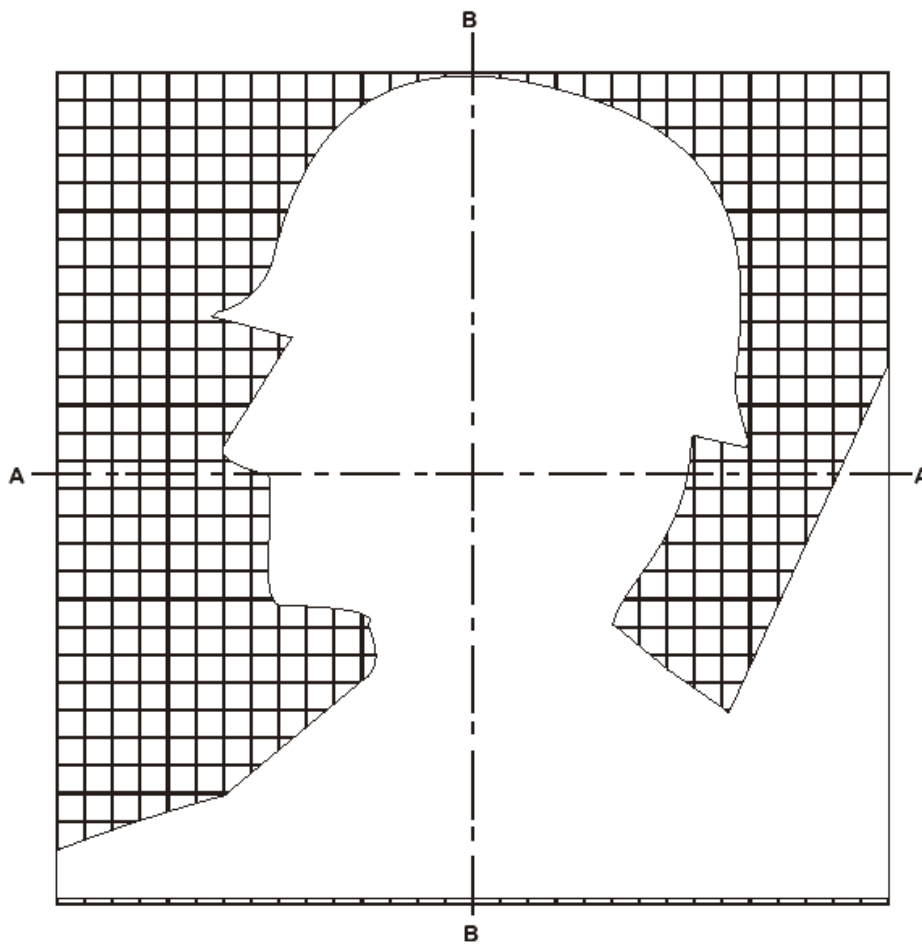


E.10. I-34: PLAYA



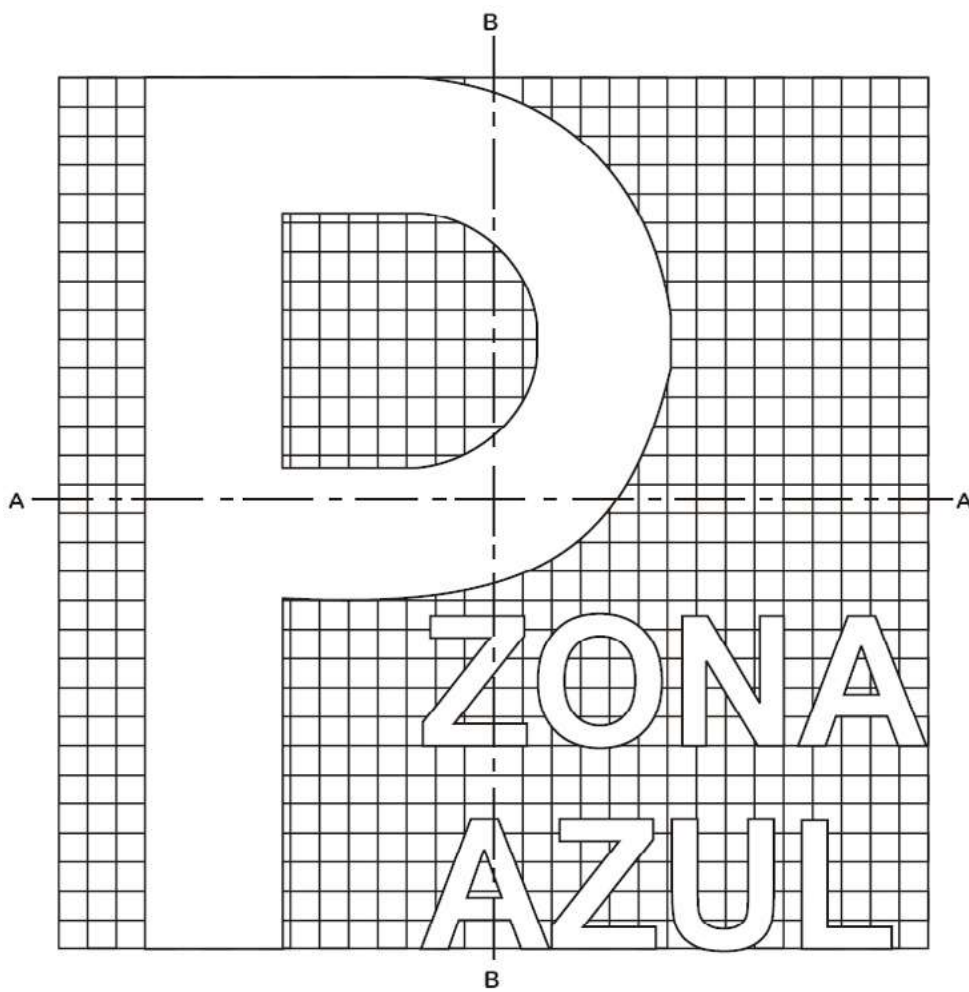
F. SEÑALES INFORMATIVAS DE ORDEN INSTITUCIONAL

F.1. I-35: ZONA MILITAR

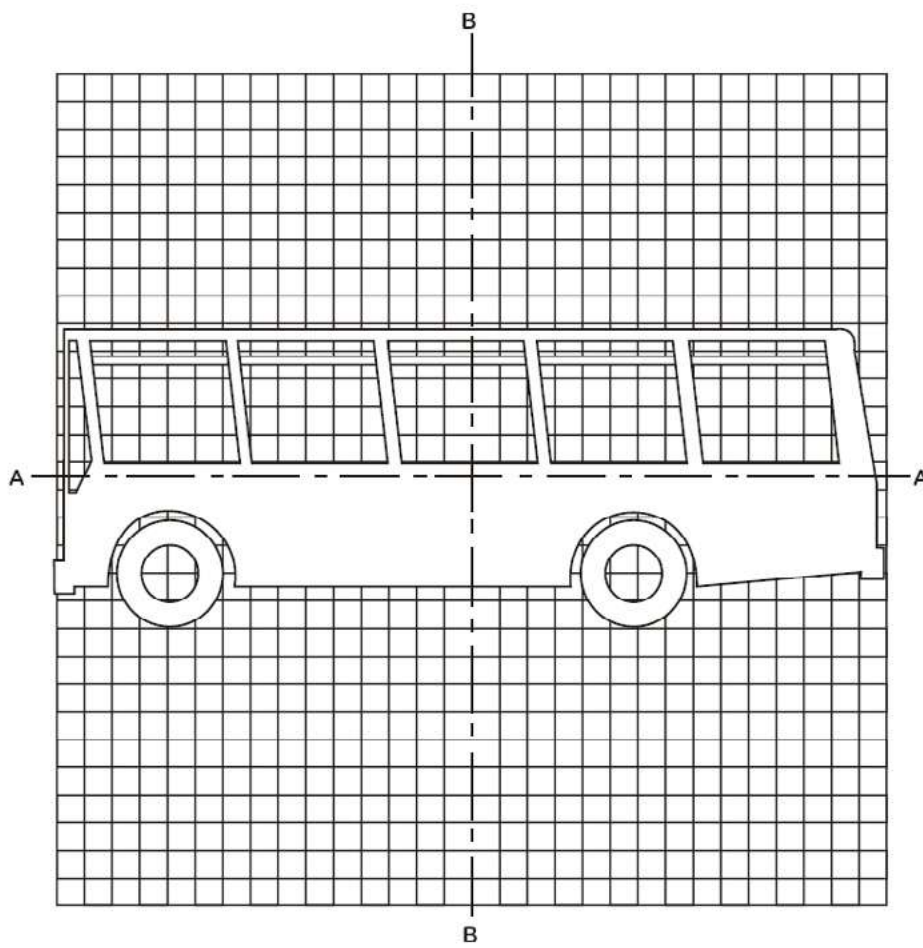


G. OTRAS SEÑALES INFORMATIVAS

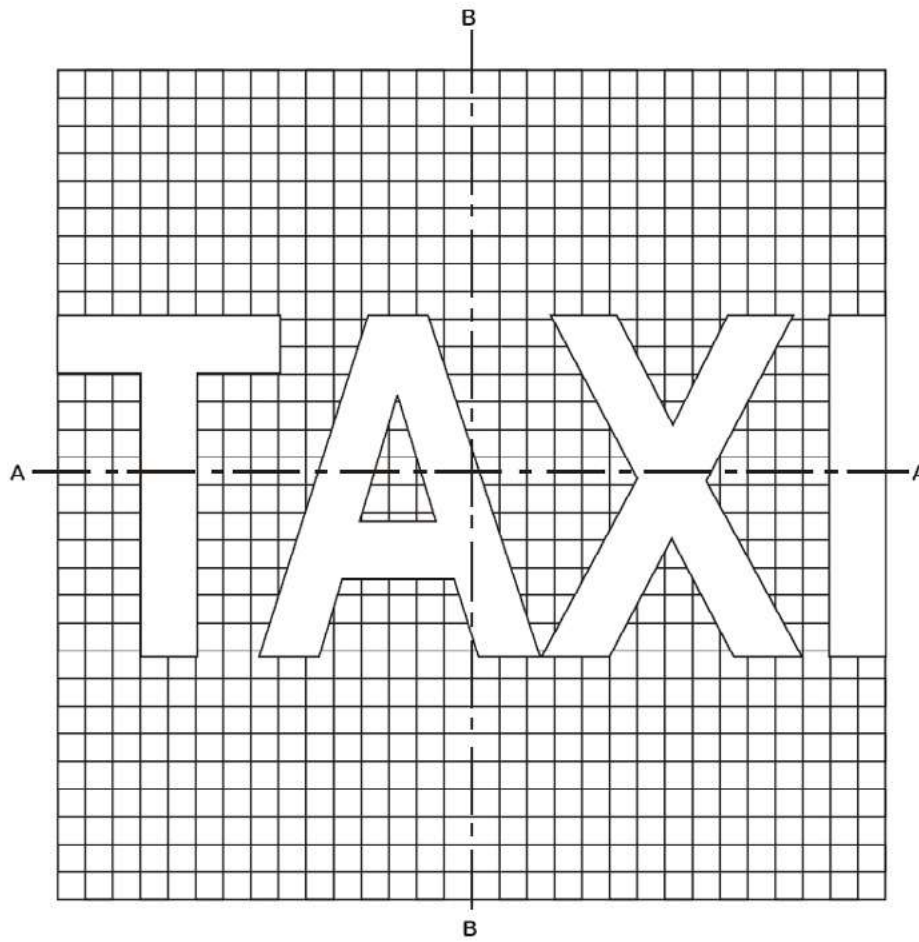
G.1. I-36: ZONA DE PARQUEO



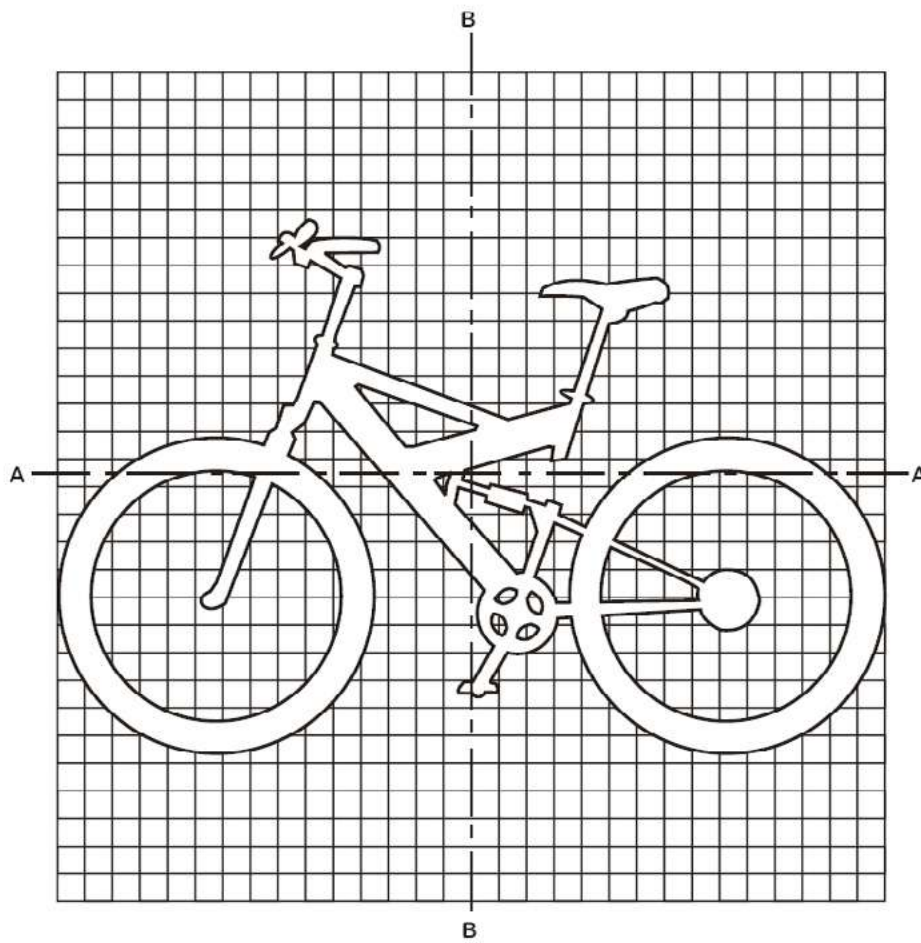
G.2. I-37: PARADA DE ÓMNIBUS



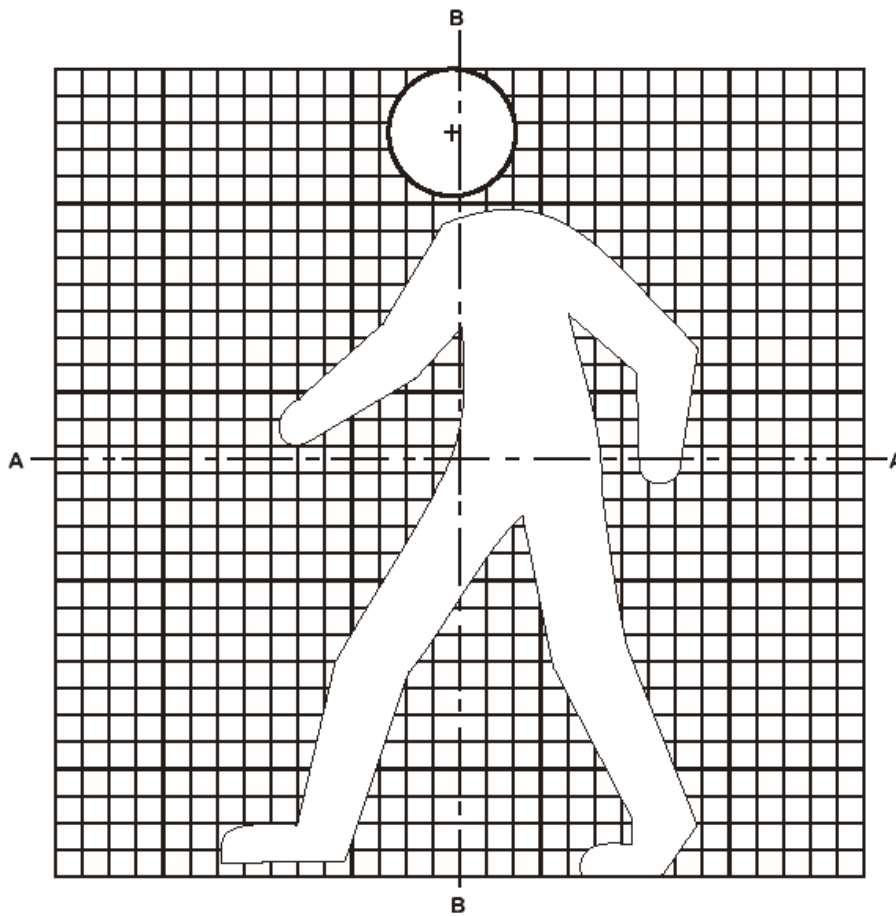
G.3. I-38: ESTACIONAMIENTO DE TAXIS



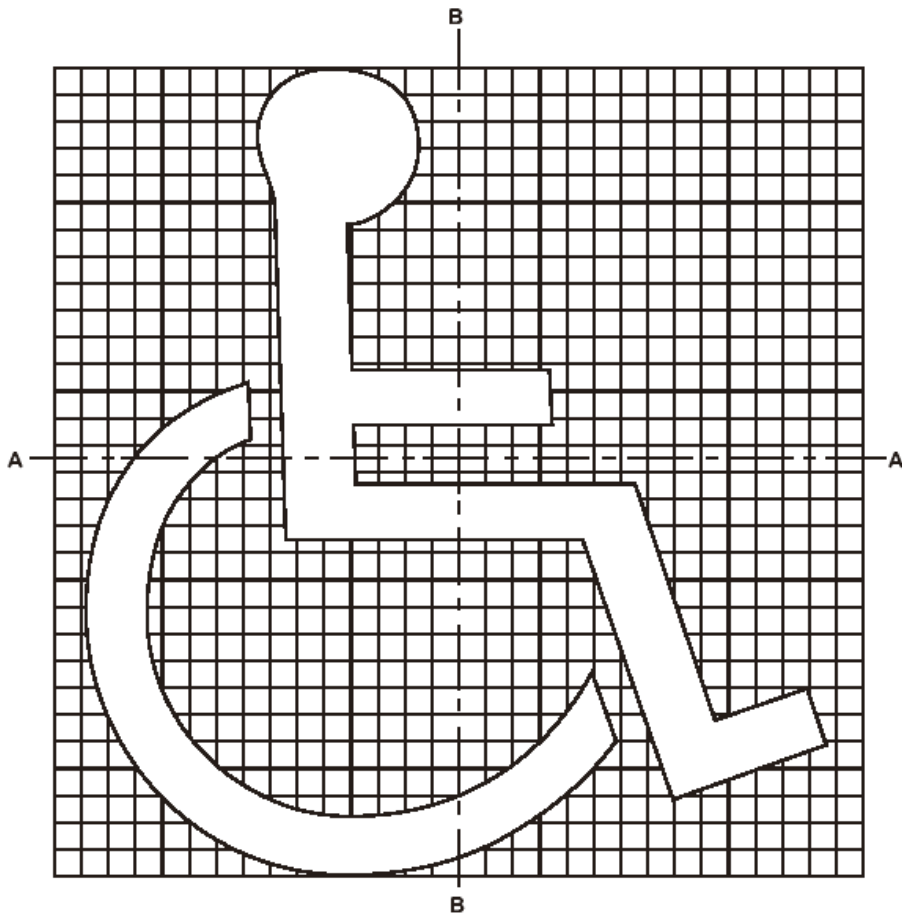
G.4. I-39: VÍA PARA CICLISTAS



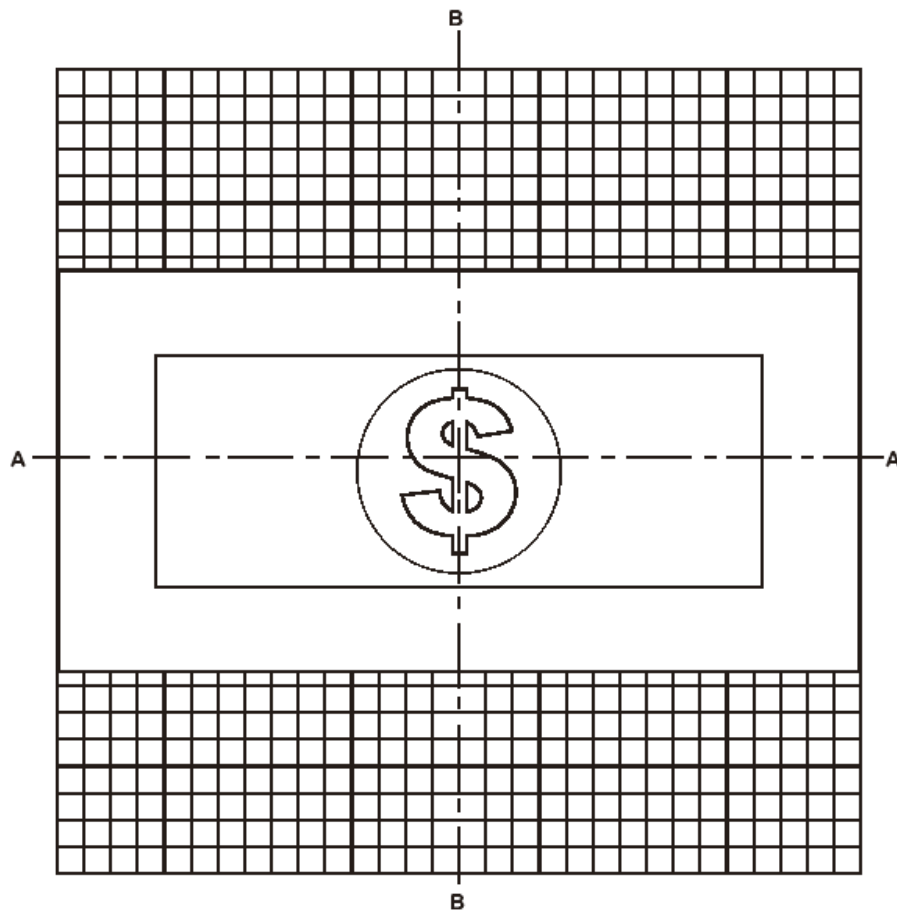
G.5. I-40: CRUCE PEATONAL



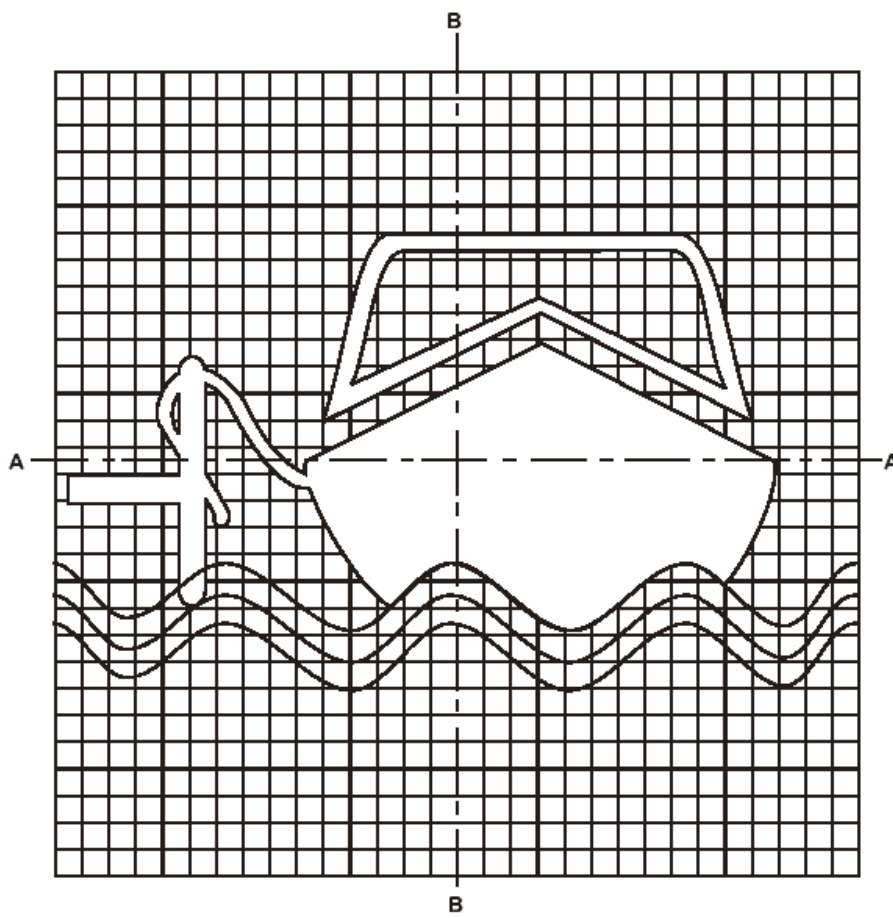
G.6. I-41: DISCAPACITADOS



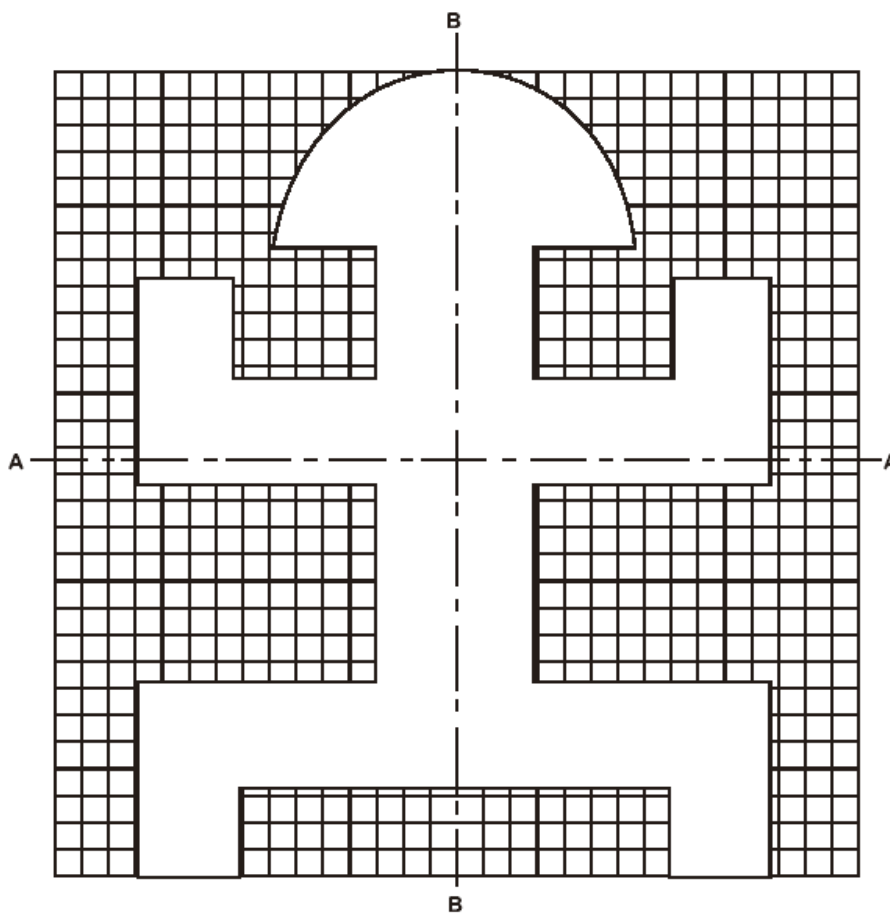
G.7. I-42: CAMBIO DE MONEDA



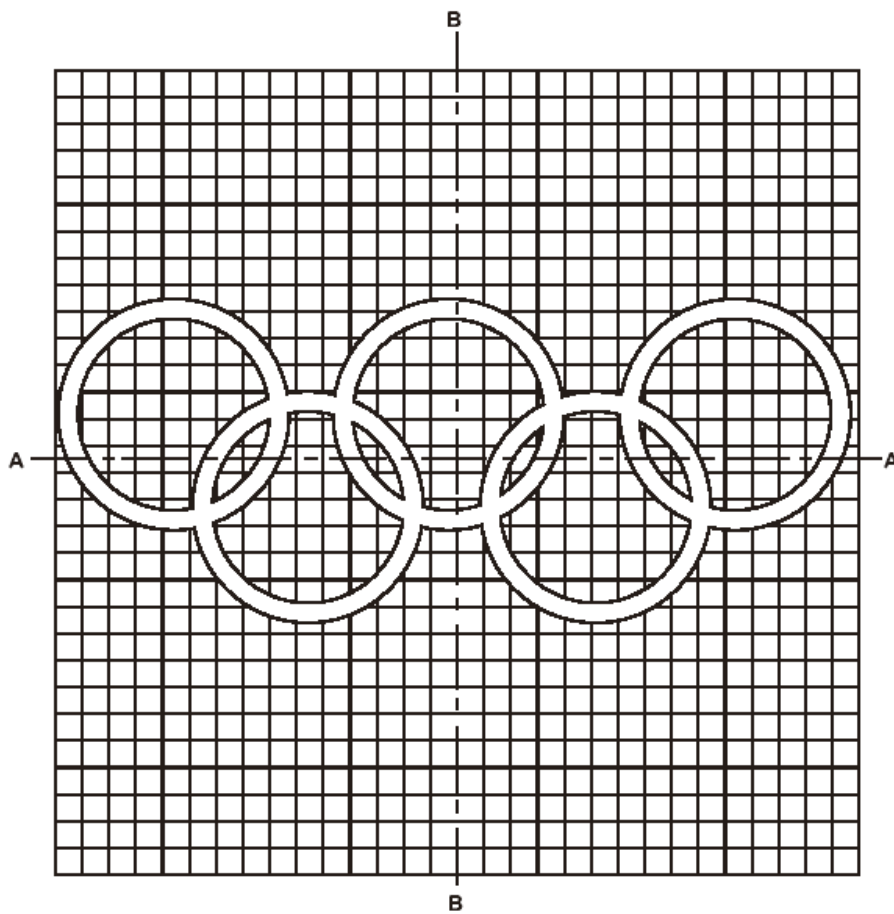
G.8. I-43: MUELLE



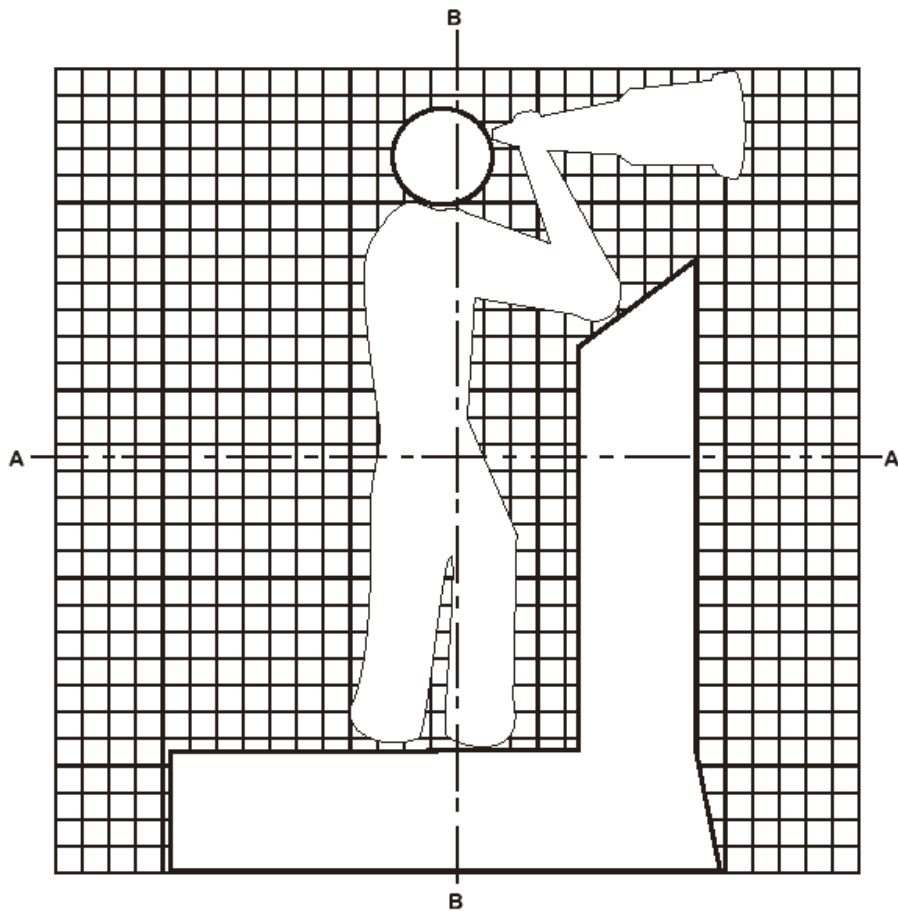
G.9. I-44: BIENES ARQUEOLÓGICOS



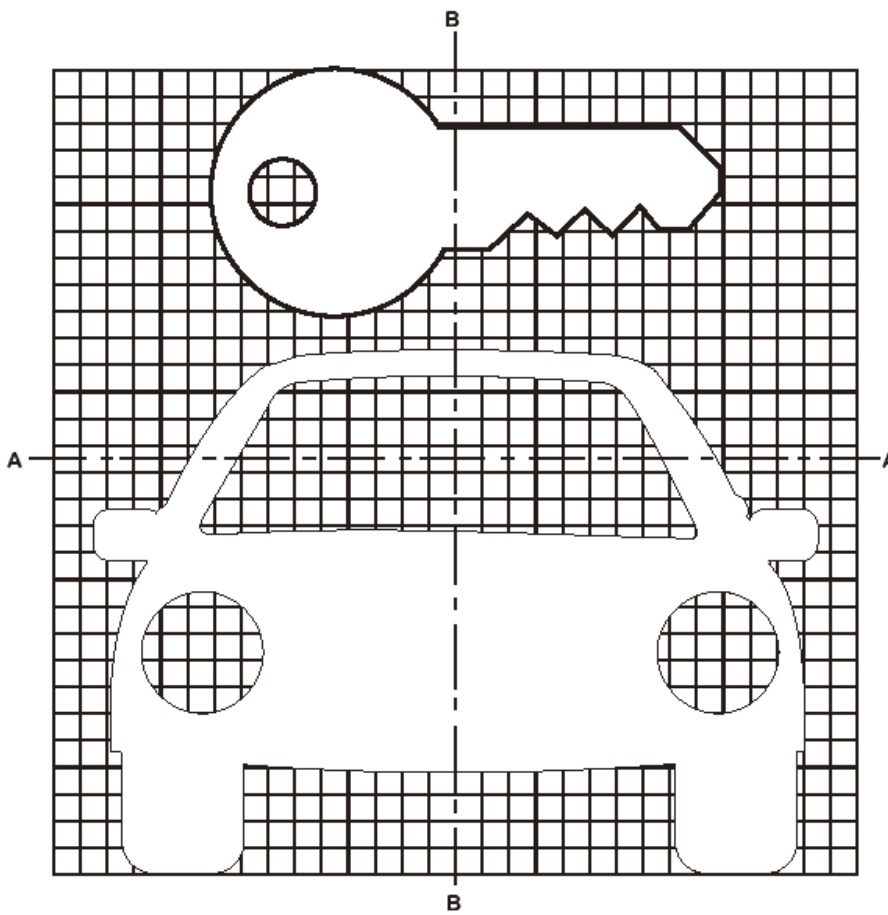
G.10. I-45: POLIDEPORTIVO



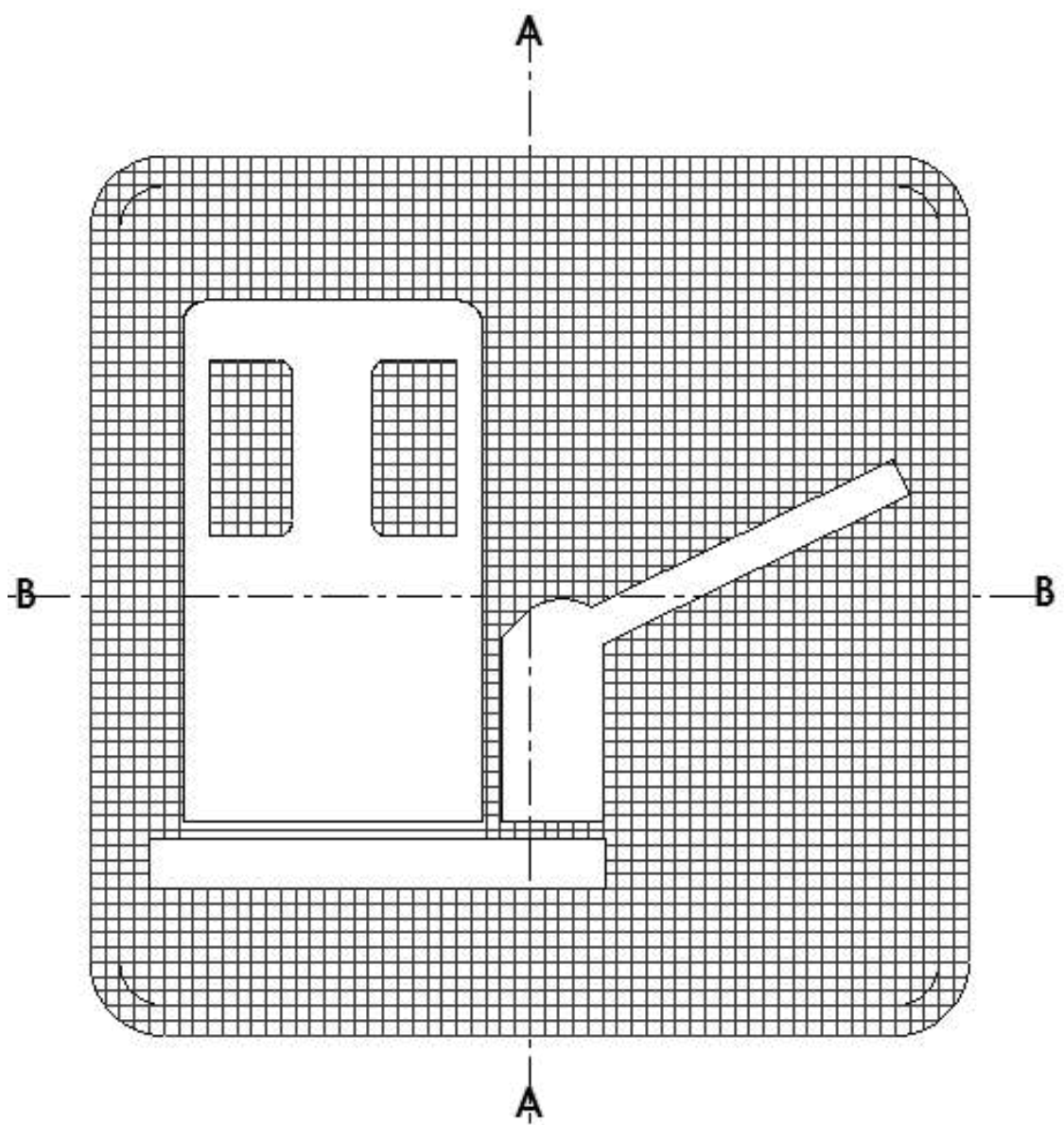
G.11. I-46: MIRADOR



G.12. I-47: ALQUILER DE AUTOS



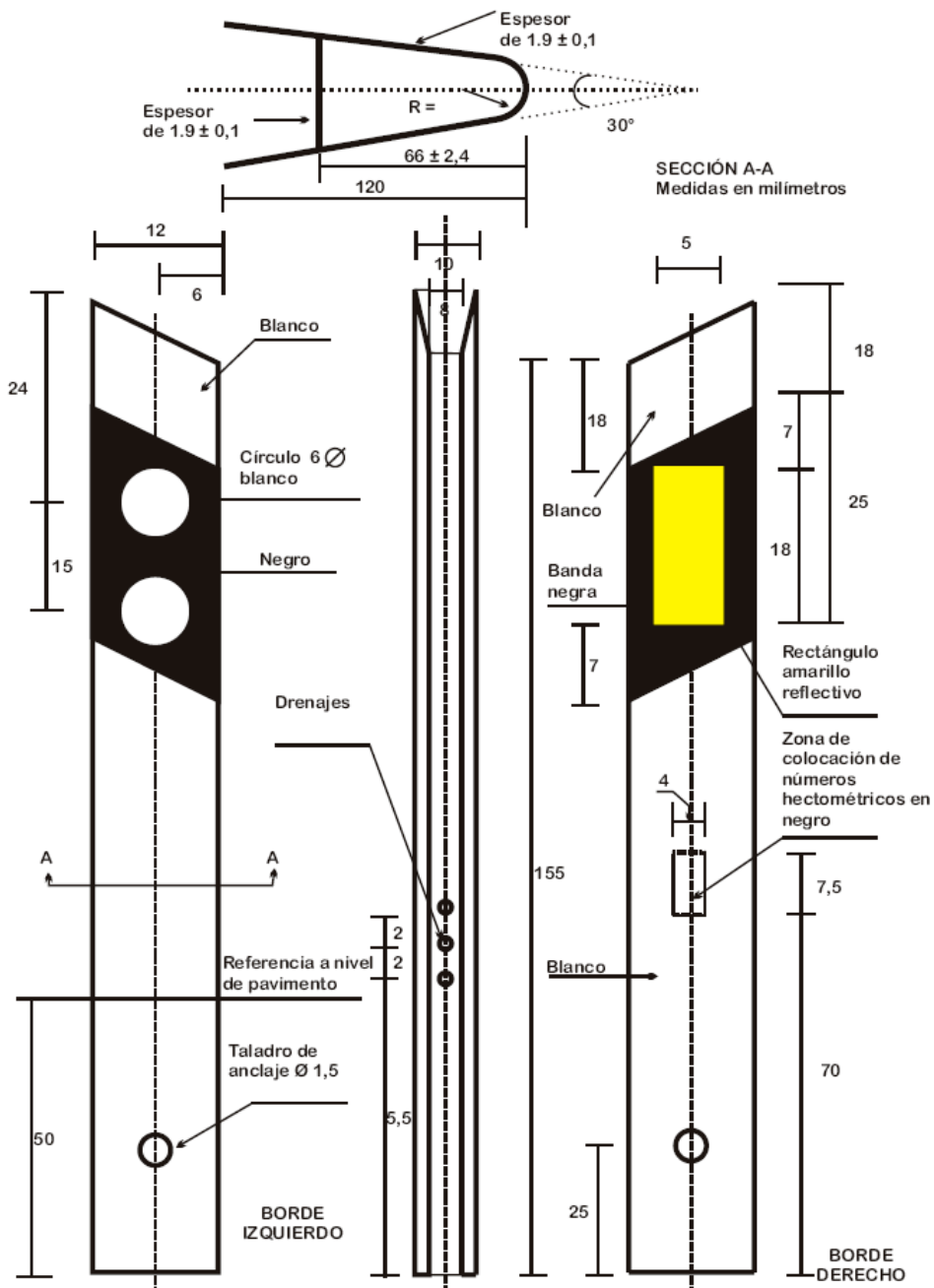
G.13. I-48: PEAJE



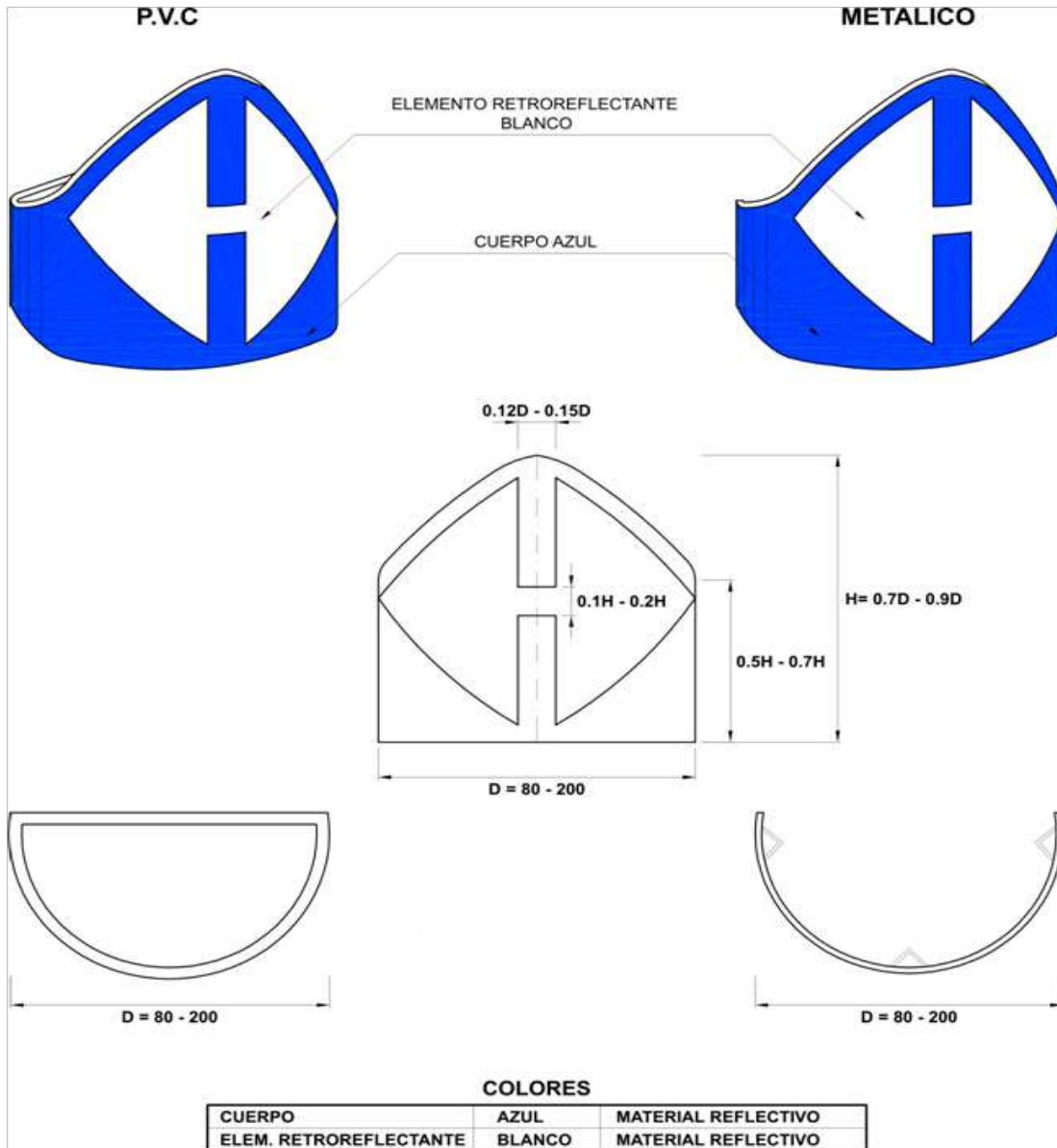
3.3.2.5.4. SEÑALES VERTICALES DE CANALIZACIÓN

A. SEÑALES GUÍA

A.1. DC-01: HITO DE ARISTA (DELINEADOR DE CORONA)

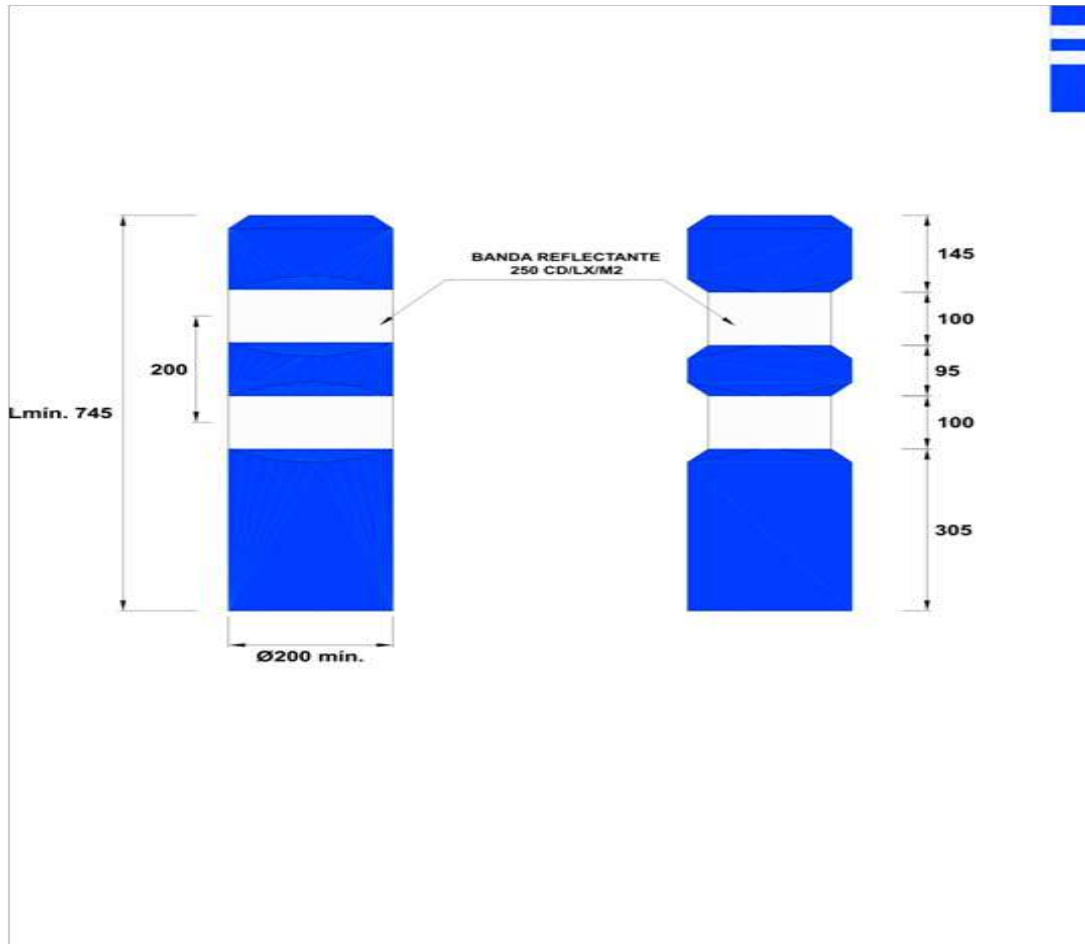


A.2.DC-02: HITO DE VÉRTICE



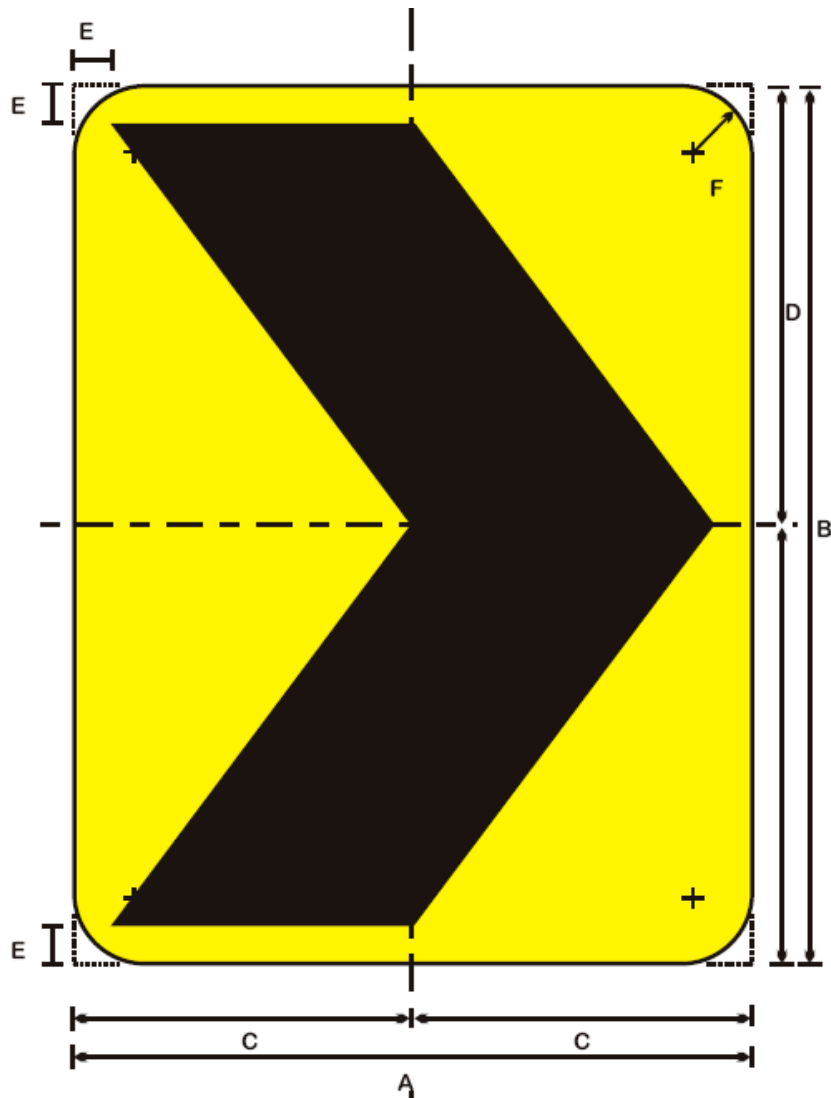
COLORES		
CUERPO	AZUL	MATERIAL REFLECTANTE
ELEM. RETORREFLECTANTE	BLANCO	MATERIAL REFLECTANTE

A.3. DC-03: DELINEADOR



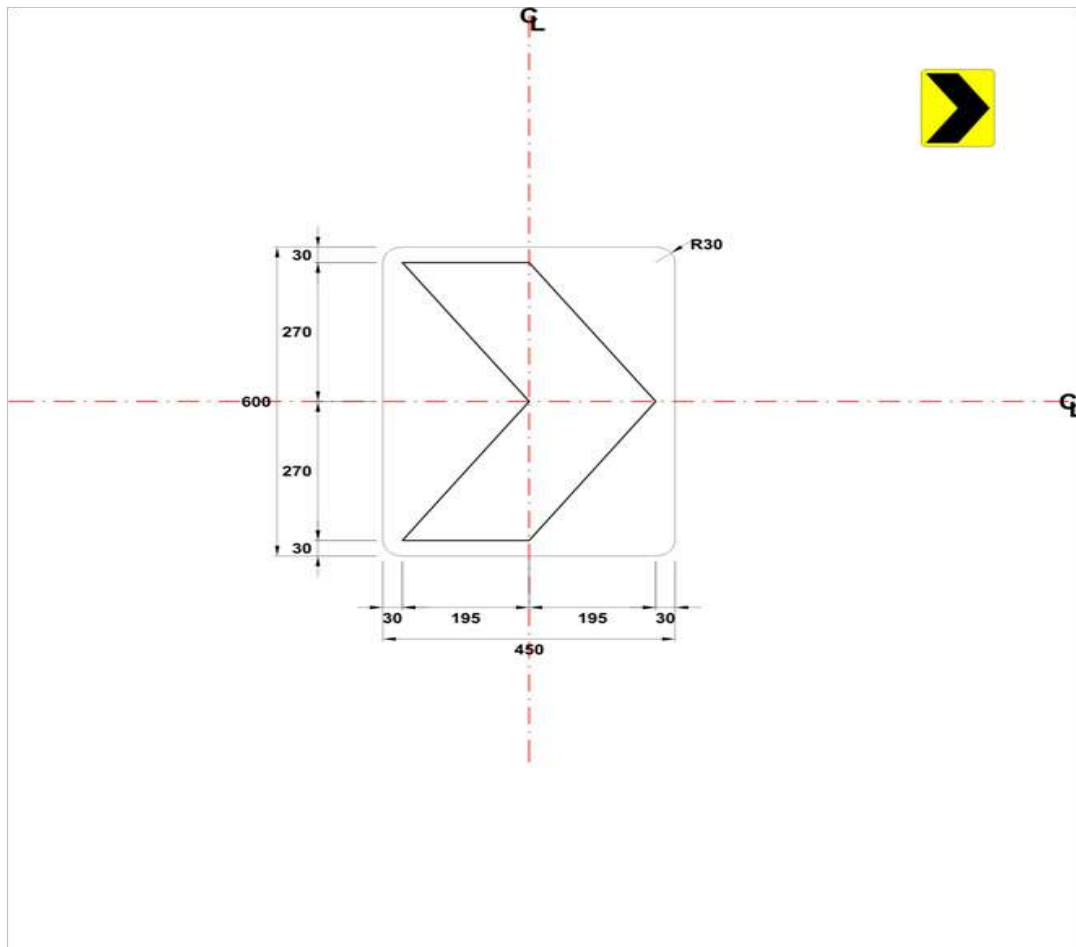
COLORES		
CUERPO	AZUL	MATERIAL REFLECTANTE
ELEM. RETRORREFLECTANTE	BLANCO	MATERIAL REFLECTANTE

A.4. DC-04: DIRECCIONAL SIMPLE



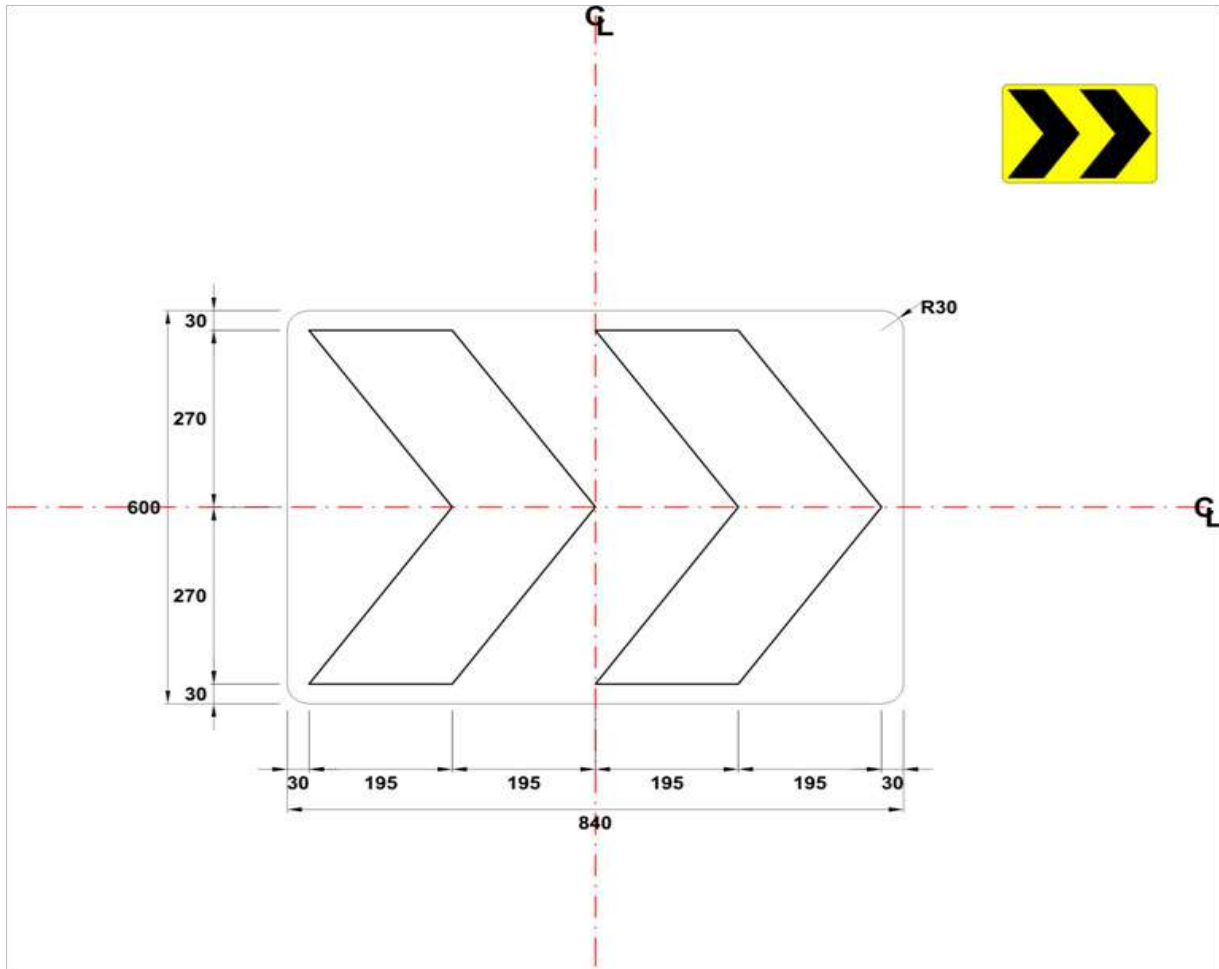
COLOR	
FONDO	AMARILLO
SÍMBOLO	NEGRO

TAMAÑO	DIMENSIONES (cm)					
	A	B	C	D	E	F
30 X 45	30,00	45,00	15,00	22,50	1,30	3,80
40 X 50	40,00	50,00	20,00	25,00	1,90	3,80
60 X 75	60,00	75,00	30,00	37,50	3,10	3,80



COLORES		
PICTOGRAMA	NEGRO	MATERIAL REFLECTANTE
FONDO PLACA	AMARILLO	MATERIAL REFLECTANTE

A.5. DC-05: DIRECCIONAL DOBLE

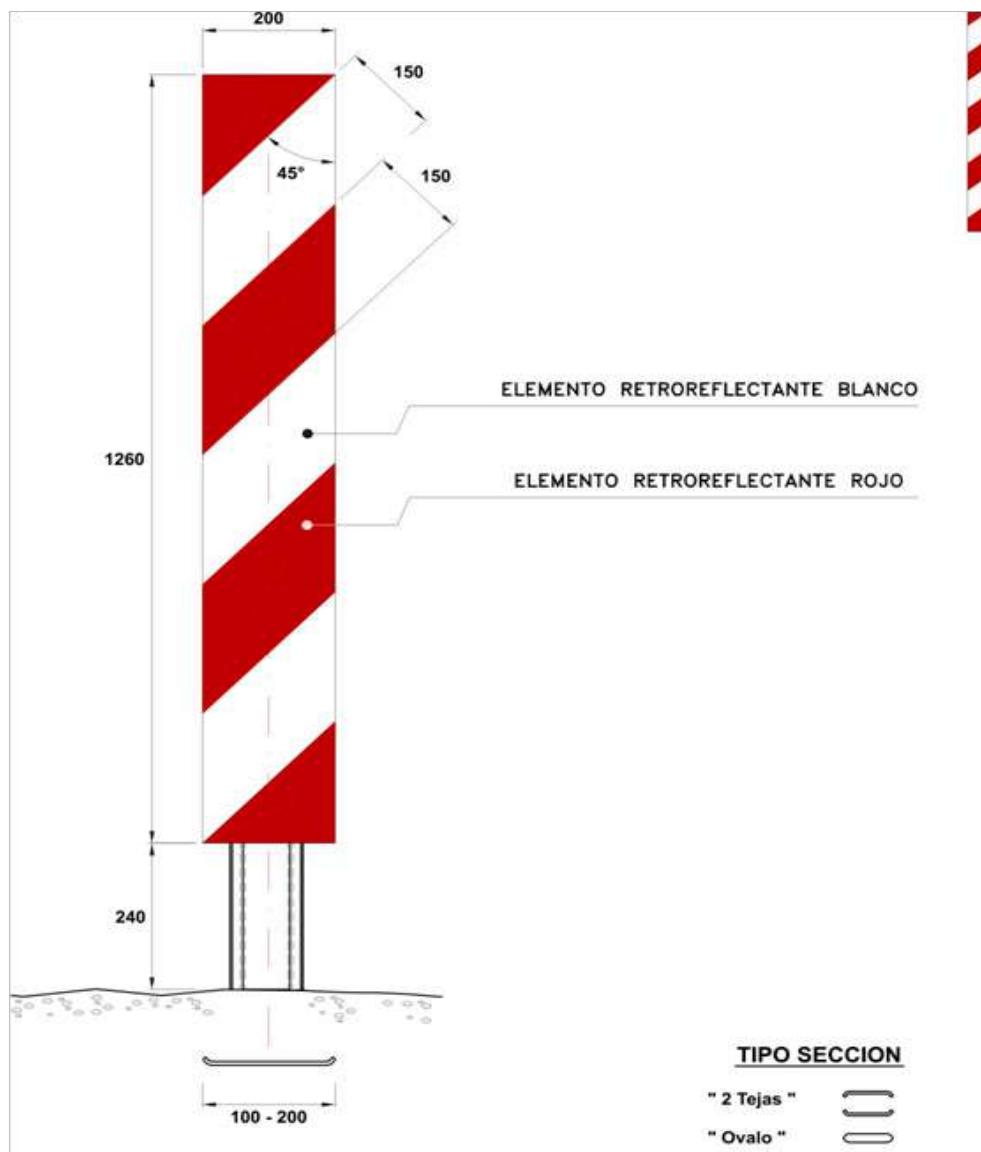


COLORES		
PICTOGRAMA	NEGRO	MATERIAL REFLECTANTE
FONDO PLACA	AMARILLO	MATERIAL REFLECTANTE

A.6. DC-06: DELINEADOR VERTICAL



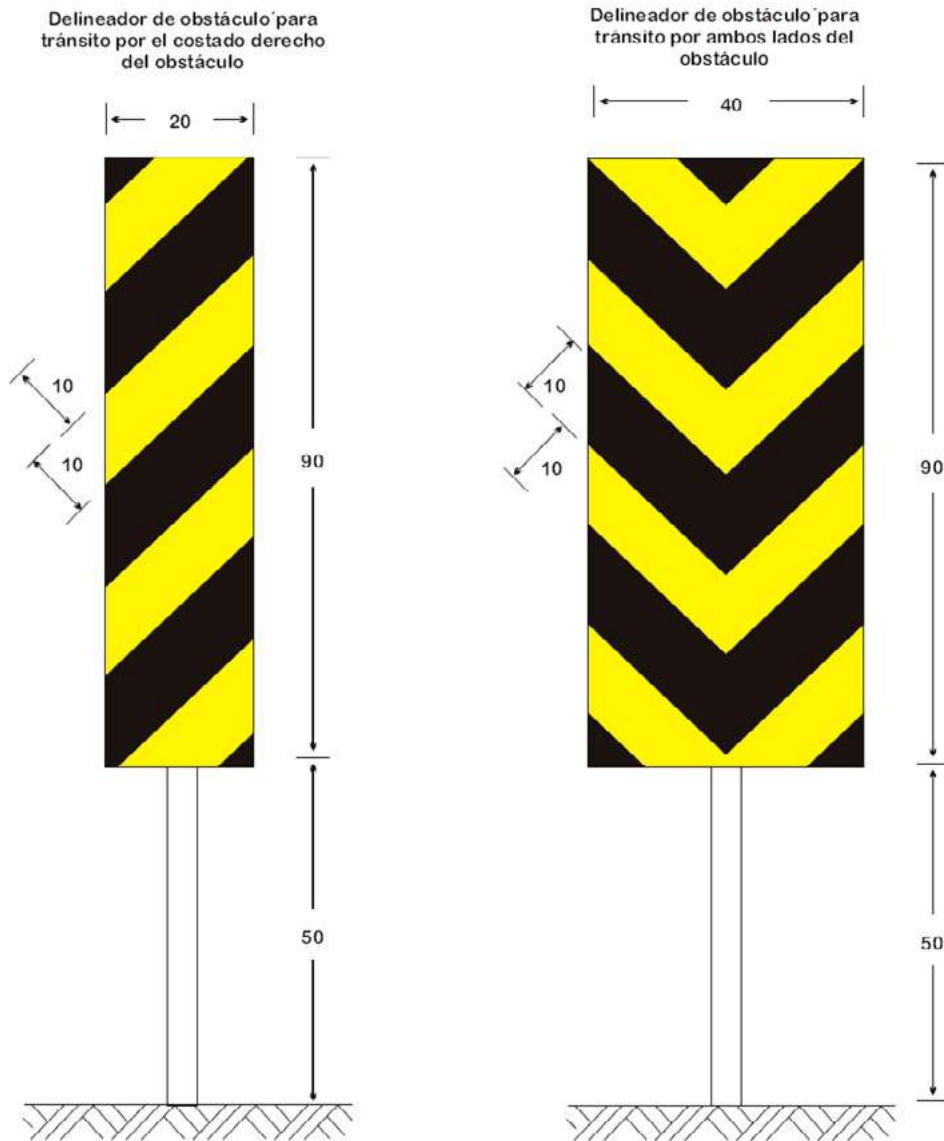
Dimensiones en centímetros



COLORES		
BANDA	ROJO	MATERIAL REFLECTANTE
CUERPO	BLANCO	MATERIAL REFLECTANTE

A.7. DC-07: DELINEADOR DE OBSTÁCULOS

Dimensiones en centímetros



SECCION 3.3.2.6.

ALFABETOS PARA SEÑALIZACIÓN VERTICAL

3.3.2.6.1. USO DE LOS ALFABETOS TIPO DE LETRAS MAYÚSCULAS

Los alfabetos para señalización vertical se dan en cinco diferentes proporciones aproximadas, denominándose, Serie "A" a la relación de base a altura 1:1; Serie "B" a la de 1:1,2; Serie "C" a la de 1:1,4; Serie "D" a la de 1:2 y Serie "E" a la de 1:2,2.

Las relaciones anteriores son aproximadas ya que hay variación en los anchos de letras de la misma serie y altura. Dichas relaciones se dan para escoger, tentativamente, la serie más adecuada a la longitud de placa con que se pudiera contar.

Es recomendable contar con juegos de plantillas en material ligero, para facilitar el trazo de letreros.

Las letras y números pueden ser reproducidas, en cualquier medida requerida, si se sigue la tabla de dimensiones que trae cada dibujo (en grupos de seis letras o números) o por ajustes proporcionales para medidas no especificadas, o bien por ampliación fotográfica de los dibujos, a cualquier medida.

No se recomienda, sin embargo, que la ampliación fotográfica sea hecha de dibujos muy pequeños porque se encontrarían variaciones, aunque pequeñas, en las dimensiones exactas.

Para generalizar el dibujo a alturas de letras de 5,0, 7,5, 10,0, 12,5, 15,0, 17,5, 20,0, 30,0 y 45,0 cm, se asignó a las diferentes dimensiones de letras y números una letra clave, referida a las tablas incluidas a continuación de los dibujos. Las tangentes, arcos mayores y ciertos puntos de control serán trazados primero, seguidos por los arcos de unión de los trazos de radio más pequeño.

Dos circunstancias deben tomarse en cuenta:

- En algunos casos, los radios de los arcos que unen a dos arcos más pequeños no están precisados, pero sólo hay un arco posible que puede ajustarse con precisión para unir los puntos dados. Las medidas están dadas con gran precisión, pero el dibujante puede hacer pequeñas variaciones para lograr un ajuste perfecto. Esto se aplica especialmente a las letras grandes, dado que las tablas de dimensiones fueron derivadas de dibujos pequeños.
- Por razones similares no es práctico dar el centro exacto de todos los arcos, los centros de los arcos predominantes están dados invariablemente. Para otros el dibujante puede, con el compás, encontrar el centro por tanteos.

El ancho del rasgo de las letras y números es uniforme en cada una de las series y medidas del alfabeto, excepto donde sea indicado de otra manera.

Todos los caracteres que tienen un arco arriba o abajo rebasan ligeramente las líneas horizontales de los encuadres de las otras letras. Esto está acorde con la práctica aceptada para letras redondeadas.

De todas maneras, la disponibilidad actual de programas computarizados de dibujo como el AUTOCAD, permite el uso de sus características para lograr la altura exacta requerida, la relación base/altura de letra, y el espaciamiento entre caracteres de manera fácil y rápida, permitiendo al proyectista disponer de antemano de los diseños a escala de las señales y de las leyendas a ejecutar.

En la tabla 3.3.2_34 se muestran las relaciones de velocidades, distancia de legibilidad y altura de letras para cada serie de alfabetos.

Tabla 3.3.2_34. RELACIÓN APROXIMADA DE VELOCIDADES, DISTANCIA Y ALTURA DE LETRAS PARA CADA SERIE DE ALFABETOS (CONDICIONES DIURNAS)

VELOCIDAD (km/h)	DISTANCIA APROX. (en m) DE LEGIBILIDAD	ALTURA DE LETRAS PARA LAS SERIES (cm)				
		A	B	C	D	E
40	55	7,5	7,5	10	12,5	15
50	70	10	10	12,5	15	20
60	85	10	12,5	15	15	20
70	100	12,5	15	15	20	25
80	110	15	15	20	25	30
90	125	15	17,5	20	25	30
100	140	17,5	20	25	30	35
110	150	20	25	25	30	40
120	165	20	25	30	35	45

Nota.- Esta relación puede usarse como guía general para proyectos, además de las condiciones medias que están consideradas en los ejemplos ilustrados en la presente Guía.

Para estimar la distancia de legibilidad se tomó un tiempo de lectura de 5 segundos.

A. RECOMENDACIONES PARA EL USO DE LAS TABLAS DE ESPACIAMIENTO

En las tablas que se muestran a continuación, se presentan ciertas claves para espaciamientos. Según la forma de rasgo, se le asigna un número romano de acuerdo con lo siguiente:

- “ I “- Para verticales bien marcadas.
- “ II “ - Para rasgos curvos.
- “ III “ - Para rasgos entrantes inclinados, que en general, no responden a las claves I ó II.

Una vez identificado el tipo de letra con su clave correspondiente en número romano, se pasa a las tablas de espaciamiento, que relacionan el espacio que debe dejarse, al lado izquierdo o derecho, según la clave que corresponde a esa letra o número.

En las tablas complementarias de espaciamiento se indican los espacios, entre letra y letra o entre número y número, adecuados para lograr mejor legibilidad y equilibrio óptico. Para el espacio entre palabra y palabra se recomienda utilizar el ancho correspondiente al de la letra W.

Un ejemplo de la utilización de las tablas de anchos y de las de espaciamientos para calcular la longitud de la palabra ASUNCIÓN, se muestra a continuación:

Ejemplo de Cálculo de Longitud de una Palabra

Determinar la longitud de la palabra “ASUNCIÓN” con letras de 20 cm de altura de la Serie “D”.

LETRA	ANCHO DE LETRA (cm)	CLAVE PARA MÁRGENES		COMBINACIÓN DE CLAVES PARA MARGEN	ESPACIAMIENTO ENTRE LETRAS (cm)
		IZQ.	DER.		
A	12,5	III	III	III-III	1,1
S	10,9	II	II	II-II	3,0
U	10,9	I	I	I-I	4,2
N	10,9	I	I	I-I	4,2
C	10,9	II	III	II-III	3,4
I	2,8	I	I	I-I	4,2
Ó	11,6	II	II	II-II	3,0
N	10,9	I	I		
SUBTOTAL	81,4			SUBTOTAL	23,1
ANCHO TOTAL “ASUNCIÓN”					104,5

Tabla 3.3.2_35. ANCHOS DE LETRAS Y NÚMEROS DE LA SERIE “A”

VELOCIDAD (Km/h)	MENOS DE 40	40	50 - 60	70	80 - 90	100	110-120	MÁS DE 120		CLAVE PARA MARGEN	
								30,00	45,00	Izq.	Der.
ALTURA (cm)	5,00	7,50	10,00	12,50	15,00	17,50	20,00	30,00	45,00	Izq.	Der.
LETRAS											
A	5,60	8,40	11,30	14,10	16,90	19,70	22,50	33,80	50,60	III	III
B	4,60	6,90	9,20	11,50	13,80	16,10	18,40	27,70	41,50	I	II
C	4,60	6,90	9,20	11,50	13,80	16,10	18,40	27,70	41,50	II	III
D	4,60	6,90	9,20	11,50	13,80	16,10	18,40	27,70	41,50	I	II
E	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	24,00	36,00	I	III
F	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	24,00	36,00	I	III
G	4,60	6,90	9,20	11,50	13,80	16,10	18,40	27,70	41,50	II	II
H	4,60	6,90	9,20	11,50	13,80	16,10	18,40	27,70	41,50	I	I
I	0,90	1,40	1,90	2,30	2,80	3,30	3,80	5,60	8,40	I	I
J	4,10	6,10	8,10	10,20	12,20	14,20	16,30	25,40	36,60	III	I
K	4,60	6,90	9,20	11,50	13,80	16,10	18,40	27,70	41,50	I	III
L	4,20	6,30	8,40	10,50	12,70	14,80	16,90	25,30	38,00	I	III
M	5,30	8,00	10,60	13,30	16,00	18,60	21,30	31,90	47,80	I	I
N	4,60	6,90	9,20	11,50	13,80	16,10	18,40	27,70	41,50	I	I
O	5,20	7,70	10,30	12,90	15,50	18,00	20,60	31,00	46,40	II	II
P	4,60	6,90	9,20	11,50	13,80	16,10	18,40	27,70	41,50	I	II

Q	5,20	7,70	10,30	12,90	15,50	18,00	20,60	31,00	46,40	II	II
R	4,60	6,90	9,20	11,50	13,80	16,10	18,40	27,70	41,50	I	II
S	4,60	6,90	9,20	11,50	13,80	16,10	18,40	27,70	41,50	II	II
T	4,20	6,30	8,40	10,50	12,70	14,70	6,90	25,30	38,00	III	III
U	4,60	6,90	9,20	11,50	13,80	16,10	18,40	27,70	41,50	I	I
V	5,20	7,70	10,30	12,90	15,50	18,00	20,0	31,00	46,40	III	III
W	5,80	8,70	11,60	14,50	17,40	20,20	23,10	64,70	52,00	III	III
X	5,00	7,50	10,00	12,50	15,00	17,50	20,00	30,00	45,00	III	III
Y	5,60	8,40	11,30	14,10	16,90	19,70	22,50	33,80	50,60	III	III

Z	4,60	6,90	9,20	11,50	13,80	16,10	18,40	27,70	41,50	III	III
1	1,60	2,50	3,30	4,10	4,90	5,80	6,60	9,80	14,70	I	I
2	4,06	6,90	9,20	11,50	13,80	16,10	18,40	27,70	41,5	II	II
3	4,60	6,90	9,20	11,50	13,80	16,10	18,40	27,70	41,5	III	II
4	5,00	7,50	10,00	12,50	15,00	17,50	20,00	30,00	45,00	III	III
5	4,60	6,90	9,20	11,50	13,80	16,10	18,40	27,70	41,5	I	II
6	4,60	6,90	9,20	11,50	13,80	16,10	18,40	27,70	41,5	II	II
7	5,00	6,90	9,20	11,50	13,80	16,10	18,40	27,70	41,5	III	III
8	4,60	6,90	9,20	11,50	13,80	16,10	18,40	27,70	41,5	II	II
9	4,60	6,90	9,20	11,50	13,80	16,10	18,40	27,70	41,5	II	II
0	4,70	7,20	9,50	11,90	14,30	16,70	19,10	28,60	42,90	II	II

Tabla 3.3.2_36. ANCHO DE LETRAS Y NÚMEROS DE LA SERIE "B"

VELOCIDAD (Km/h)	MENOS DE 40	40	50 - 60	70	80 - 90	100	110-120	MÁS DE 120		CLAVE PARA MARGEN	
	5,00	7,50	10,00	12,50	15,00	17,50	20,00	30,00	45,00	Izq.	Der.
ALTURA (cm)											
LETRAS											
A	5,00	7,50	10,00	12,50	15,00	17,50	20,00	30,00	45,00	III	III
B	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	24,00	36,00	I	II
C	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	24,00	36,00	II	III
D	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	24,00	36,00	I	II
E	3,70	5,50	7,40	9,20	11,00	12,90	14,70	22,00	33,00	I	III
F	3,70	5,50	7,40	9,20	11,00	12,90	14,70	22,00	33,00	I	III
G	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	24,00	36,00	II	II
H	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	24,00	36,00	I	I
I	0,90	1,30	1,70	2,20	2,60	3,00	3,40	5,20	7,70	I	I
J	3,80	5,60	7,50	9,40	11,30	13,10	15,00	22,50	33,80	III	I
K	4,10	6,10	8,10	10,20	12,20	14,20	16,30	24,40	36,60	I	III
L	3,70	5,50	7,40	9,20	11,00	12,90	14,70	22,00	33,00	I	III
M	4,60	6,90	9,20	11,50	13,80	16,10	18,40	27,70	41,50	I	I
N	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	24,00	36,00	I	I
O	4,10	6,20	8,30	10,30	12,40	14,50	16,60	24,80	37,20	II	II
P	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	24,00	36,00	I	II
Q	4,10	6,20	8,30	10,30	12,40	14,50	16,60	24,80	37,20	II	II
R	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	24,00	36,00	I	II
S	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	24,00	36,00	II	II
T	3,70	5,50	7,40	9,20	11,00	12,90	14,70	22,00	33,00	III	III
U	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	24,00	36,00	I	I
V	4,50	6,80	9,10	11,30	13,60	15,90	18,10	27,20	40,80	III	III
W	5,20	7,80	10,50	13,10	15,70	18,30	21,00	31,40	47,10	III	III
X	4,30	6,40	8,60	10,7	12,90	15,00	17,20	25,80	38,70	III	III
Y	5,00	7,50	10,00	12,50	15,00	17,50	20,00	30,00	45,00	III	III
Z	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	24,00	36,00	III	III
1	1,50	2,20	3,00	3,80	4,50	5,20	6,00	9,00	13,30	I	I
2	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	24,00	36,00	II	II
3	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	24,00	36,00	III	II
4	4,60	6,90	9,20	11,50	13,80	16,10	18,40	27,70	41,50	III	III
5	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	24,00	36,00	I	II
6	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	24,00	36,00	II	II
7	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	24,00	36,00	III	III

8	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	24,00	36,00	II	II
9	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	24,00	36,00	II	II
0	4,10	6,20	8,30	10,30	12,40	14,50	16,60	24,80	37,20	II	II

Tabla 3.3.2_37. ANCHO DE LETRAS Y NÚMEROS DE LA SERIE "C"

VELOCIDAD (Km/h)	MENOS DE 40	40	50 - 60	70	80 - 90	100	110 - 120	MÁS DE 120		CLAVE PARA MARGEN	
								30,00	45,00	Izq.	Der.
ALTURA (cm)	5,00	7,50	10,00	12,50	15,00	17,50	20,00	30,00	45,00	Izq.	Der.
LETRAS											
A	4,20	6,30	8,40	10,50	12,60	14,70	16,70	25,10	37,70	III	III
B	3,40	5,00	6,70	8,40	10,0	11,70	13,40	20,20	30,20	I	II
C	3,40	5,00	6,70	8,40	10,0	11,70	13,40	20,20	30,20	II	III
D	3,40	5,00	6,70	8,40	10,0	11,70	13,40	20,20	30,20	I	II
E	3,00	4,60	6,10	7,60	9,10	10,70	12,20	18,30	27,40	I	III
F	3,00	4,60	6,10	7,60	9,10	10,70	12,20	18,30	27,40	I	III
G	3,40	5,00	6,70	8,40	10,00	11,70	13,40	20,20	30,20	II	II
H	3,40	5,00	6,70	8,40	10,00	11,70	13,40	20,20	30,20	I	I
I	0,80	1,20	1,60	2,00	2,40	2,70	3,10	4,70	7,00	I	I
J	3,10	4,70	6,30	7,80	9,40	10,90	12,50	18,80	28,10	III	I
K	3,40	5,00	6,70	8,40	10,00	11,70	13,40	20,20	30,20	I	III
L	3,00	4,60	6,10	7,60	9,10	10,70	12,20	18,30	27,40	I	III
M	3,90	5,80	7,70	9,60	11,60	13,50	15,50	23,20	34,80	I	I
N	3,40	5,00	6,70	8,40	10,00	11,70	13,40	20,20	30,20	I	I
O	3,50	5,30	7,00	8,80	10,50	12,30	14,10	21,10	31,60	II	II
P	3,40	5,00	6,70	8,40	10,00	11,70	13,40	20,20	30,20	I	II
Q	3,50	5,30	7,00	8,80	10,50	12,30	14,10	21,10	31,60	II	II
R	3,40	5,00	6,70	8,40	10,00	11,70	13,40	20,20	30,20	I	II
S	3,40	5,00	6,70	8,40	10,00	11,70	13,40	20,20	30,20	II	II
T	3,00	4,60	6,10	7,60	9,10	10,70	12,20	18,30	27,40	III	III
U	3,40	5,00	6,70	8,40	10,00	11,70	13,40	20,20	30,20	I	I
V	3,80	5,60	7,50	9,40	11,30	13,10	15,00	22,50	33,80	III	III
W	4,40	6,60	8,80	11,00	13,10	15,30	17,50	25,30	38,00	III	III
X	3,40	5,00	6,70	8,40	10,00	11,70	13,40	20,20	30,20	III	III
Y	4,20	6,30	8,40	10,50	12,70	14,70	16,90	25,30	38,00	III	III
Z	3,40	5,00	6,70	8,40	10,00	11,70	13,40	20,20	30,20	III	III
1	1,20	1,80	2,40	3,00	3,70	4,20	4,80	7,30	11,00	I	I
2	3,40	5,00	6,70	8,40	10,00	11,70	13,40	20,20	30,20	II	II
3	3,40	5,00	6,70	8,40	10,00	11,70	13,40	20,20	30,20	III	II
4	3,70	5,50	7,30	9,10	11,00	12,80	14,70	22,00	33,00	III	III
5	3,40	5,00	6,70	8,40	10,00	11,70	13,40	20,20	30,20	I	II
6	3,40	5,00	6,70	8,40	10,00	11,70	13,40	20,20	30,20	II	II
7	3,40	5,00	6,70	8,40	10,00	11,70	13,40	20,20	30,20	III	III
8	3,40	5,00	6,70	8,40	10,00	11,70	13,40	20,20	30,20	II	II
9	3,40	5,00	6,70	8,40	10,00	11,70	13,40	20,20	30,20	II	II
0	3,50	5,30	7,00	8,80	10,50	12,30	14,10	21,10	31,60	II	II

Tabla 3.3.2_38. ANCHO DE LETRAS Y NÚMEROS DE LA SERIE "D"

VELOCIDAD (Km/h)	MENOS DE 40	40	50 - 60	70	80 - 90	100	110-120	MÁS DE 120	CLAVE PARA MARGEN
------------------	-------------	----	---------	----	---------	-----	---------	------------	-------------------

ALTURA (cm)	5,00	7,50	10,00	12,50	15,00	17,50	20,00	30,00	45,00	Izq.	Der.
LETRAS											
A	3,10	4,70	6,30	7,80	9,40	10,90	12,50	18,80	28,10	III	III
B	2,70	4,10	5,50	6,80	8,20	9,60	10,90	16,40	24,60	I	II
C	2,70	4,10	5,50	6,80	8,20	9,60	10,90	16,40	24,60	II	III
D	2,70	4,10	5,50	6,80	8,20	9,60	10,90	16,40	24,60	I	II
E	2,50	3,80	5,00	6,30	7,50	8,80	10,00	15,00	22,50	I	III
F	2,50	3,80	5,00	6,30	7,50	8,80	10,00	15,00	22,50	I	III
G	2,70	4,10	5,50	6,80	8,20	9,60	10,90	16,40	24,60	II	II
H	2,70	4,10	5,50	6,80	8,20	9,60	10,90	16,40	24,60	I	I
I	0,70	1,00	1,40	1,80	2,10	2,50	2,80	4,20	6,30	I	I
J	2,50	3,80	5,00	6,30	7,50	8,80	10,00	15,00	22,50	III	I
K	2,70	4,10	5,50	6,80	8,20	9,60	10,90	16,40	24,60	I	III
L	2,50	3,80	5,00	6,30	7,50	8,80	10,00	15,00	22,50	I	III
M	3,20	4,80	6,50	8,10	9,70	11,30	13,00	19,40	29,20	I	I
N	2,70	4,10	5,50	6,80	8,20	9,60	10,90	16,40	24,60	I	I
O	2,90	4,30	5,80	7,20	8,70	10,10	11,60	17,40	26,00	II	II
P	2,70	4,10	5,50	6,80	8,20	9,60	10,90	16,40	24,60	I	II
Q	2,90	4,30	5,80	7,20	8,70	10,10	11,60	17,40	26,00	II	II
R	2,70	4,10	5,50	6,80	8,20	9,60	10,90	16,40	24,60	I	II
S	2,70	4,10	5,50	6,80	8,20	9,60	10,90	16,40	24,60	II	II
T	2,50	3,80	5,00	6,30	7,50	8,80	10,00	15,00	22,50	III	III
U	2,70	4,10	5,50	6,80	8,20	9,60	10,90	16,40	24,60	I	I
V	3,00	4,60	6,10	7,60	9,10	10,70	12,20	18,30	27,40	III	III
W	3,80	5,60	7,50	9,40	11,30	13,10	15,00	22,50	33,80	III	III
X	2,90	4,30	5,80	7,20	8,70	10,10	11,60	17,40	26,00	III	III
Y	3,10	4,70	6,30	7,80	9,40	10,90	12,50	18,80	28,10	III	III
Z	2,70	4,10	5,50	6,80	8,20	9,60	10,90	16,40	24,60	III	III
1	1,00	1,50	2,00	2,60	3,00	3,60	4,10	6,10	9,10	I	I
2	2,70	4,10	5,50	6,80	8,20	9,60	10,90	16,40	24,60	II	II
3	2,70	4,10	5,50	6,80	8,20	9,60	10,90	16,40	24,60	III	II
4	3,00	4,60	6,10	7,60	9,10	10,70	12,20	18,30	27,40	III	III
5	2,70	4,10	5,50	6,80	8,20	9,60	10,90	16,40	24,60	I	II
6	2,70	4,10	5,50	6,80	8,20	9,60	10,90	16,40	24,60	II	II
7	2,70	4,10	5,50	6,80	8,20	9,60	10,90	16,40	24,60	III	III
8	2,70	4,10	5,50	6,80	8,20	9,60	10,90	16,40	24,60	II	II
9	2,70	4,10	5,50	6,80	8,20	9,60	10,90	16,40	24,60	II	II
0	2,90	4,30	5,80	7,20	8,70	10,10	11,60	17,40	26,00	II	II

Tabla 3.3.2_39. ANCHO DE LETRAS Y NÚMEROS DE LA SERIE "E"

VELOCIDAD (Km/h)	MENOS DE 40	40	50- 60	70	80 - 90	100	110-120	MÁS DE 120		CLAVE PARA MARGEN	
ALTURA (cm)	5,00	7,50	10,00	12,50	15,00	17,50	20,00	30,00	45,00	Izq.	Der.
LETRAS											
A	2,70	4,00	5,30	6,60	8,00	9,30	10,60	16,00	24,00	III	III
B	2,10	3,20	4,20	5,30	6,30	7,40	8,40	12,70	19,00	I	II
C	2,10	3,20	4,20	5,30	6,30	7,40	8,40	12,70	19,00	II	III
D	2,10	3,20	4,20	5,30	6,30	7,40	8,40	12,70	19,00	I	II
E	1,90	2,80	3,80	4,70	5,60	6,60	7,50	11,30	16,90	I	III
F	1,90	2,80	3,80	4,70	5,60	6,60	7,50	11,30	16,90	I	III
G	2,10	3,20	4,20	5,30	6,30	7,40	8,40	12,70	19,00	II	II
H	2,10	3,20	4,20	5,30	6,30	7,40	8,40	12,70	19,00	I	I
I	0,60	0,90	1,30	1,60	1,90	2,20	2,50	3,80	5,60	I	I
J	2,20	3,30	4,40	5,50	6,60	7,70	8,80	13,20	19,80	III	I
K	2,20	3,30	4,40	5,50	6,60	7,70	8,80	13,20	19,80	I	III
L	1,90	2,80	3,80	4,70	5,60	6,60	7,50	11,30	16,90	I	III
M	2,40	3,60	4,80	6,00	7,20	8,50	9,70	14,50	21,80	I	I
N	2,10	3,20	4,20	5,30	6,30	7,40	8,40	12,70	19,00	I	I
O	2,20	3,30	4,40	5,50	6,60	7,70	8,80	13,20	19,80	II	II
P	2,10	3,20	4,20	5,30	6,30	7,40	8,40	12,70	19,00	I	II
Q	2,20	3,30	4,40	5,50	6,60	7,70	8,80	13,20	19,80	II	II
R	2,10	3,20	4,20	5,30	6,30	7,40	8,40	12,70	19,00	I	II
S	2,10	3,20	4,20	5,30	6,30	7,40	8,40	12,70	19,00	II	II
T	1,90	2,80	3,80	4,70	5,60	6,60	7,50	11,30	16,90	III	III
U	2,10	3,20	4,20	5,30	6,30	7,40	8,40	12,70	19,00	I	I
V	2,30	3,40	4,60	5,70	6,90	8,00	9,20	13,80	20,80	III	III
W	3,10	4,70	6,30	7,80	9,40	11,00	12,50	18,80	28,10	III	III
X	2,30	3,40	4,60	5,70	6,90	8,00	9,20	13,80	20,80	III	III

Y	2,70	4,00	5,30	6,60	8,00	9,30	10,60	16,00	24,00	III	III
Z	2,10	3,20	4,20	5,30	6,30	7,40	8,40	12,70	19,00	III	III
1	1,00	1,50	2,10	2,60	3,10	3,60	4,10	6,20	9,20	I	I
2	2,10	3,20	4,20	5,30	6,30	7,40	8,40	12,70	19,00	II	II
3	2,10	3,20	4,20	5,30	6,30	7,40	8,40	12,70	19,00	III	II
4	2,10	3,20	4,20	5,30	6,30	7,40	8,40	12,70	19,00	III	III
5	2,10	3,20	4,20	5,30	6,30	7,40	8,40	12,70	19,00	I	II
6	2,10	3,20	4,20	5,30	6,30	7,40	8,40	12,70	19,00	II	II
7	2,10	3,20	4,20	5,30	6,30	7,40	8,40	12,70	19,00	III	III
8	2,10	3,20	4,20	5,30	6,30	7,40	8,40	12,70	19,00	II	II
9	2,10	3,20	4,20	5,30	6,30	7,40	8,40	12,70	19,00	II	II
0	2,20	3,40	4,50	5,60	6,80	7,90	9,10	13,60	20,40	II	II

Tabla 3.3.2_40. ESPACIAMIENTO. DIMENSIONES ENTRE LETRA Y LETRA

(Medidas horizontalmente entre los puntos más cercanos)											
COMBINACIONES ALFABETO		ALTURA DE LA LETRA O DEL NÚMERO (cm)									
CLAVES PARA MARGEN		5,00	7,50	10,00	12,50	15,00	17,50	20,00	30,00	45,00	
SERIE "A"	I - I I - II	1,40	2,10	2,80	3,50	4,20	4,90	5,60	8,40	12,60	
	I ó II - III II - II	1,10	1,70	2,30	2,80	3,40	3,90	4,50	6,80	10,10	
	III - III NO PARALELAS	0,70	1,10	1,50	1,90	2,30	2,60	3,00	4,50	6,80	
	III - III PARALELAS	0,40	0,60	0,80	1,00	1,10	1,30	1,50	2,30	3,40	

SERIE "B"	I - I I-II	1,30	1,90	2,60	3,20	3,90	4,50	5,10	7,70	11,60
	I ó II-III II-II	1,00	1,50	2,10	2,60	3,10	3,60	4,10	6,20	9,30
	III-III NO PARALELAS	0,70	1,00	1,40	1,70	2,10	2,40	2,80	4,10	6,20
	III-III PARALELAS	0,40	0,50	0,70	0,90	1,00	1,20	1,40	2,10	3,10
SERIE "C"	I - I I-II	1,20	1,80	2,40	2,90	3,50	4,10	4,70	7,00	10,60
	I ó II-III II-II	0,90	1,40	1,90	2,40	2,80	3,30	3,80	5,60	8,50
	III-III NO PARALELAS	0,70	1,00	1,30	1,60	1,90	2,20	2,50	3,80	5,60
	III-III PARALELAS	0,30	0,40	0,60	0,80	1,00	1,10	1,30	1,90	2,80

SERIE "D"	I - I I-II	1,10	1,60	2,10	2,60	3,20	3,70	4,20	6,30	9,50
	I ó II-III II-II	0,90	1,30	1,70	2,10	2,50	3,00	3,40	5,10	7,60
	III-III NO PARALELAS	0,50	0,80	1,10	1,40	1,70	2,00	2,30	3,40	5,10
	III-III PARALELAS	0,30	0,50	0,60	0,70	0,90	1,00	1,10	1,70	2,60
SERIE "E"	I - I I-II	1,00	1,40	1,90	2,40	2,80	3,30	3,80	5,60	8,40
	I ó II-III II-II	0,70	1,10	1,50	1,90	2,30	2,70	3,00	4,50	6,80
	III-III NO PARALELAS	0,50	0,70	1,00	1,30	1,50	1,70	2,00	3,00	4,50
	III-III PARALELAS	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	0,90	1,00	1,50	2,30

Nota.- El espacio recomendado entre palabra y palabra es el que corresponde al ancho de la letra "W".

3.3.2.6.2. USO DE LOS ALFABETOS TIPO DE LETRAS MINÚSCULAS

Las leyendas complementarias de los destinos, en señales informativas, se pondrán en minúsculas, con iniciales mayúsculas. Se recomienda que las mayúsculas iniciales y los números usados con estas minúsculas sean de la Serie "B" de los alfabetos tipo. Convendrá que dicha mayúscula inicial o número aumente el grueso del rasgo hasta igualar el de las minúsculas adyacentes.

A. RECOMENDACIONES GENERALES

A.1. Modelos para el trazo

Las letras mayúsculas serán aproximadamente un tercio más alto que el encuadre de las letras minúsculas usadas con ellas. Estéticamente y prácticamente esto limita la altura de los rasgos ascendentes de las minúsculas. El alfabeto ha sido diseñado de manera tal, que todas las proyecciones arriba de la altura nominal de la curva más alta de las letras minúsculas, son aproximadamente un tercio de esa altura.

Los cortes de las prolongaciones rectas verticales están en ángulo de 20° con respecto a la horizontal. Para la ampliación proporcional a cualquier tamaño deseado se ha dibujado las letras dentro de una cuadrícula, así es que se pueden transferir, cuadro por cuadro, a una cuadrícula de cualquier tamaño.

En el alfabeto se incluye unas tablas tipo con las dimensiones de cuadrícula para las alturas de minúsculas correspondientes a las iniciales mayúsculas. Se puede por supuesto, amplificar o reducir este alfabeto fotográficamente.

Acorde con la práctica usual, todas las curvas de la base o del tipo han sido prolongadas levemente, arriba o abajo, de los límites horizontales de los encuadres de las letras.

Debe notarse que el contorno en línea gruesa, en estos dibujos, permanece totalmente fuera del área que ocupa la letra en sí.

Se permiten modificaciones a estas letras dentro de límites razonables, particularmente cuando sea necesario por requisitos de los procesos de manufactura o por el tipo de reflejantes que sean usados.

A.2. Mayúsculas con otras proporciones

Si se requiere otras proporciones de letras diferentes a las aquí dibujadas, se facilita la conversión si en lugar de una retícula de cuadros se hace otra de rectángulos con la proporción deseada para la letra.

Ejemplo: si se desea utilizar letras de 2,3 del ancho de las aquí dibujadas, la retícula en sentido horizontal se reduce en la misma relación.

A.3. Anchos de letras

Aunque de los dibujos se obtienen con facilidad los anchos de minúsculas, se incluye una tabla suplementaria de esos anchos para facilitar el cálculo de la longitud de las palabras.

Tabla 3.3.2_41. ESPACIAMIENTO ENTRE MAYÚSCULA INICIAL Y MINÚSCULAS, ASÍ COMO ENTRE MINÚSCULAS. ALTURA DE MAYÚSCULAS: 5 cm

ALTURA DE MAYÚSCULAS: 5 cm						
MAYÚSCULA INICIAL O MINÚSCULA PRECEDENTE	LETRA SIGUIENTE					
	a c d e g o p	b h i k l m n p r u	j	s t	v y	x
A P S W X	1,30	1,40	0,80	1,10	1,00	1,10
B C D E G O Q R	1,40	1,90	1,00	1,30	1,20	1,30
F Y	0,70	1,30	0,60	0,70	0,70	0,80
H I J M N U Z	1,70	2,10	1,40	1,70	1,70	1,70
K L T V	1,00	1,60	0,70	1,10	1,10	1,10
a d g h i j l m n q u	1,60	2,00	1,20	1,50	1,50	1,60
b c e f k p s t x z	1,20	1,60	0,70	1,10	1,10	1,20
r	0,80	1,30	0,30	0,70	0,70	0,70
w y	1,10	1,50	0,60	1,00	1,00	1,00

Tabla 3.3.2_42. ESPACIAMIENTO ENTRE MAYÚSCULA INICIAL Y MINÚSCULAS, ASÍ COMO ENTRE MINÚSCULAS. ALTURA DE MAYÚSCULAS: 7,5 cm

ALTURA DE MAYÚSCULAS: 7,5 cm						
MAYÚSCULA INICIAL O MINÚSCULA PRECEDENTE	LETRA SIGUIENTE					
	a c d e g o p	b h i k l m n p r u	j	s t	v y	x
A P S W X	1,80	2,00	1,10	1,50	1,30	1,60
B C D E G O Q R	2,00	2,60	1,30	1,90	1,70	1,80

FY	0,90	1,90	0,90	1,00	0,90	1,10
HIJMNUZ	2,40	2,90	1,90	2,30	2,30	2,40
KLTV	1,40	2,20	1,00	1,50	1,50	1,50
a d g h i j l m n q u	2,30	2,90	1,60	2,10	2,10	2,20
b c e f k p s t x z	1,70	2,30	1,00	1,50	1,50	1,50
r	1,10	1,80	0,50	0,90	0,90	1,00
w y	1,50	2,10	0,90	1,30	1,30	1,50

Tabla 3.3.2_43. ESPACIAMIENTO ENTRE MAYÚSCULA INICIAL Y MINÚSCULAS, ASÍ COMO ENTRE MINÚSCULAS. ALTURA DE MAYÚSCULAS: 10 cm

ALTURA DE MAYÚSCULAS: 10 cm						
MAYÚSCULA INICIAL O MINÚSCULA PRECEDENTE	LETRA SIGUIENTE					
	a c d e g o p	b h i k l m n p r u	j	s t	v y	x
A P S W X	2,30	2,60	1,40	1,90	1,70	2,00
B C D E G O Q R	2,60	3,40	1,70	2,40	2,20	2,30
F Y	1,20	2,40	1,20	1,30	1,20	1,40
HIJMNUZ	3,10	3,70	2,50	3,00	3,00	3,10
KLTV	1,80	2,80	1,30	1,90	1,90	1,90
a d g h i j l m n q u	2,90	3,70	2,10	2,70	2,70	2,90
b c e f k p s t x z	2,20	2,90	1,30	1,90	1,90	2,10
r	1,40	2,30	0,60	1,20	1,20	1,30
w y	1,90	2,70	1,10	1,70	1,70	1,90

Tabla 3.3.2_44. ESPACIAMIENTO ENTRE MAYÚSCULA INICIAL Y MINÚSCULAS, ASÍ COMO ENTRE MINÚSCULAS. ALTURA DE MAYÚSCULAS: 12,5 cm

ALTURA DE MAYÚSCULAS: 12,5 cm						
MAYÚSCULA INICIAL O MINÚSCULA PRECEDENTE	LETRA SIGUIENTE					
	a c d e g o p	b h i k l m n p r u	j	s t	v y	x
A P S W X	3,00	3,40	1,80	2,60	2,30	2,70
B C D E G O Q R	3,40	4,50	2,30	3,20	2,90	3,00
F Y	1,60	3,20	1,50	1,70	1,60	1,90
HIJMNUZ	4,20	5,00	3,30	4,00	4,00	4,20
KLTV	2,40	3,70	1,70	2,60	2,60	2,60
a d g h i j l m n q u	3,90	4,90	2,80	3,60	3,60	3,80
b c e f k p s t x z	2,80	3,90	1,70	2,60	2,60	2,80
r	1,90	3,00	0,80	1,60	1,60	1,80
w y	2,60	3,60	1,50	2,30	2,30	2,50

Tabla 3.3.2_45. ESPACIAMIENTO ENTRE MAYÚSCULA INICIAL Y MINÚSCULAS, ASÍ COMO ENTRE MINÚSCULAS. ALTURA DE MAYÚSCULAS: 15 cm

ALTURA DE MAYÚSCULAS: 15 cm						
MAYÚSCULA INICIAL O MINÚSCULA PRECEDENTE	LETRA SIGUIENTE					
	a c d e g o p	b h i k l m n p r u	j	s t	v y	x
A P S W X	3,50	4,00	2,10	3,00	2,70	3,10
B C D E G O Q R	4,00	5,20	2,70	3,70	6,40	3,60
F Y	1,90	3,70	1,80	2,00	1,90	2,20
H I J M N U Z	4,90	5,80	3,80	4,70	4,70	4,90
K L T V	2,80	4,40	2,00	3,00	3,00	3,00
a d g h i j l m n q u	4,60	5,70	3,30	4,20	4,20	4,40
b c e f k p s t x z	3,30	4,60	2,00	3,00	3,00	3,20
r	2,20	3,60	0,90	1,90	1,90	21,0
w y	3,00	4,20	1,70	2,70	2,70	2,90

Tabla 3.3.2_46. ESPACIAMIENTO ENTRE MAYÚSCULA INICIAL Y MINÚSCULAS, ASÍ COMO ENTRE MINÚSCULAS. ALTURA DE MAYÚSCULAS: 17,5 cm

ALTURA DE MAYÚSCULAS: 17,5 cm						
MAYÚSCULA INICIAL O MINÚSCULA PRECEDENTE	LETRA SIGUIENTE					
	a c d e g o p	b h i k l m n p r u	j	s t	v y	x
A P S W X	4,10	4,60	2,40	3,50	3,10	3,60
B C D E G O Q R	4,60	6,00	3,10	4,30	3,90	4,10
F Y	2,10	4,30	2,00	2,30	2,20	2,50
H I J M N U Z	5,60	6,70	4,40	5,30	5,30	5,60
K L T V	3,20	5,00	2,30	3,40	3,40	3,50
a d g h i j l m n q u	5,20	6,60	3,80	4,80	4,80	5,10
b c e f k p s t x z	3,80	5,20	2,30	3,50	3,50	3,70
r	2,50	4,10	1,10	2,10	2,10	2,40
w y	3,40	4,80	2,00	3,10	3,10	3,30

Tabla 3.3.2_47. ESPACIAMIENTO ENTRE MAYÚSCULA INICIAL Y MINÚSCULAS, ASÍ COMO ENTRE INÚSCULAS. ALTURA DE MAYÚSCULAS: 20 cm

ALTURA DE MAYÚSCULAS: 20 cm						
MAYÚSCULA INICIAL O MINÚSCULA PRECEDENTE	LETRA SIGUIENTE					
	a c d e g o p	b h i k l m n p r u	j	s t	v y	x
A P S W X	4,60	5,20	2,70	3,90	3,50	4,00
B C D E G O Q R	5,20	6,70	3,50	4,80	4,40	4,60
F Y	2,40	4,80	2,30	2,60	2,50	2,80
H I J M N U Z	6,30	7,50	4,90	6,00	6,00	6,30
K L T V	3,60	5,60	2,60	3,80	3,80	3,90
a d g h i j l m n q u	5,90	7,40	4,20	5,40	5,40	5,70
b c e f k p s t x z	4,30	5,90	2,60	3,90	3,90	4,20
r	2,80	4,60	1,20	2,40	2,40	2,70
w y	3,80	5,40	2,20	3,50	3,50	3,70

Tabla 3.3.2_48. ESPACIAMIENTO ENTRE MAYÚSCULA INICIAL Y MINÚSCULAS, ASÍ COMO ENTRE MINÚSCULAS. ALTURA DE MAYÚSCULAS: 30 cm

ALTURA DE MAYÚSCULAS: 30 cm						
MAYÚSCULA INICIAL O MINÚSCULA PRECEDENTE	LETRA SIGUIENTE					
	a c d e g o p	b h i k l m n p r u	j	s t	v y	x
A P S W X	7,10	8,10	4,30	6,10	5,40	6,30
B C D E G O Q R	8,10	10,50	5,40	7,50	6,90	7,10
F Y	3,70	7,50	3,60	4,00	3,90	4,50
H I J M N U Z	9,80	11,70	7,70	9,30	9,30	9,80
K L T V	5,60	8,70	4,00	6,00	6,00	6,10
a d g h i j l m n q u	9,10	11,50	6,60	8,40	8,40	8,90
b c e f k p s t x z	6,70	9,70	4,10	6,10	6,10	6,30
r	4,50	7,10	1,90	3,70	3,70	4,20
w y	6,00	8,40	3,40	5,40	5,40	5,80

Tabla 3.3.2_49. ESPACIAMIENTO ENTRE MAYÚSCULA INICIAL Y MINÚSCULAS, ASÍ COMO ENTRE MINÚSCULAS. ALTURA DE MAYÚSCULAS: 45 cm

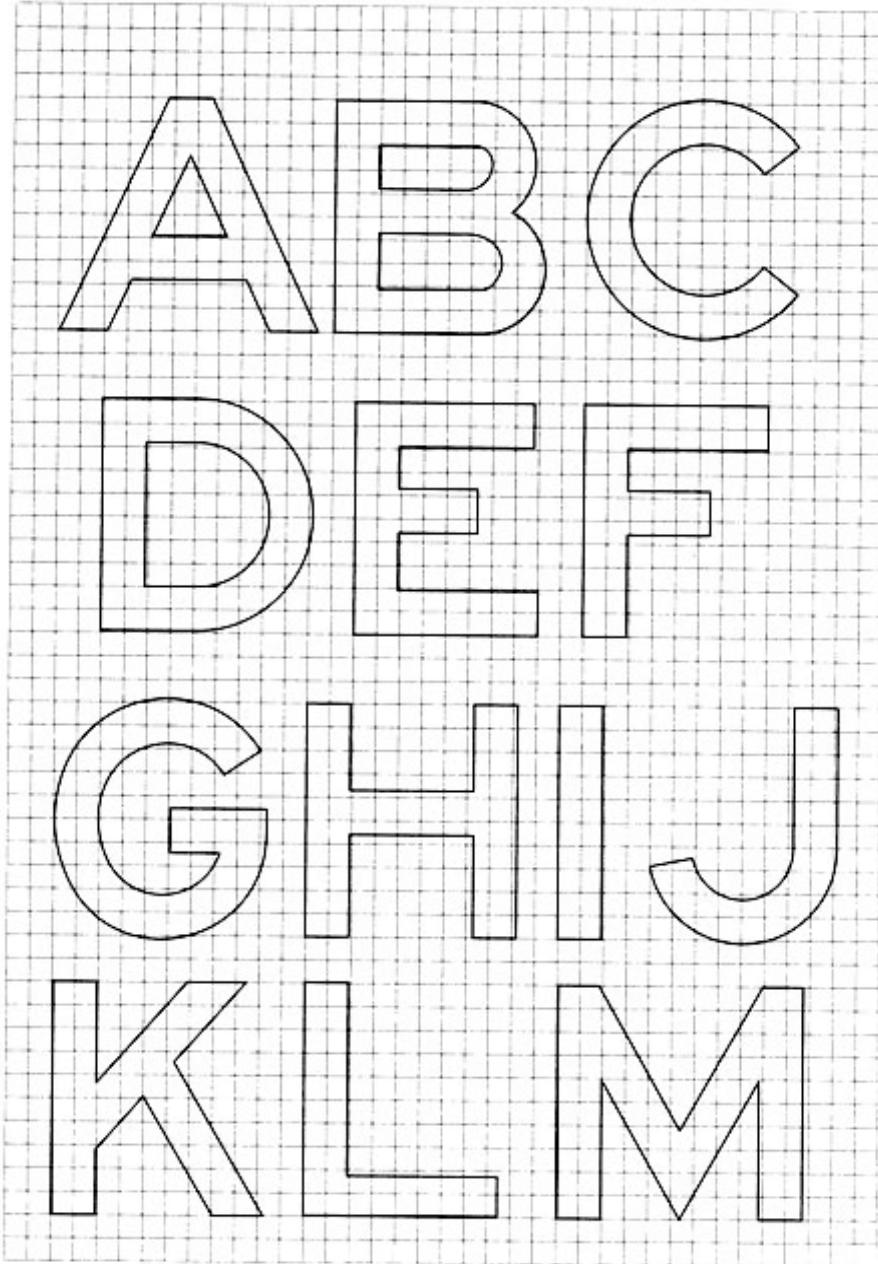
ALTURA DE MAYÚSCULAS: 45 cm						
MAYÚSCULA INICIAL O MINÚSCULA PRECEDENTE	LETRA SIGUIENTE					
	a c d e g o p	b h i k l m n p r u	j	s t	v y	x

A P S W X	10,60	12,10	6,40	9,10	8,10	9,40
B C D E G O Q R	12,10	15,70	8,10	11,20	10,20	10,60
F Y	5,60	11,20	5,40	6,00	5,80	6,70
H I J M N U Z	14,70	17,15	11,50	14,00	14,00	14,70
K L T V	8,40	13,10	6,00	9,00	9,00	9,10
a d g h i j l m n q u	13,70	17,20	9,90	12,70	12,70	13,30
b c e f k p s t x z	10,10	13,70	6,20	9,10	9,10	9,70
r	6,70	10,60	12,80	5,60	5,60	6,30
w y	9,00	12,70	5,20	8,10	8,10	8,70

3.3.2.6.3. SERIE "A"

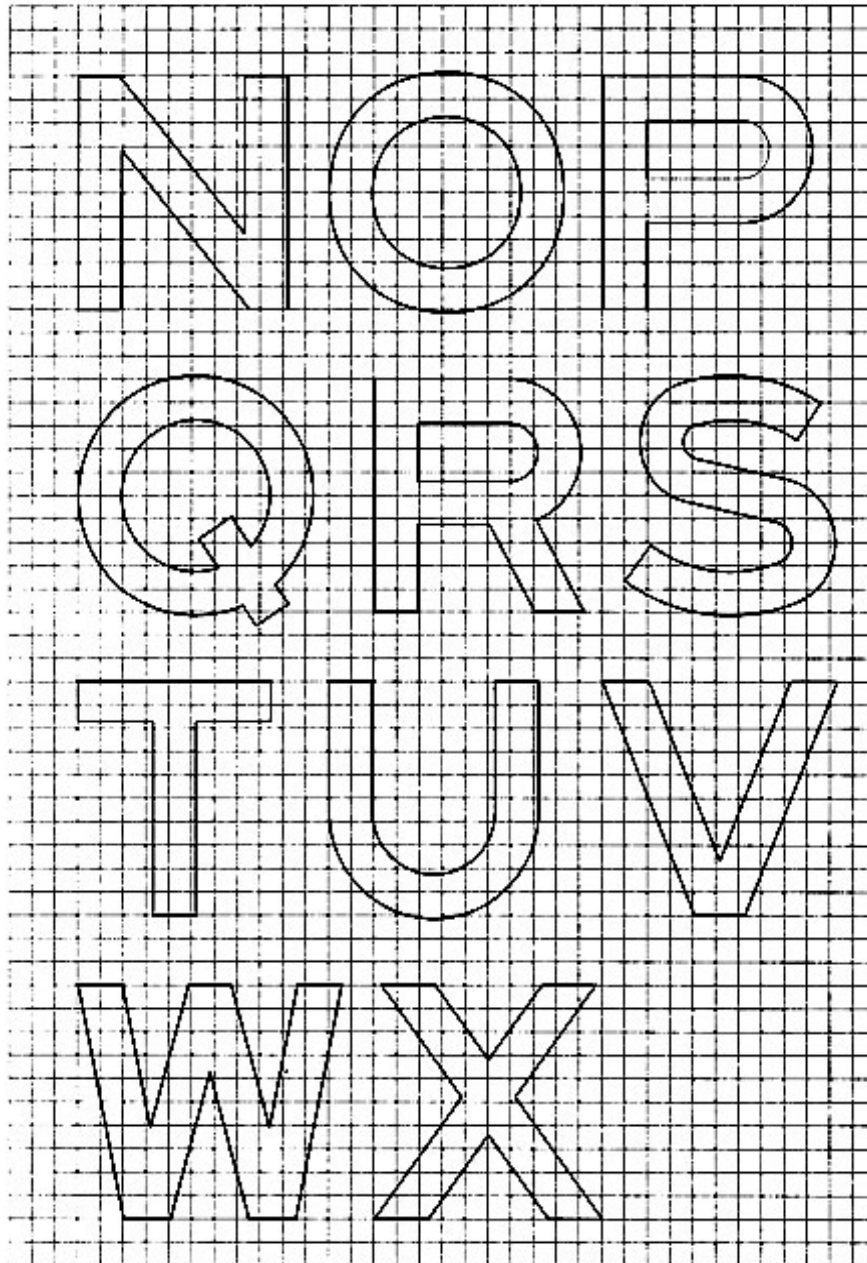
A. ALFABETO Y NÚMEROS SERIE "A" (A – M)

ALFABETO Y NUMEROS - SERIE A

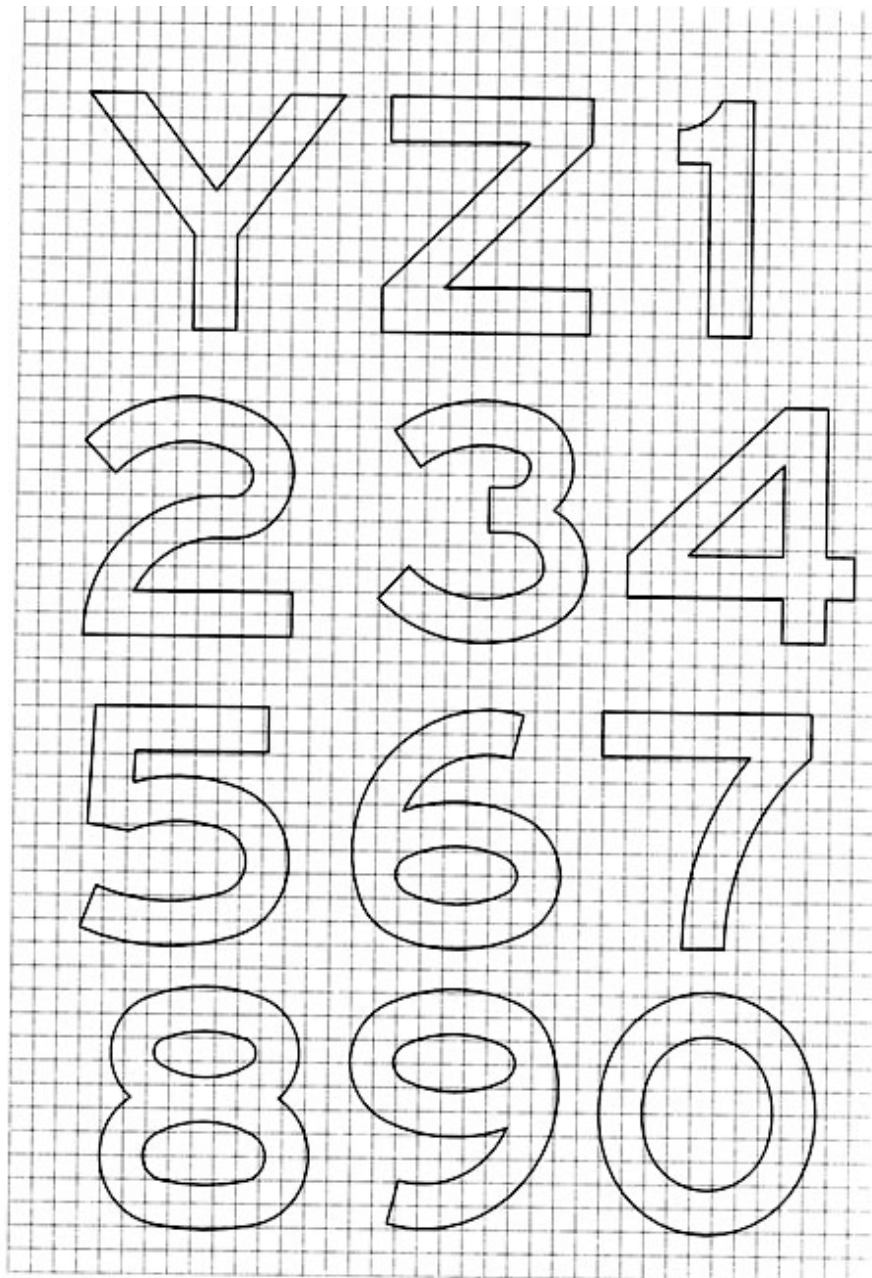


B. ALFABETO Y NÚMEROS SERIE "A" (N - X)

ALFABETO Y NUMEROS - SERIE A



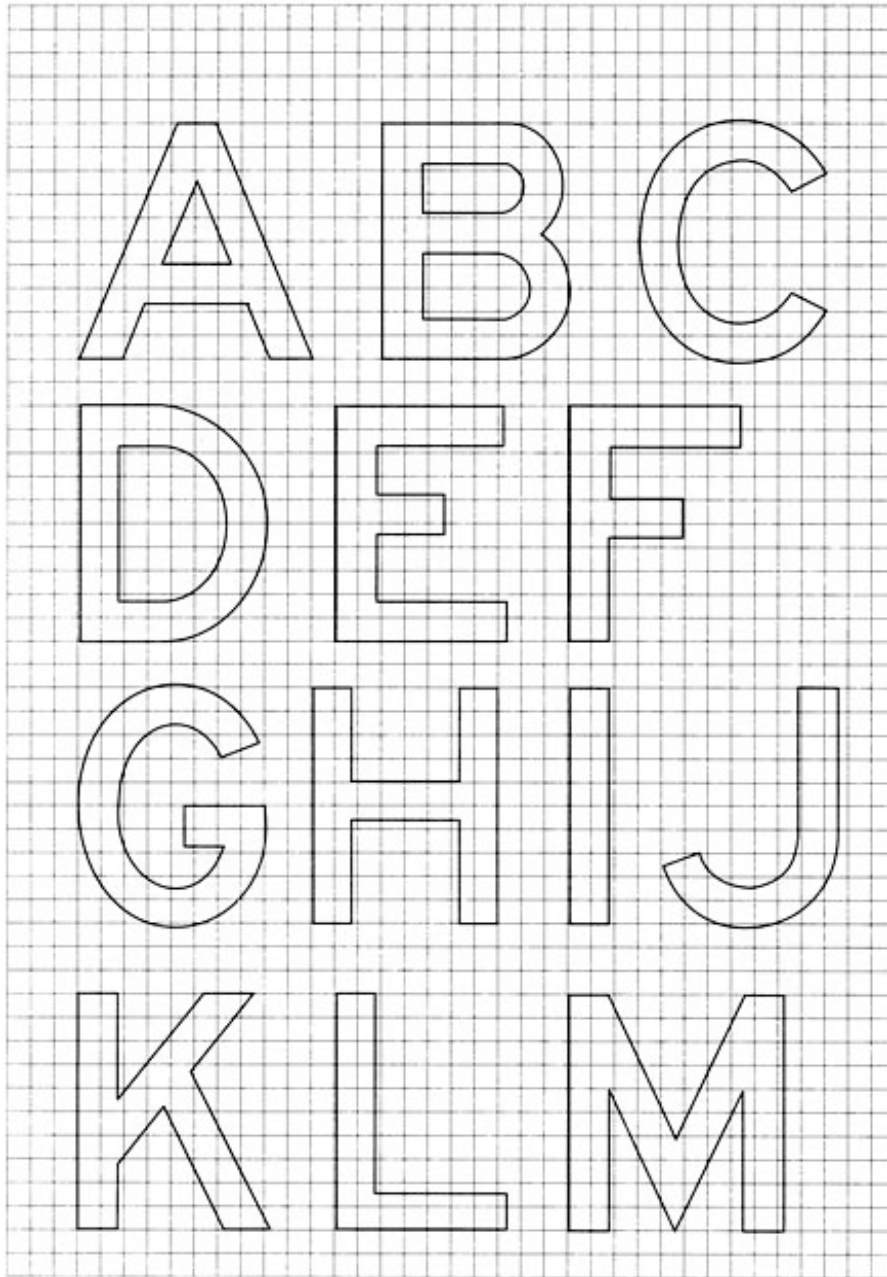
C. ALFABETO Y NÚMEROS SERIE "A" (Y - Z - 1 - 0)



3.3.2.6.4. SERIE "B"

A. ALFABETO Y NÚMEROS SERIE "B" (A – M)

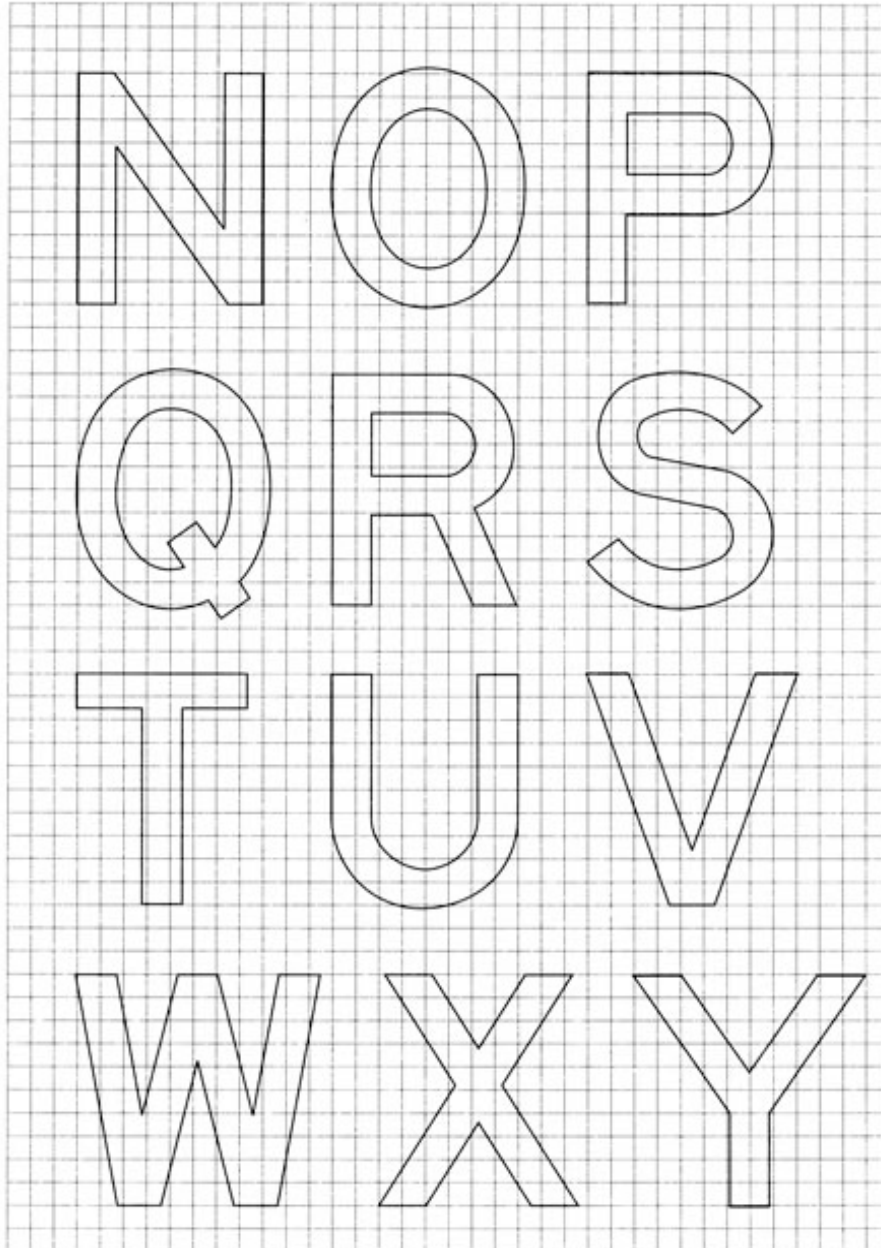
ALFABETO Y NUMEROS - SERIE B



100

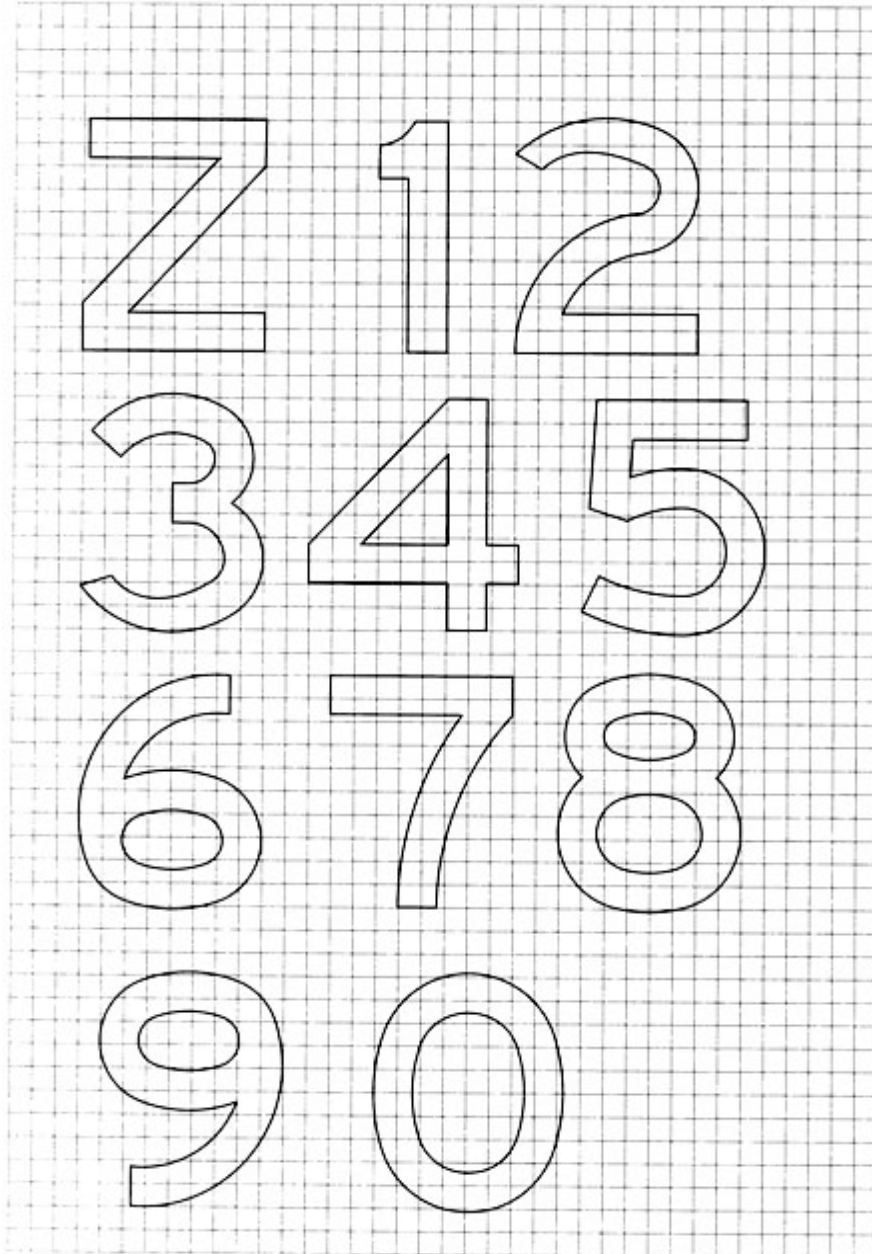
B. ALFABETO Y NÚMEROS SERIE "B" (N – Y)

ALFABETO Y NUMEROS - SERIE B



C. ALFABETO Y NÚMEROS SERIE "B" (Z - 1 - 0)

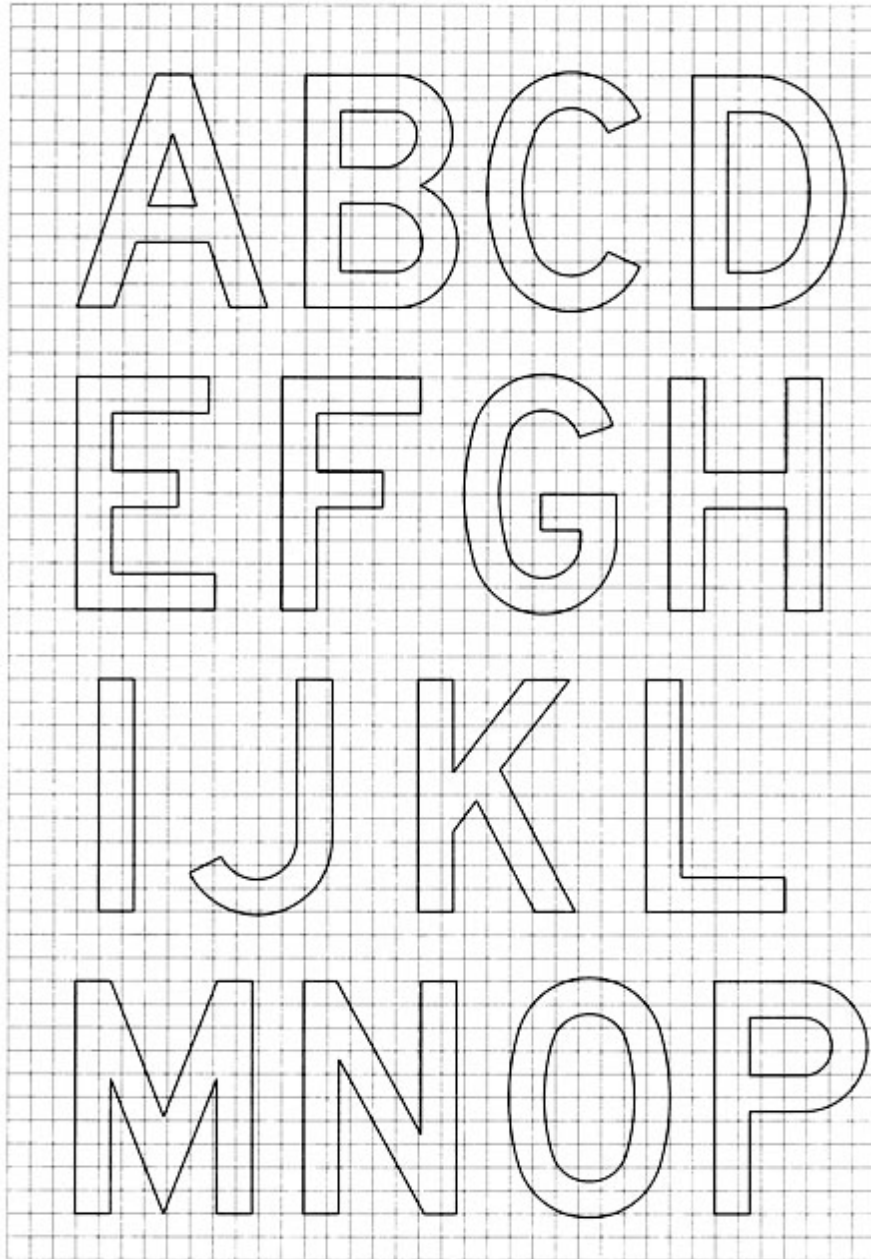
ALFABETO Y NUMEROS - SERIE B



3.3.2.6.5. SERIE "C"

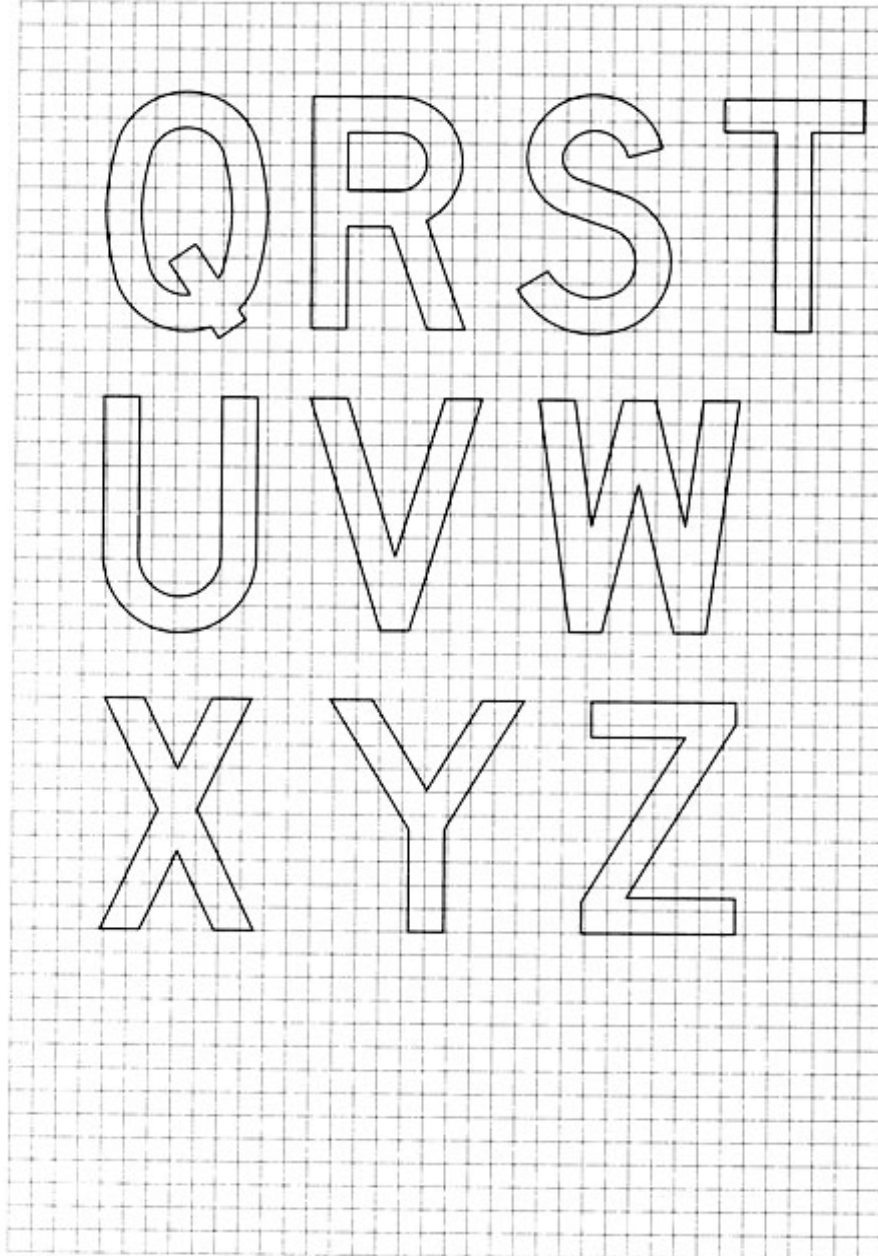
A. ALFABETO Y NÚMEROS SERIE "C" (A – P)

ALFABETO Y NUMEROS - SERIE C



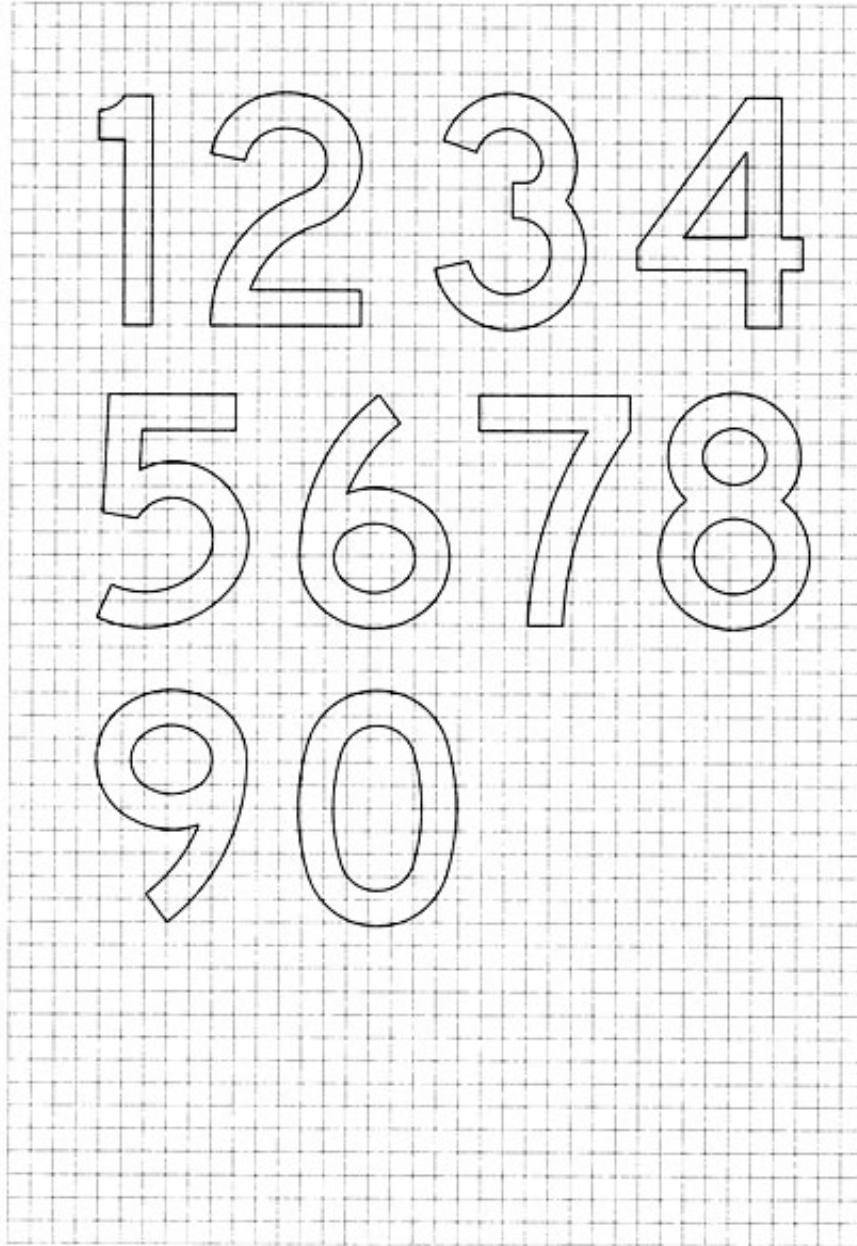
B. ALFABETO Y NÚMEROS SERIE "C" (Q – Z)

ALFABETO Y NUMEROS - SERIE C



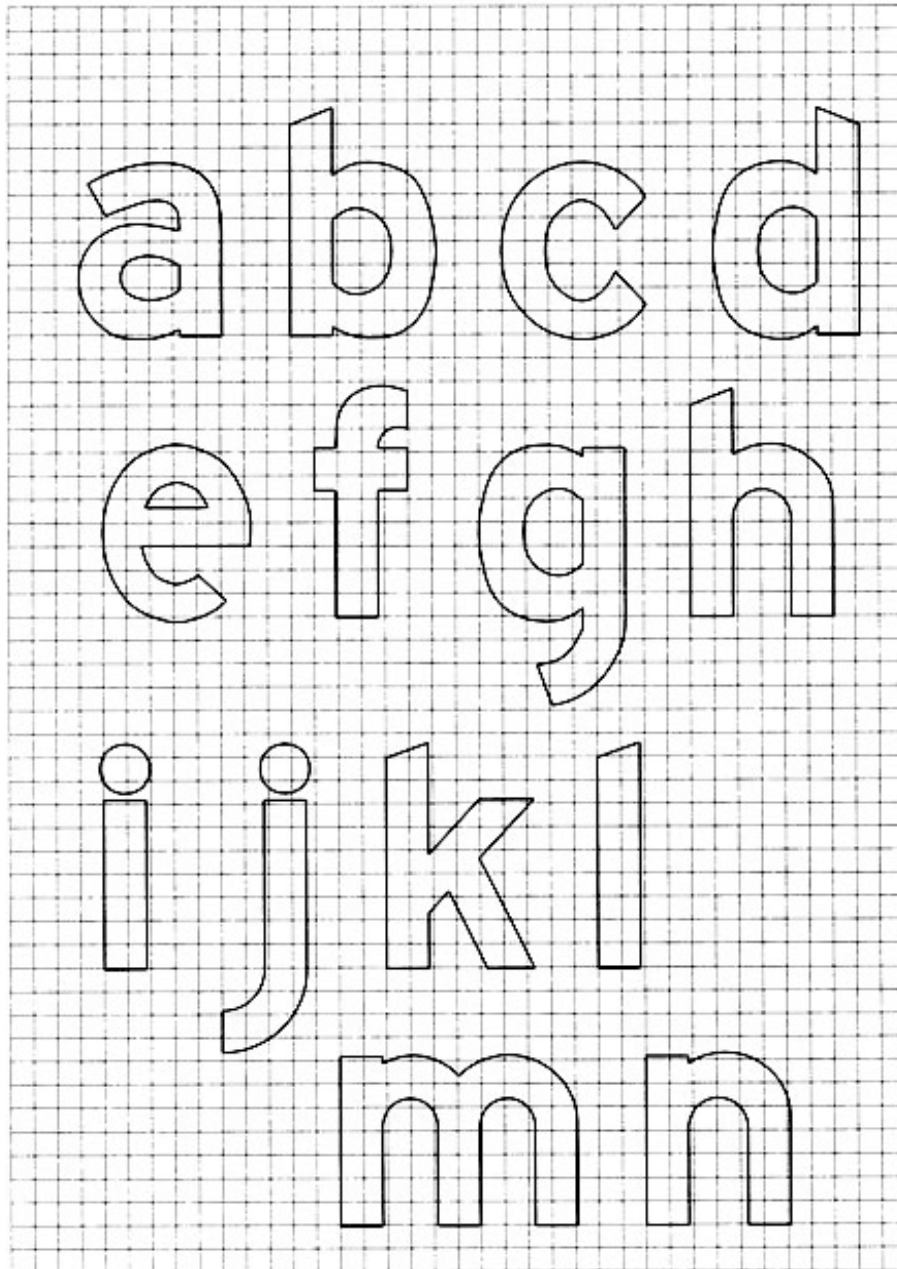
C. ALFABETO Y NÚMEROS SERIE "C" (1 – 0)

ALFABETO Y NUMEROS - SERIE C



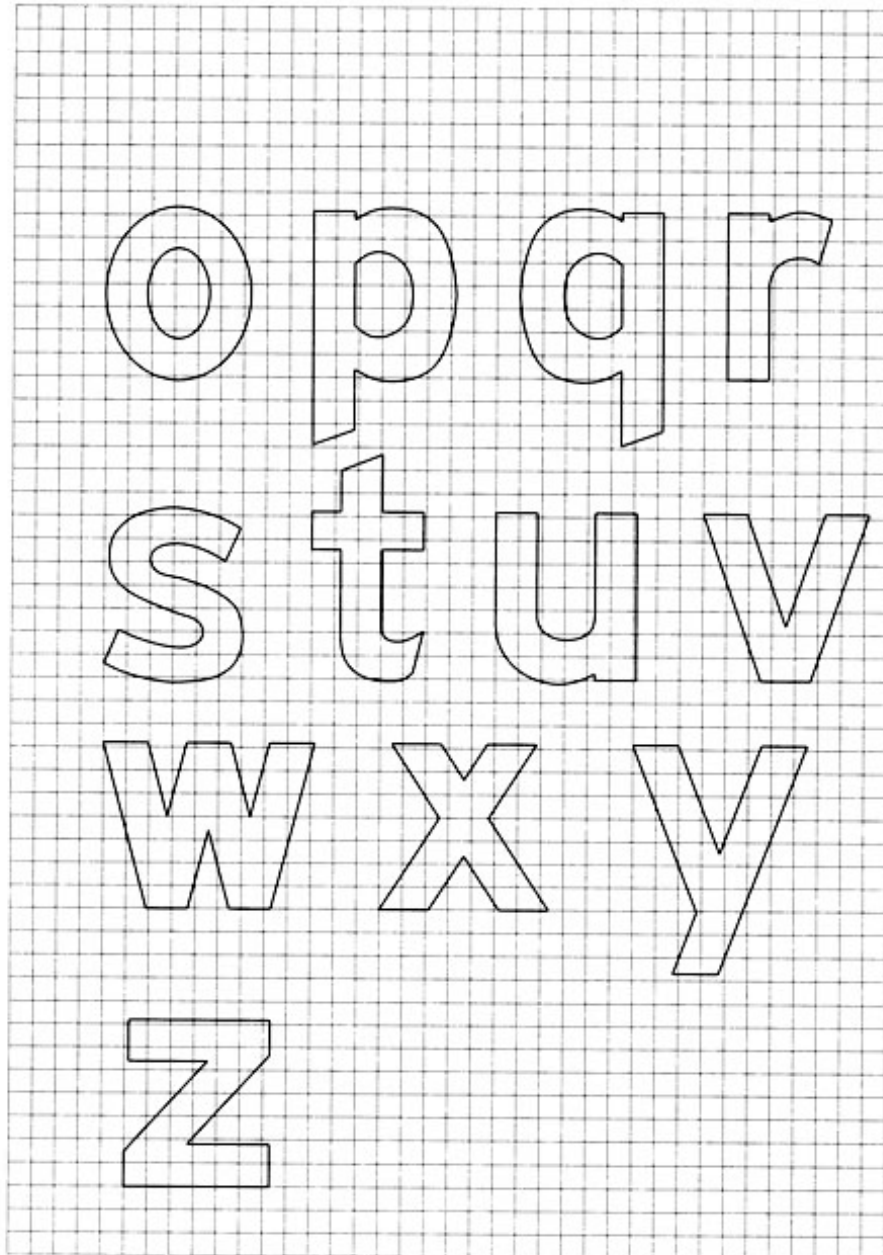
D. ALFABETO DE MINÚSCULAS SERIE "C" (A – N)

ALFABETO DE MINÚSCULAS - SERIE C



E. ALFABETO DE MINÚSCULAS SERIE "C" (O – Z)

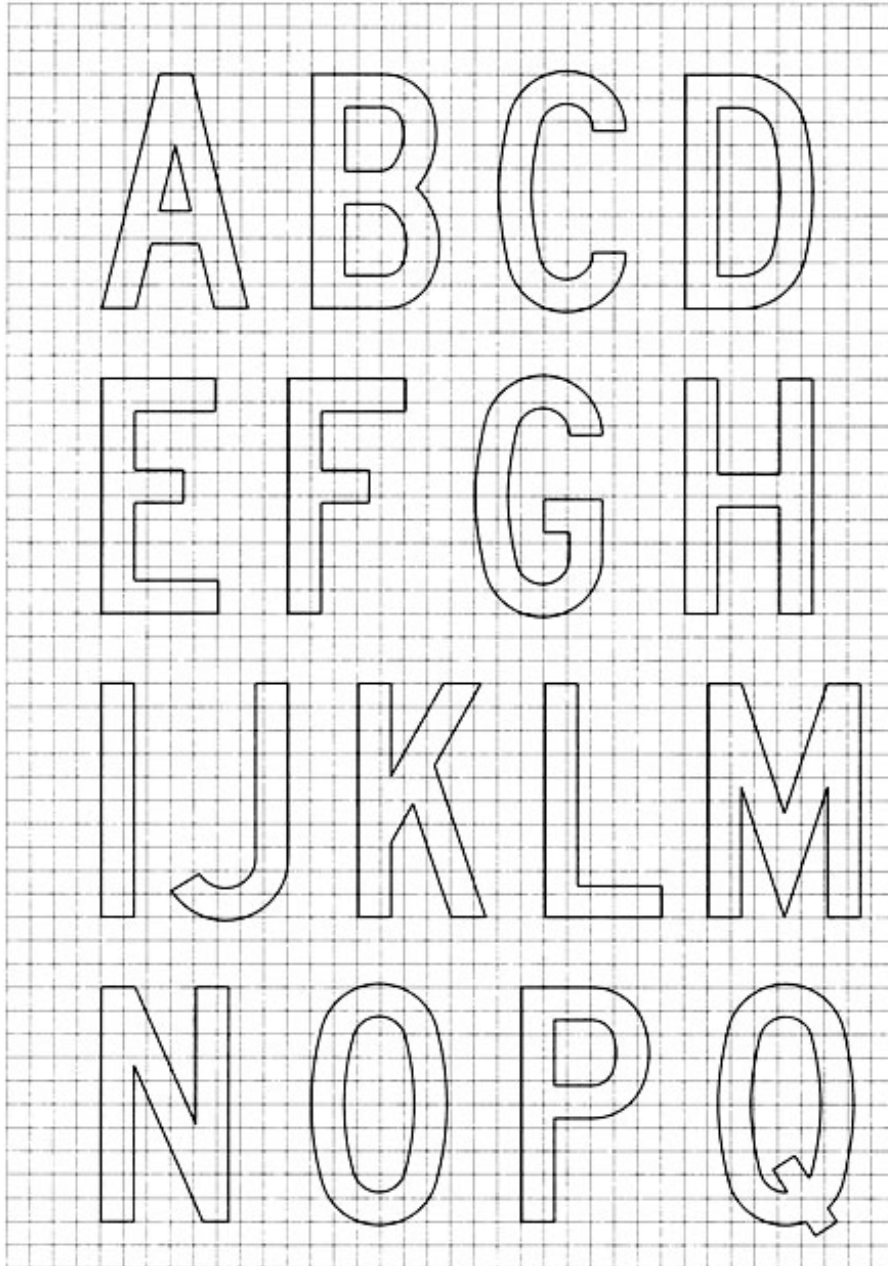
ALFABETO DE MINÚSCULAS - SERIE C



3.3.2.6.6. SERIE "D"

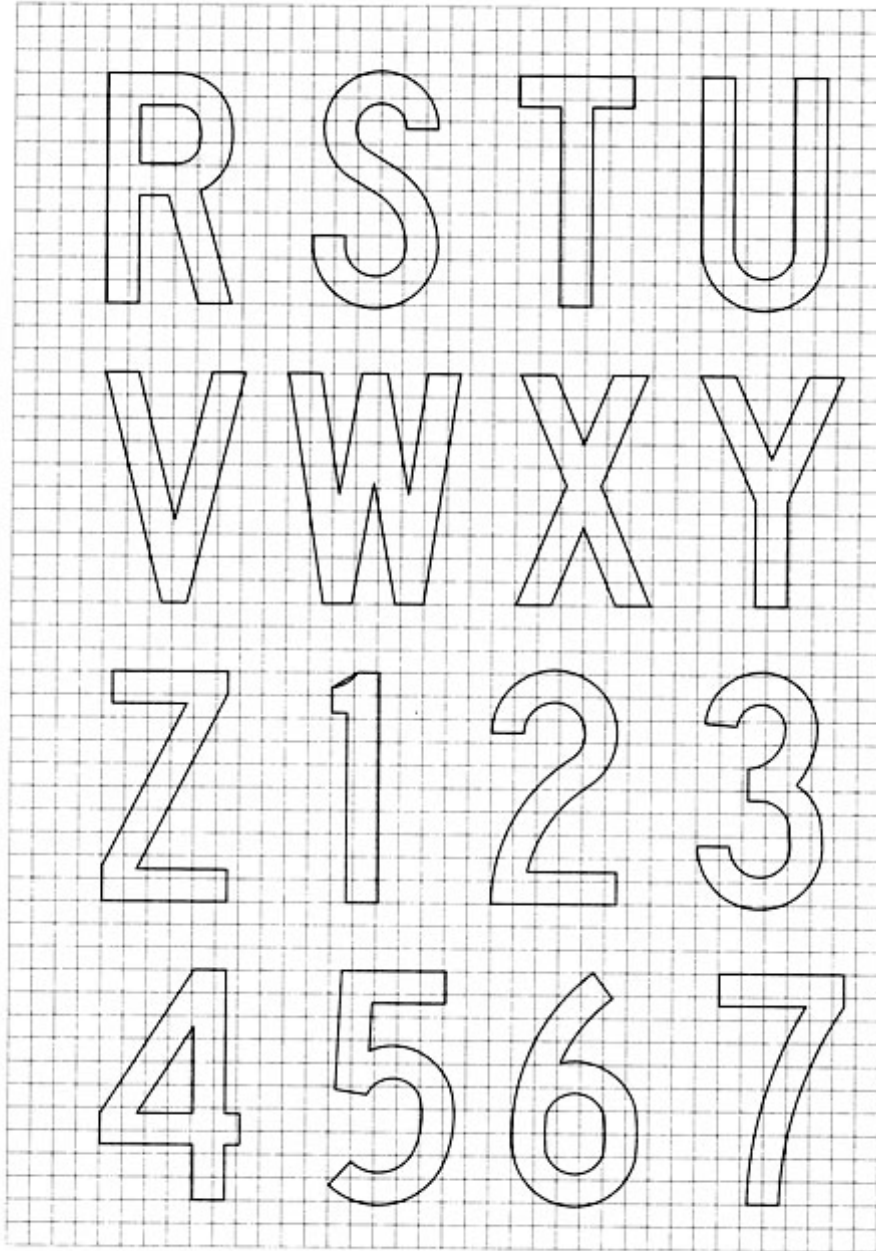
A. ALFABETO Y NÚMEROS SERIE "D" (A – Q)

ALFABETO Y NUMEROS - SERIE D



B. ALFABETO Y NÚMEROS SERIE "D" (R - Z - 1 - 7)

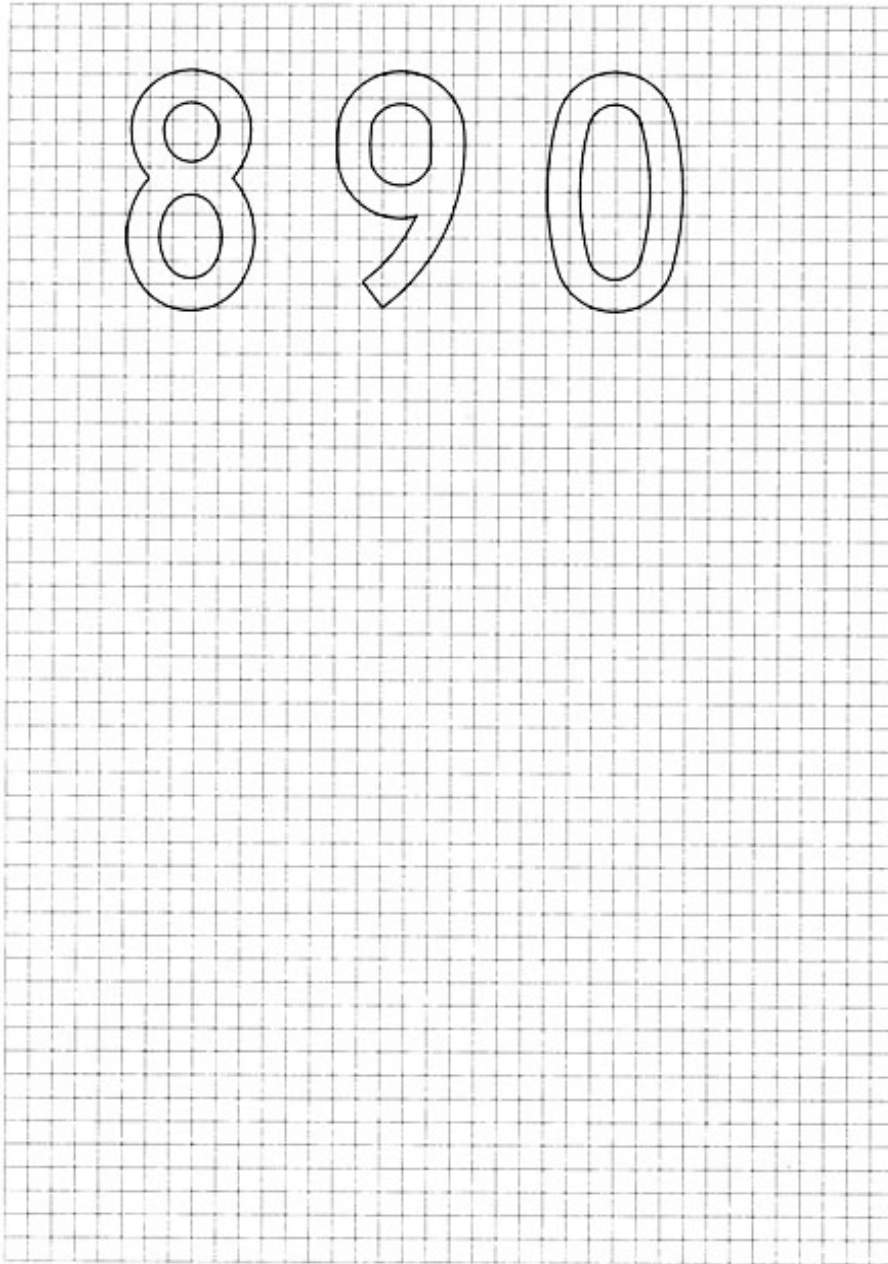
ALFABETO Y NUMEROS - SERIE D



...

C. ALFABETO Y NÚMEROS SERIE "D" (8 – 0)

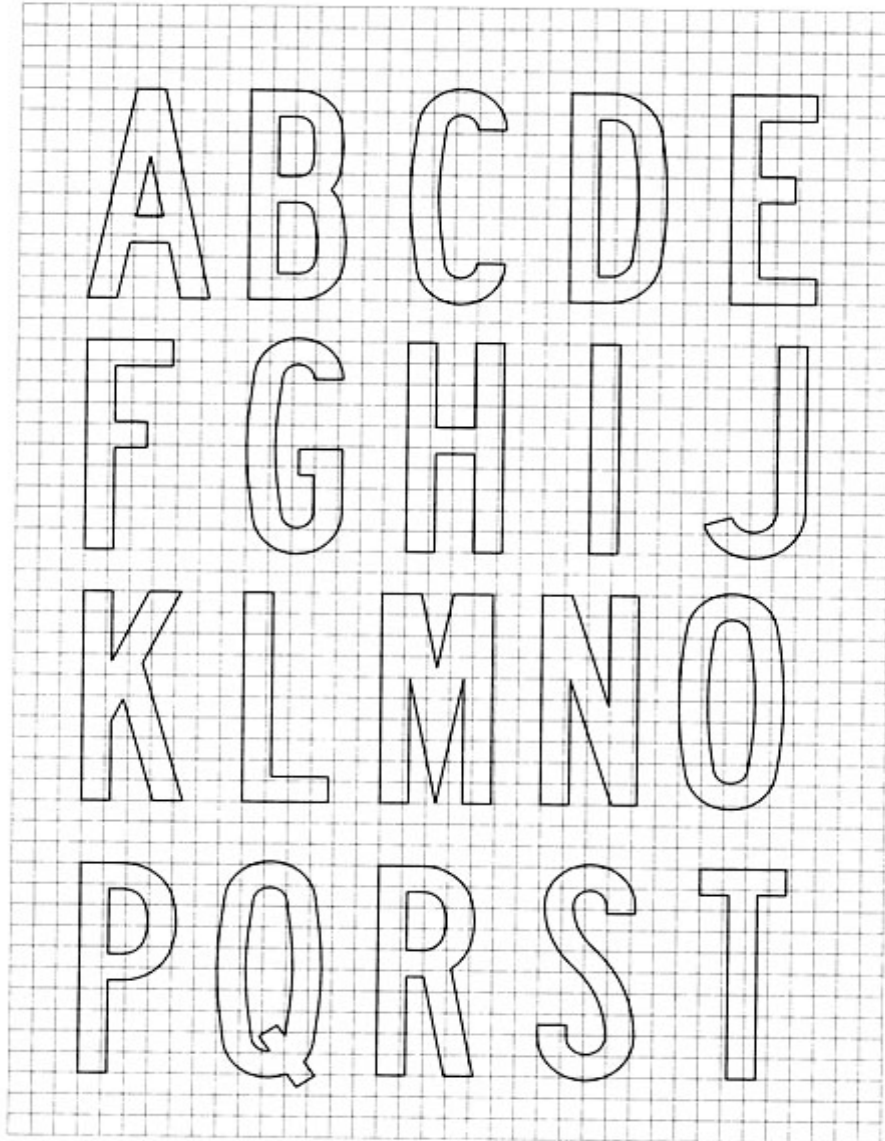
ALFABETO Y NUMEROS - SERIE D



3.3.2.6.7. SERIE "E"

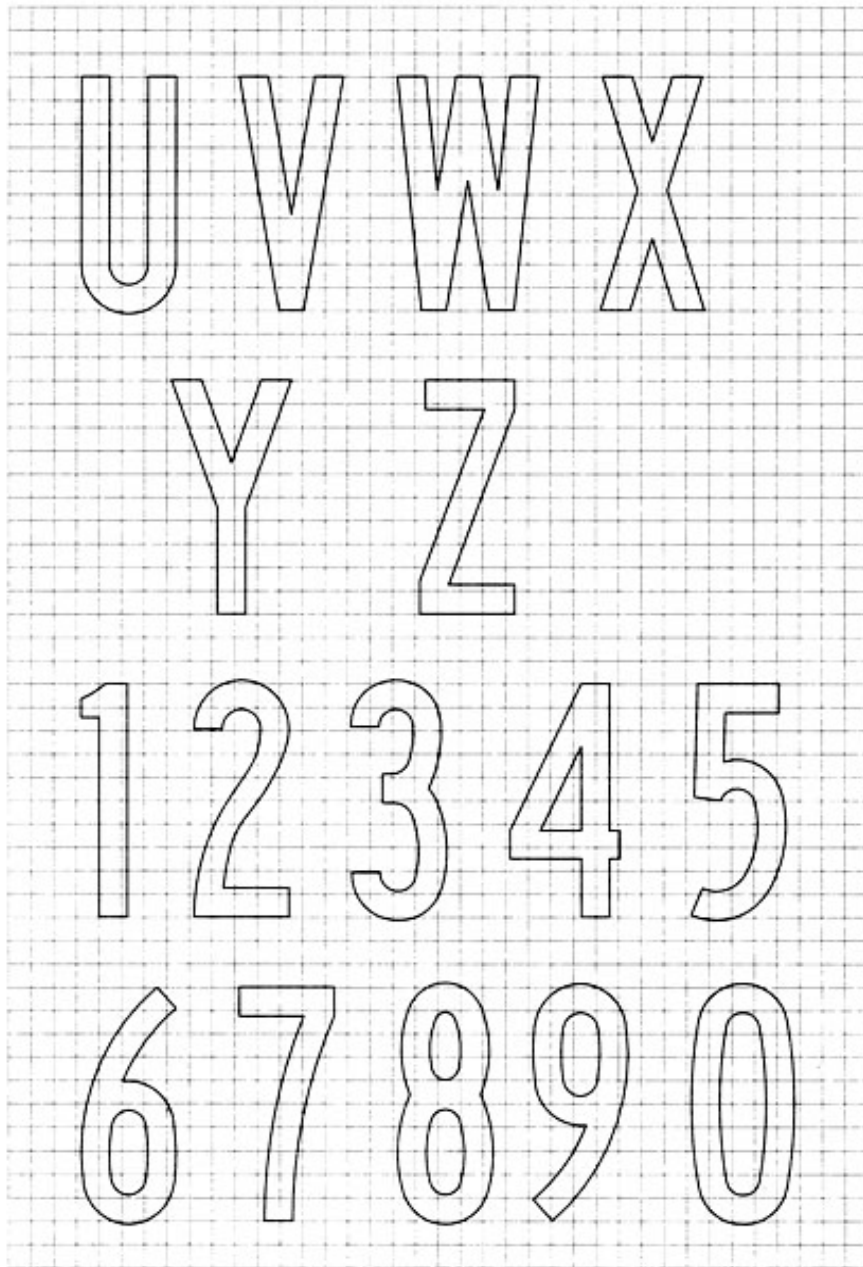
A. ALFABETO Y NÚMEROS SERIE "E" (A – T)

ALFABETO Y NUMEROS - SERIE E



B. ALFABETO Y NÚMEROS SERIE "E" (U - Z - 1 - 0)

ALFABETO Y NUMEROS - SERIE E



SECCION 3.3.2.7. | SEMÁFOROS

Se exponen las principales características de los semáforos, uso, clasificación (para el control del tránsito, para pasos peatonales y los especiales), elementos que lo componen, ubicación, estudios de tránsito para justificar su uso, etc. Igualmente se incluyen las características de los detectores para peatones, de aproximación de trenes y los de uso común para semáforos accionados por el tránsito.



Los semáforos son dispositivos de señalización mediante los cuales se regula la circulación de vehículos, bicicletas y peatones en vías, asignando el derecho de paso o prelación de vehículos y peatones secuencialmente, por las indicaciones de luces de color rojo, amarillo y verde, operadas por una unidad electrónica de control.

El semáforo es un dispositivo útil para el control y la seguridad, tanto de vehículos como de peatones.

3.3.2.7.1. CLASIFICACIÓN

De acuerdo con el mecanismo de operación de sus unidades de control, los semáforos se clasifican en:

- Semáforos para el control del tránsito de vehículos.
- Semáforos para pasos peatonales.
- Semáforos especiales.

3.3.2.7.2. ELEMENTOS QUE COMPONEN EL SEMÁFORO

El semáforo consta de una serie de elementos físicos, como la cabeza, soportes, cara, lentes, visera y placa de contraste.

A. CABEZA

Es la armadura que contiene las partes visibles del semáforo. Cada cabeza encierra un número determinado de caras orientadas en diferentes direcciones.

B. SOPORTES

Son las estructuras que se usan para sujetar la cabeza del semáforo y tienen como función situar los elementos luminosos del semáforo en la posición donde el conductor y el peatón tengan la mejor visibilidad y puedan observar sus indicaciones.

C. CARA

Es el conjunto de unidades ópticas (lente, reflector, lámpara o bombilla y portalámparas) que están orientadas en la misma dirección. En cada cara del semáforo existirán como mínimo dos, usualmente tres, o más unidades ópticas para regular uno o más movimientos de circulación.

D. LENTE

Es la parte de la unidad óptica que por refracción dirige la luz proveniente de la lámpara y de su reflector en la dirección deseada.

E. VISERA

Es un elemento que se coloca encima o alrededor de cada una de las unidades ópticas, para evitar que, a determinadas horas, los rayos del sol incidan sobre éstas y den la impresión de estar iluminadas, así como también para impedir que la señal emitida por el semáforo sea vista desde otros lugares distintos hacia el cual está enfocado.

F. PLACA DE CONTRASTE

Elemento utilizado para incrementar la visibilidad del semáforo y evitar que otras fuentes lumínicas confundan al conductor.

3.3.2.7.3. EQUIPO DE CONTROL

Es un mecanismo electromecánico o electrónico que sirve para ordenar los cambios de luces en los semáforos.

Adicionalmente puede realizar las siguientes funciones:

- procesar la información generada por los detectores para ajustar los tiempos a las necesidades de la intersección;
- recibir y enviar información a un centro de control o controlador maestro con el fin de operar en forma coordinada; y
- proveer los elementos que garanticen la seguridad de los usuarios evitando señalizaciones conflictivas y reportar al centro de control el tipo de falla que puede presentar.

3.3.2.7.4. DETECTORES

Son dispositivos capaces de registrar variables de tránsito tales como: volumen, velocidad, ocupación, sentido, tipo de tránsito, presencia, etc., y generar señales para ser analizadas por el controlador local o el controlador central.

3.3.2.7.5. MANTENIMIENTO

Un mantenimiento adecuado es muy importante para el funcionamiento eficiente de los semáforos y para prolongar la vida útil de los mismos. Además, la autoridad y el respeto que los semáforos inspiran es debido únicamente a sus indicaciones precisas y exactas. Semáforos con

indicaciones imprecisas no pueden imponer el respeto necesario. Los costos de mantenimiento se deben tomar en cuenta al adquirir el equipo; a veces, un bajo costo inicial puede resultar antieconómico si el costo de mantenimiento es elevado.

Deben llevarse registros de mantenimiento detallado y analizarse a intervalos regulares para determinar las prácticas futuras a seguir en cuanto a las compras de equipos y al programa de mantenimiento.

Los registros de trabajo de mantenimiento, bien llevados, son útiles desde varios puntos de vista:

- Su análisis ayudará a determinar si el programa de trabajo de mantenimiento que se está siguiendo es satisfactorio.
- El análisis de los costos sirve para determinar los equipos más convenientes de adquirir en el futuro y para mejorar los procedimientos de mantenimiento.
- Los registros de mantenimiento con frecuencia son de utilidad a las autoridades que intervienen en caso de accidentes.

Los registros de mantenimiento contendrán los tiempos empleados y los costos de limpieza, lubricación, ajuste en los tiempos o pre-sincronización, reparaciones generales, reposiciones de lámparas, pintura y trabajos diversos de cada uno de los semáforos y controles.

Todo el equipo de los semáforos debe ser pintado por lo menos cada año (o con más frecuencia, si ello fuere necesario) y limpiado cada seis meses para evitar la corrosión, mantener los elementos ópticos en buenas condiciones de luminosidad y mantener la buena apariencia de los mismos.

Los postes y ménsulas deberán pintarse en color amarillo o blanco, con franjas negras y repintarse cada año como mínimo, o con mayor frecuencia si es necesario. Las partes internas de las viseras que se usan alrededor de las lentes, al igual que el semáforo, deberán pintarse en negro mate para reducir la reflexión de la luz.

3.3.2.7.6. PREVISIÓN DE INSTALACIONES

Al instalarse semáforos en una intersección, si se prevén modificaciones, ampliaciones o cualquier tipo de cambio físico o de diseño en un futuro razonable, deberán prepararse instalaciones y circuitos adicionales para minimizar los costos de material y trabajo.

3.3.2.7.7. SEMÁFOROS PARA EL CONTROL DEL TRÁNSITO DE VEHÍCULOS

Los semáforos para el control del tránsito de vehículos se clasifican de la siguiente forma:

- a) SEMÁFOROS DE TIEMPOS FIJOS O PREDETERMINADOS (Dependientes del tiempo).
- b) SEMÁFOROS ACCIONADOS O ACTIVADOS POR EL TRÁNSITO (Dependientes del tránsito):
 - Totalmente accionados (totalmente dependientes del tránsito).
 - Parcialmente accionados (semidependientes del tránsito).

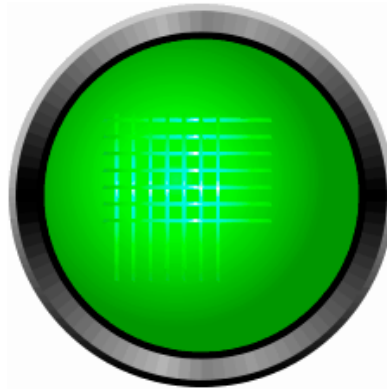
3.3.2.7.8. SIGNIFICADO DE LAS INDICACIONES

Las lentes de los semáforos para el control vehicular deberán ser de color rojo, amarillo y verde. Cuando se utilicen flechas, éstas también serán rojas, amarillas y verdes sobre fondo negro.

Las lentes de las caras de un semáforo deberán formar una línea vertical. El rojo debe encontrarse sobre la parte alta, en medio el amarillo, y el verde abajo.

La interpretación de los colores de los semáforos es como sigue:

A. VERDE



Los conductores de los vehículos y el tránsito vehicular que observen esta luz podrán seguir de frente o girar a la derecha, a menos que alguna señal (reflectorizada o preferentemente iluminada) prohíba dichos giros, siempre y cuando se tenga la vía despejada de peatones o de otros vehículos.

Los peatones que avancen hacia el semáforo y observen esta luz podrán cruzar la vía (por los pasos peatonales marcados) a menos que algún otro semáforo indique lo contrario.

Cuando la lente verde funcione con destellos intermitentes, advierte a los conductores el final de tiempo de luz verde cuando se utiliza la secuencia de rojo-verde-verde intermitente-rojo.

B. AMARILLO



Advierte a los conductores de los vehículos que el período de verde asignado a un flujo vehicular ha terminado y está a punto de iniciar el período de rojo y, por lo tanto, debe asumir una conducta de prevención tal como sigue:

- Finalizar su marcha si está muy próximo a la intersección y una frenada brusca podría ocasionar situaciones peligrosas con los vehículos de atrás.
- Detener su marcha con el fin de que la intersección no sea bloqueada y los vehículos de las demás corrientes pueden circular en el período de verde que va a iniciar.

Algunas condiciones físicas especiales de la intersección, tales como dimensiones, topografía (pendientes muy pronunciadas), altas velocidades de aproximación o tránsito intenso de vehículos pesados, requieren un intervalo o duración mayor que el normal para despejar la intersección.

En tal caso, se empleará un intervalo normal de amarillo seguido de la luz roja en todas las direcciones, durante otro intervalo adicional, para desalojar totalmente la intersección.

En ningún caso se cambiará de luz verde a luz roja o rojo intermitente sin que antes aparezca el amarillo durante el intervalo necesario para desalojar la intersección. Sin embargo, no se empleará en cambios de rojo a verde total con flecha direccional, o al amarillo intermitente.

Cuando se ilumine la lente amarilla con destellos intermitentes, los conductores de los vehículos realizarán el cruce con precaución. El amarillo intermitente deberá emplearse en la vía que tenga preferencia.

El amarillo fijo no debe ser usado como señal de precaución.

C.ROJO



Los vehículos y el tránsito vehicular deben detenerse antes de la línea de PARE y si no la hay a una distancia de dos metros antes del semáforo, deben permanecer parados hasta que aparezca el verde correspondiente. Es recomendable que en los tiempos de seguridad de las intersecciones siempre se incluya un período de todo rojo como parte de éste.

Ningún peatón frente a esta luz debe cruzar la vía, a menos que esté seguro de no interferir con algún vehículo o que un semáforo peatonal indique su paso.

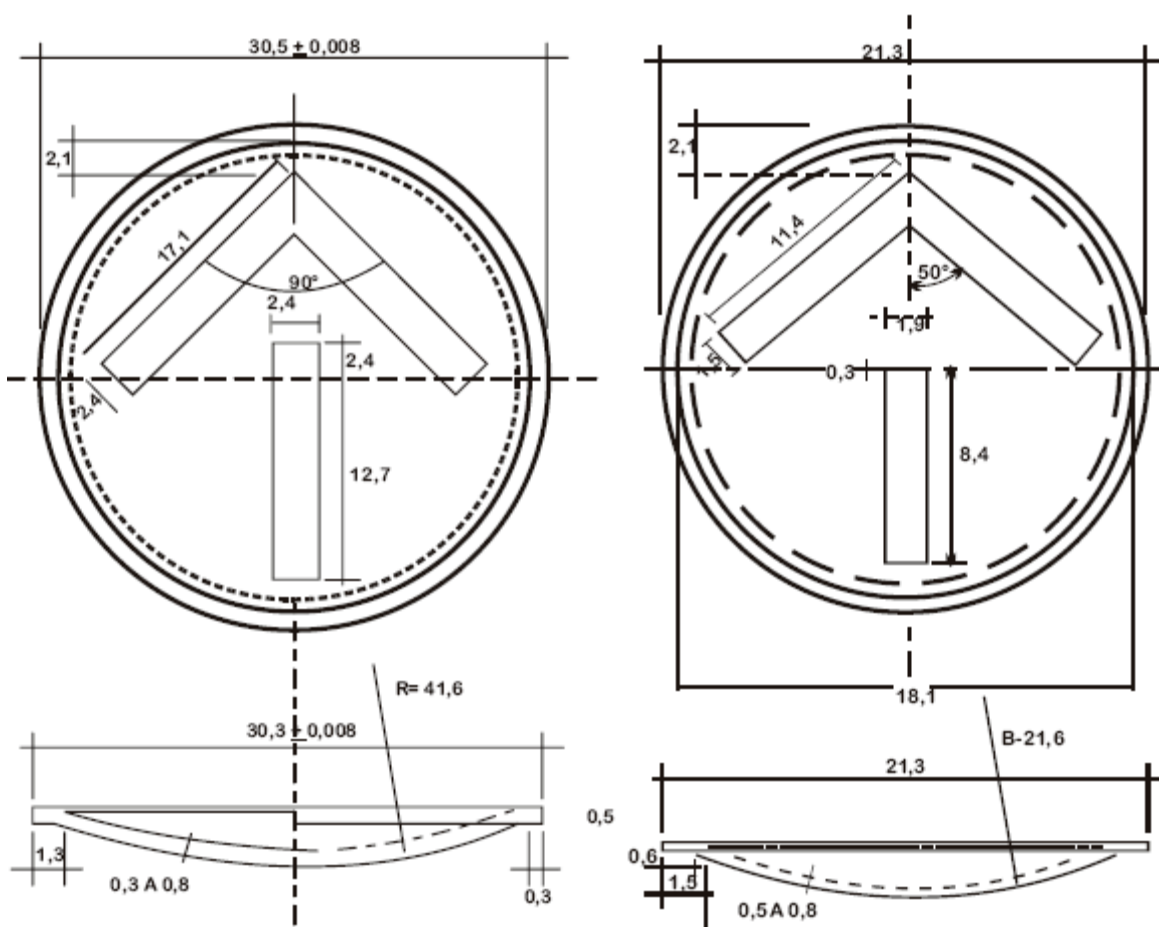
Nunca deberán aparecer simultáneamente combinaciones en los colores de los semáforos, excepto cuando haya flechas direccionales con amarillo o con rojo, o cuando se use el amarillo con rojo para alertar a los conductores del próximo cambio a verde.

Cuando se ilumine una lente roja con destellos intermitentes, los conductores de los vehículos harán un PARE obligatorio y se detendrán antes de la línea de PARE. El rojo intermitente se em-

pleará en el acceso a una vía preferencial. El rojo intermitente operará como una señal vertical de PARE.

D. FLECHAS PARA GIRO A LA IZQUIERDA O A LA DERECHA

- Los conductores de los vehículos girarán a la izquierda o a la derecha, según lo indique la flecha, y de acuerdo con el color que exhiban.
- El tránsito vehicular que gira en una intersección debe ceder el derecho de vía a los peatones que se encuentren legalmente dentro de la calzada.
- La eficiencia de las flechas direccionales se aumenta considerablemente si existen canales especiales para el movimiento o giro indicado, complementados con marcas en el pavimento y con una señalización adecuada.
- Cuando se intenta permitir que el tránsito se mueva desde cierto carril haciendo determinado giro, pero prohibiendo que proceda de frente, deben encenderse la lente roja para esos vehículos al mismo tiempo que la lente verde con flecha hacia el lado que permita el giro. Cuando se intenta permitir que el tránsito direccional o desde cualquier carril proceda de frente, pero prohibiéndole cierto giro o giros, debe iluminarse una flecha verde para cada una de las direcciones y la lente roja de la misma cara no debe encenderse.
- Las flechas serán la única parte iluminada de la lente y se reproducirán de acuerdo con las dimensiones y formas que se indican en la Figura 3.3.2_ 82.



Flecha direccional en lente de 20 cm.

Flecha direccional en lente de 30 cm

Figura 3.3.2_ 82. DIMENSIONES Y FORMAS PARA FLECHAS EN SEMÁFOROS

3.3.2.7.9. SECUENCIAS DE ENCENDIDO Y APAGADO DE LAS LUCES

El orden en que se encienden y apagan las luces de los semáforos, entre otras, pueden tener la siguiente secuencia, dependiendo de la conducta de los conductores y peatones:

- a) En semáforos vehiculares:
Rojo-Verde-Amarillo-Rojo
Rojo-Rojo y Amarillo-Verde-Amarillo-Rojo
- b) En semáforos peatonales:
Verde-Rojo

3.3.2.7.10. CARAS

Existen los siguientes tipos de montaje de caras de semáforos:

- Al lado de la vía de tránsito:
 - Postes entre 2,50 y 4,50 metros de alto.
 - Brazos cortos adheridos a los postes (a las mismas alturas).
- Por encima y dentro de la vía de tránsito:
 - Brazos largos que se extienden de los postes dentro de la vía.
 - Suspendidos mediante cables.
 - Postes o pedestales en islas.

Los accesorios de fijación deben permitir ajustes verticales y horizontales hasta cualquier ángulo razonable.

Debe haber un mínimo de dos caras para cada punto de aproximación o acceso del tránsito vehicular a la intersección. Estas pueden ser suplementadas con semáforos peatonales, donde éstos sean requeridos, los cuales se ubicarán a cada lado del paso peatonal.

Las dos o más caras de semáforos adecuadamente instaladas le permitirán a los conductores observar al menos una indicación prácticamente en todo momento, aunque uno de los semáforos sea obstruido momentáneamente por vehículos grandes, y representa un factor de seguridad en caso de resplandor del sol del día, de luz excesiva por anuncios luminosos durante la noche o cuando se funda algún bombillo.

La necesidad de instalar más de dos caras por acceso a la intersección o aproximación dependerá de las condiciones locales especiales, tales como número de carriles, necesidad de indicaciones direccionales o de giro, configuración de la intersección, isletas para canalización, etc.

Las caras de los semáforos se ubicarán de tal manera que sean visibles a los conductores que se aproximan a la intersección, considerando que para cada uno de los carriles en el acceso, deberá colocarse una cara de semáforos.

En cada acceso se ubicarán conforme a las recomendaciones siguientes:

- En vías unidireccionales.

- De uno o dos carriles: se ubicarán dos semáforos con soportes de tipo poste o pedestal a cada lado de la vía, o una ménsula al lado derecho de la vía, en función de la geometría de la intersección.
- De tres carriles: se ubicarán tres semáforos, dos en soportes tipo ménsula instalados al lado derecho de la vía y uno con soporte de tipo poste o pedestal al lado izquierdo.
- De cuatro o más carriles: se instalarán cuatro semáforos en soportes tipo ménsula ubicados a cada lado de la vía.
- En vías bidireccionales sin separador: Se utilizarán dos semáforos por acceso, instalados en soportes tipo ménsula ubicados al lado derecho de la vía.
- En vías bidireccionales con separador: Se seguirán los mismos criterios de vías unidireccionales, sólo que el soporte tipo poste o pedestal estará ubicado en el separador central.

En casos excepcionales en los cuales no sea posible instalar el soporte tipo ménsula en el lado derecho del acceso, podrá instalarse al lado izquierdo o en el separador.

La distancia entre la línea de PARE y el borde exterior de la acera perpendicular al acceso debe estar entre 7 y 11 metros, de tal manera que se garantice el paso peatonal y su demarcación como una prolongación de la acera. En todo caso, esta distancia no debe ser superior a 15 metros con el fin de evitar que los tiempos intermedios de despeje de la intersección sean muy grandes.

Semáforos por encima de la vía son recomendables en sitios donde, de otra manera, podrían fácilmente ser pasados por alto como en intersecciones rurales aisladas, en vías de alta velocidad que se cruzan con arterias urbanas o donde avisos luminosos y otras luces puedan interferir la buena visibilidad de semáforos ubicados a un lado de la vía.

Los semáforos por encima de la vía de tránsito son de poco valor para el tránsito peatonal; por eso, donde haga falta el control peatonal, debe establecerse con semáforos montados en pedestales.

Los semáforos ubicados en postes o pedestales dentro de la vía de tránsito deberían protegerse mediante islas, avisos e iluminación nocturna.

En las Figuras 3.3.2_ 83 a 3.3.2_ 90 se muestra la ubicación recomendable de las caras de los semáforos relacionando cada caso a la sección correspondiente.

La ubicación de la Figura 3.3.2_ 91 se utilizará cuando los semáforos se instalen en la prolongación de la línea de paso de peatones en el acceso a la intersección.

El semáforo instalado en poste deberá ubicarse a 1,0 metros medidos de la orilla exterior del bordillo a su parte más saliente. Cuando no exista la acera, se ubicará de tal manera que la proyección vertical de su parte más saliente coincida con el borde de la vía, fuera de la banquina. Ver Figura 3.3.2_ 92.

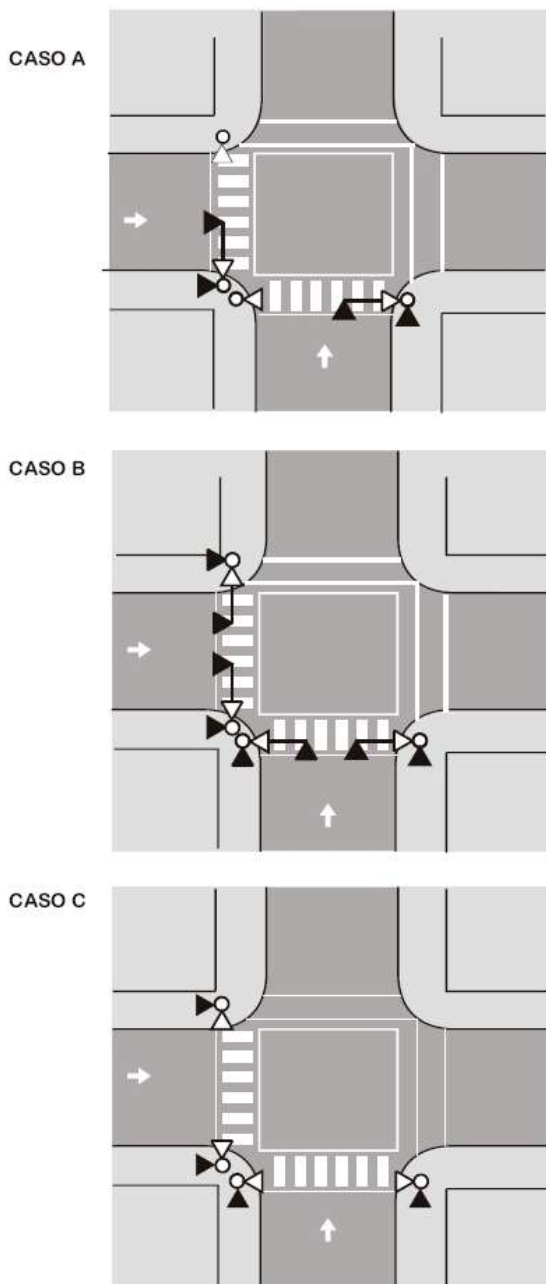
El semáforo con soporte del tipo brazo corto deberá ubicarse a 0,60 metros medidos desde la orilla externa del bordillo a su base. Cuando no exista la acera, se ubicará de tal manera que la base coincida con el borde de la vía, fuera de la banquina. Ver Figura 3.3.2_ 92.

Un semáforo con soporte del tipo ménsula larga deberá ubicarse a una distancia mínima de 0,60 metros medidos desde la orilla externa del cordón hasta la parte visible más saliente de su base. Cada semáforo deberá coincidir con el eje del carril que se desea controlar. Ver Figura 3.3.2_ 93.

Para un buen funcionamiento, la parte inferior de la cara del semáforo tendrá una altura libre equivalente a la suministrada por la Tabla 3.3.3_50 a continuación.

Tabla 3.3.2_50. ALTURA LIBRE DE LA CARA DEL SEMÁFORO

TIPO DE SOPORTE	ALTURA (m)	
	MÍNIMA	MÁXIMA
Semáforos con poste o ménsula corta	2,50	4,50
Semáforos con ménsula larga	4,50	6,00
Semáforos suspendidos por cables	4,50	6,00



La cara del semáforo instalado en soporte tipo poste o pedestal debe colocarse en posición vertical con una orientación de menos 6 grados hacia el centro de la vía con el fin de aumentar su visibilidad y a 90 grados con respecto al eje del acceso. En los de ménsula, deben estar de frente a la vía y con una inclinación de 5 grados hacia abajo.

-  Semáforo peatonal con soporte tipo poste
-  Semáforos vehicular y peatonal con soporte tipo poste
-  Semáforos vehicular y peatonal con soporte tipo poste y ménsula
-  Semáforo vehicular con soporte tipo poste
-  Semáforo vehicular con soporte tipo poste y ménsula
-  Semáforo vehicular y peatonal con soporte doble tipo poste y ménsula

Nota.

- Se recomienda un semáforo por carril. En accesos de un solo carril se instalarán dos semáforos por seguridad de señales.

Figura 3.3.2_83. UBICACIÓN Y NÚMERO RECOMENDABLE DE CARAS EN INTERSECCIONES DE CALLES DE UN SOLO SENTIDO

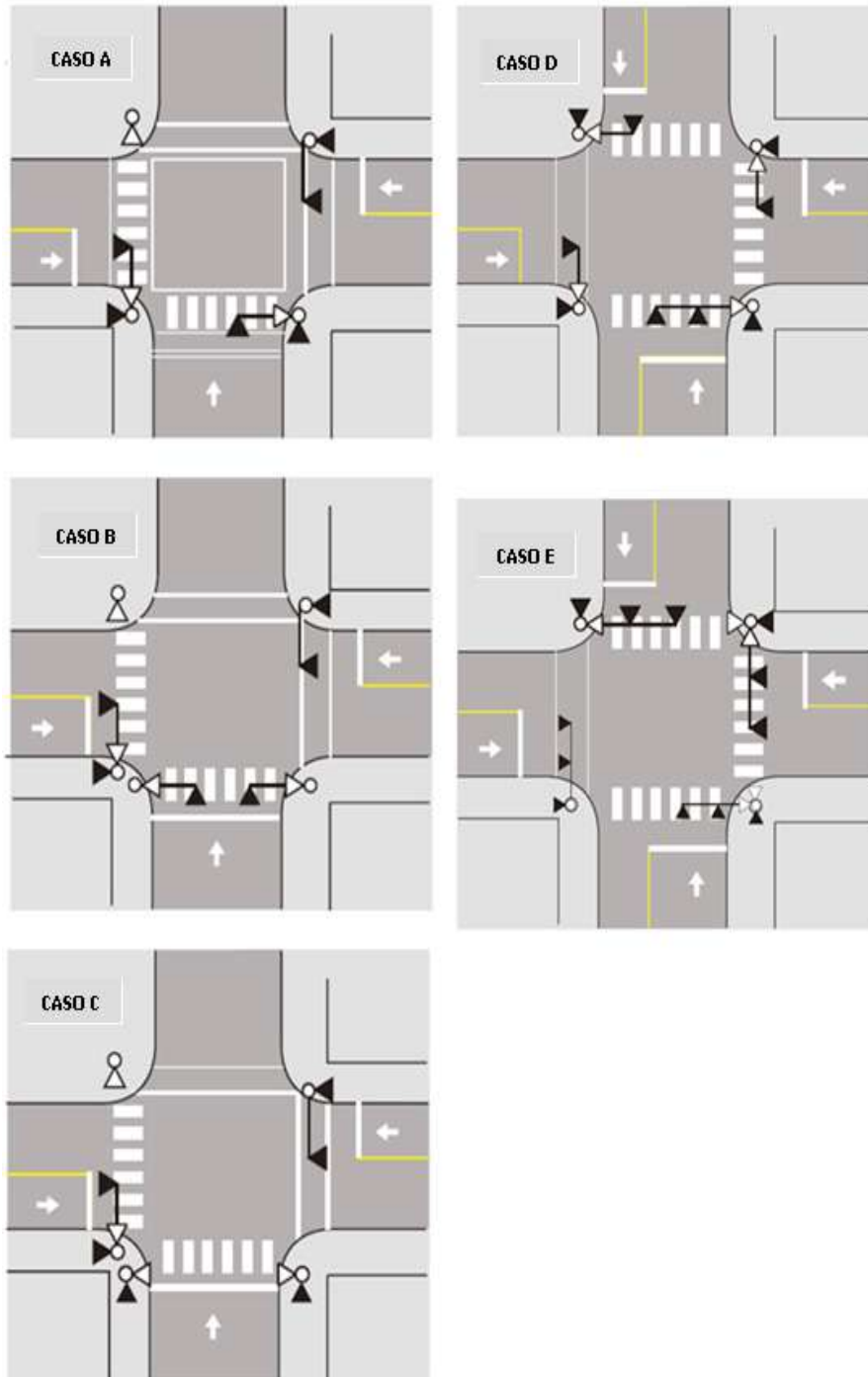


Figura 3.3.2_84. UBICACIÓN Y NÚMERO RECOMENDABLE DE CARAS EN INTERSECCIONES DE CALLES DE DOBLE SENTIDO

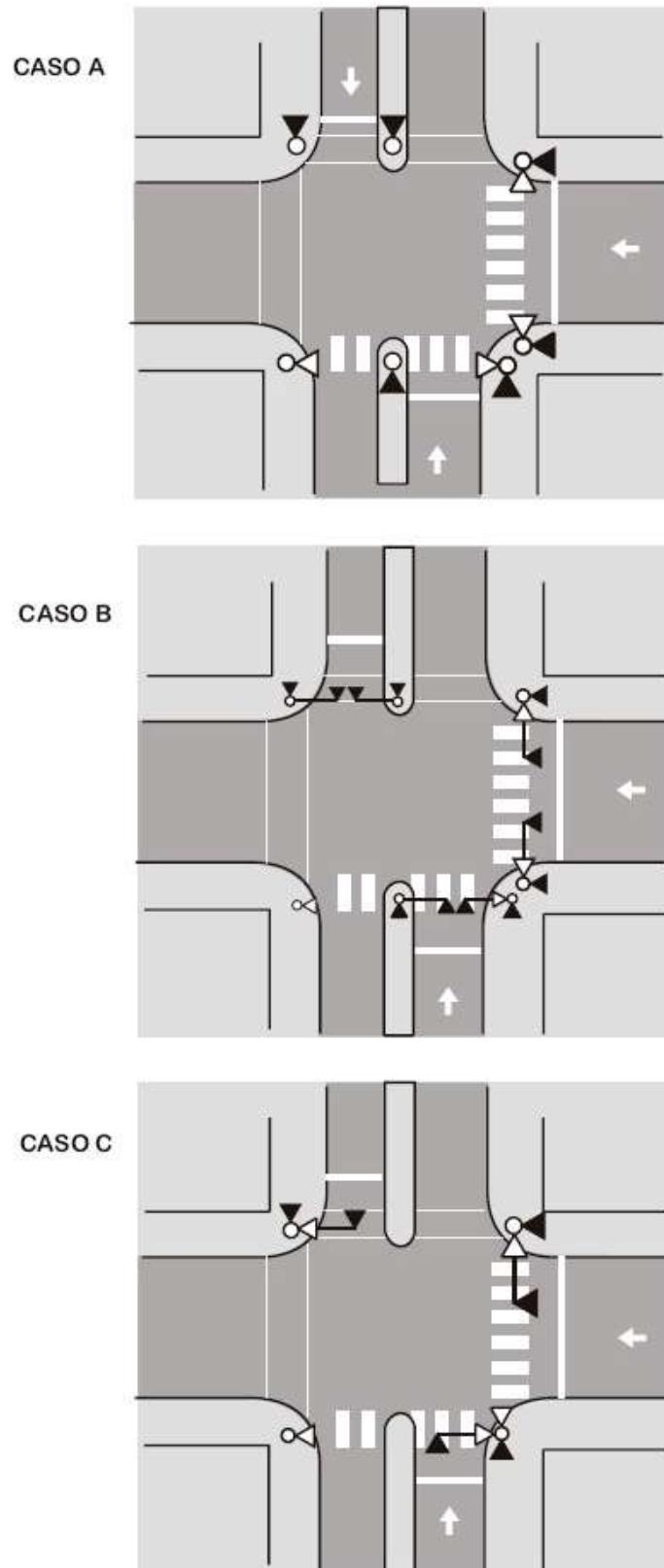


Figura 3.3.2_85. UBICACIÓN Y NÚMERO RECOMENDABLE DE CARAS EN INTERSECCIONES DE UNA CALLE DE DOBLE SENTIDO CON SEPARADOR CENTRAL Y CALLES DE UN SOLO SENTIDO

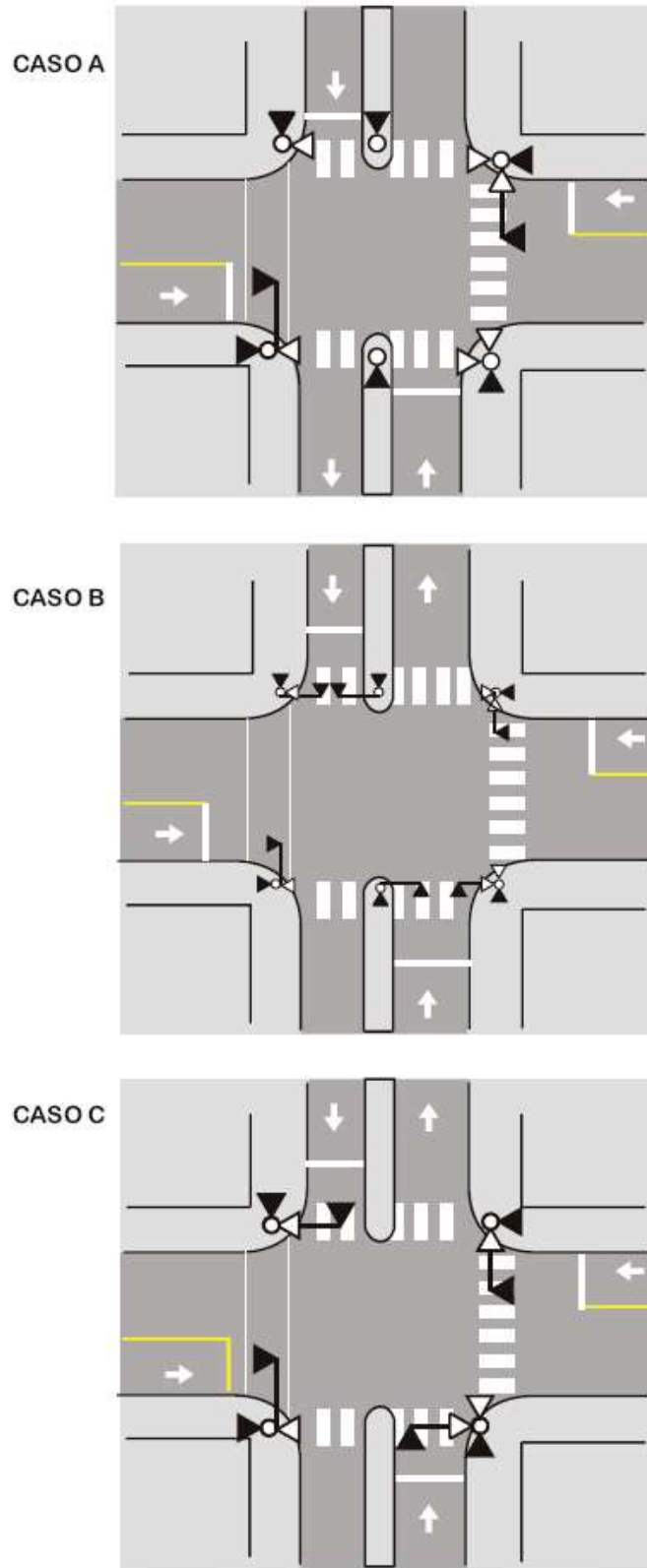


Figura 3.3.2_86. UBICACIÓN Y NÚMERO RECOMENDABLE DE CARAS EN INTERSECCIONES DE CALLES DE DOBLE SENTIDO, UNA CON SEPARADOR CENTRAL

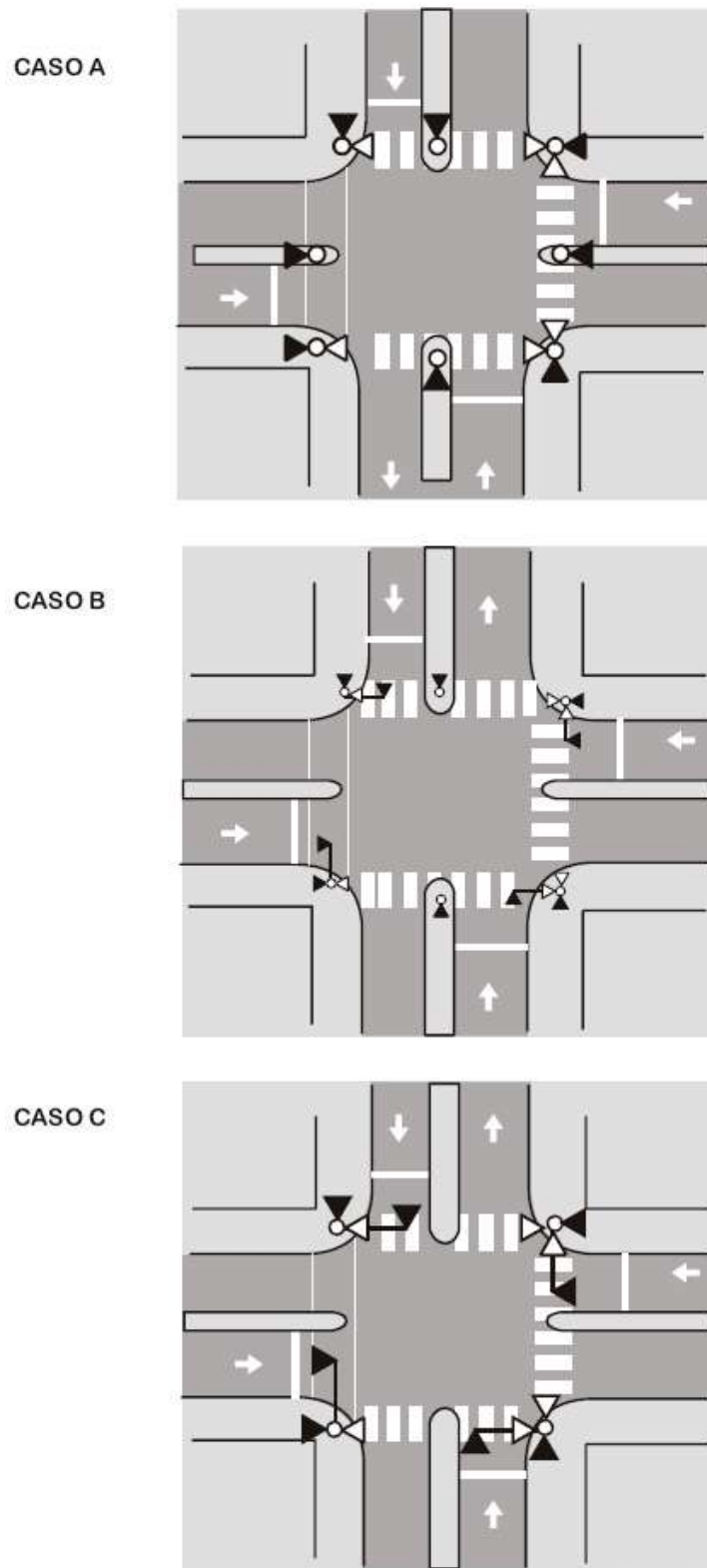


Figura 3.3.2_87. UBICACIÓN Y NÚMERO RECOMENDABLE DE CARAS EN INTERSECCIONES DE CALLES DE DOBLE SENTIDO CON SEPARADOR CENTRAL

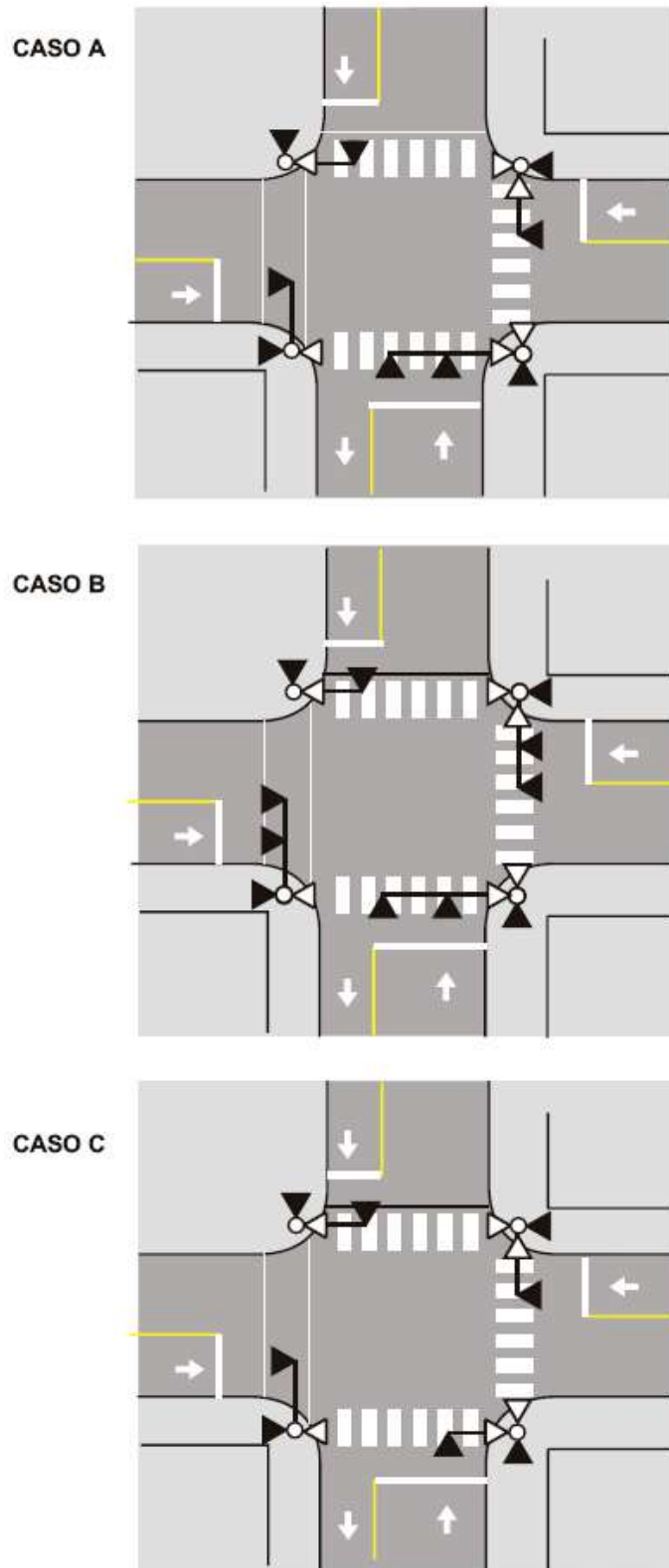


Figura 3.3.2_88. UBICACIÓN Y NÚMERO RECOMENDABLE DE CARAS EN INTERSECCIONES DE UNA VÍA RÁPIDA CON CALLE DE UN SOLO SENTIDO

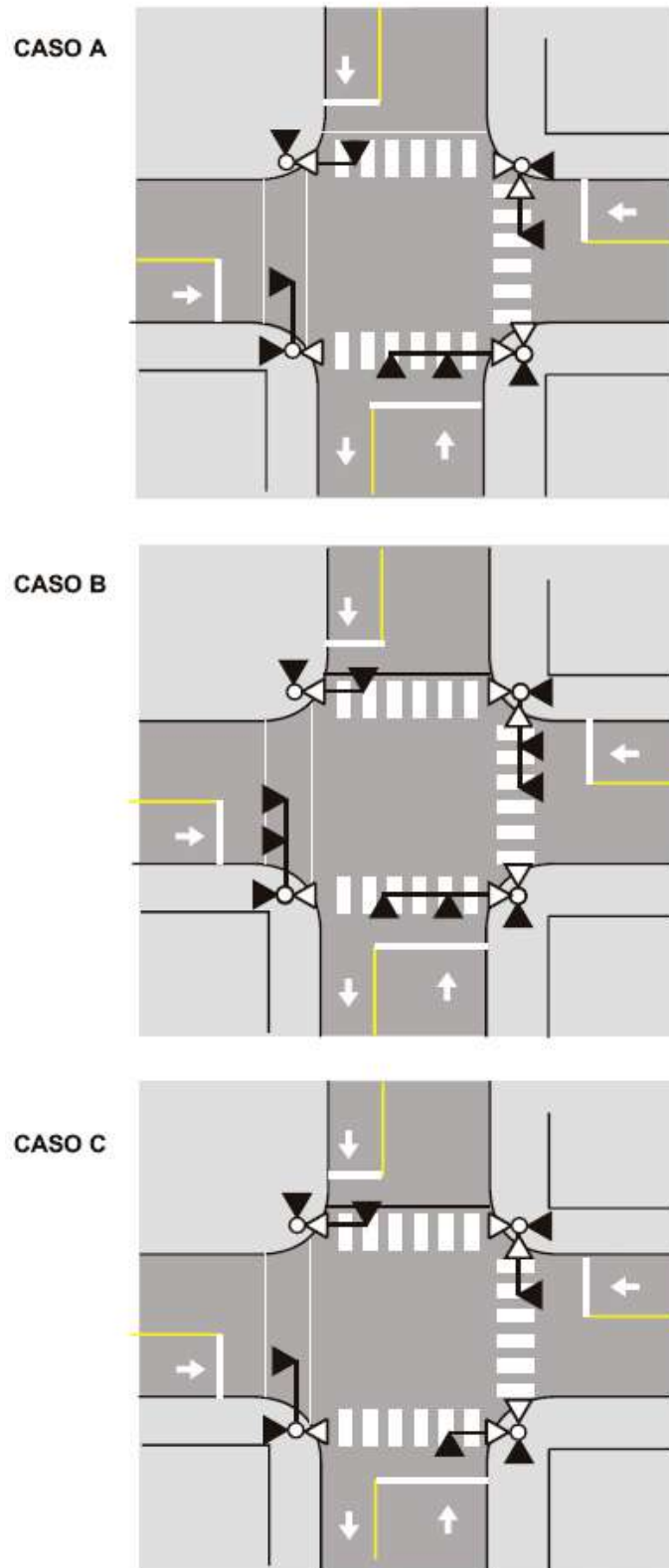


Figura 3.3.2_89. UBICACIÓN Y NÚMERO RECOMENDABLE DE CARAS EN INTERSECCIONES DE UNA VÍA RÁPIDA URBANA CON CARRIL DE CONTRAFLUJO, CON CALLES DE DOBLE SENTIDO

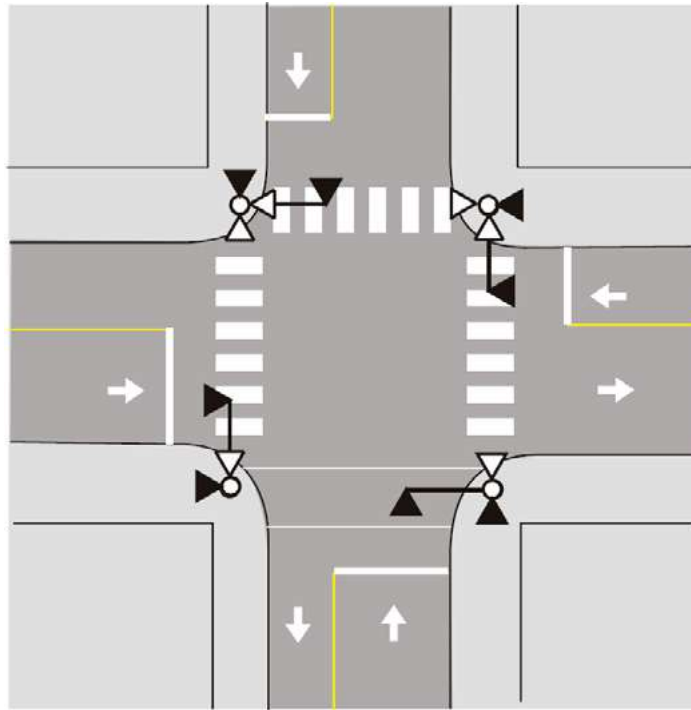


Figura 3.3.2_90. UBICACIÓN Y NÚMERO RECOMENDABLE DE CARAS EN INTERSECCIONES DE VÍAS RÁPIDAS URBANAS CON CARRIL EN CONTRAFLUJO

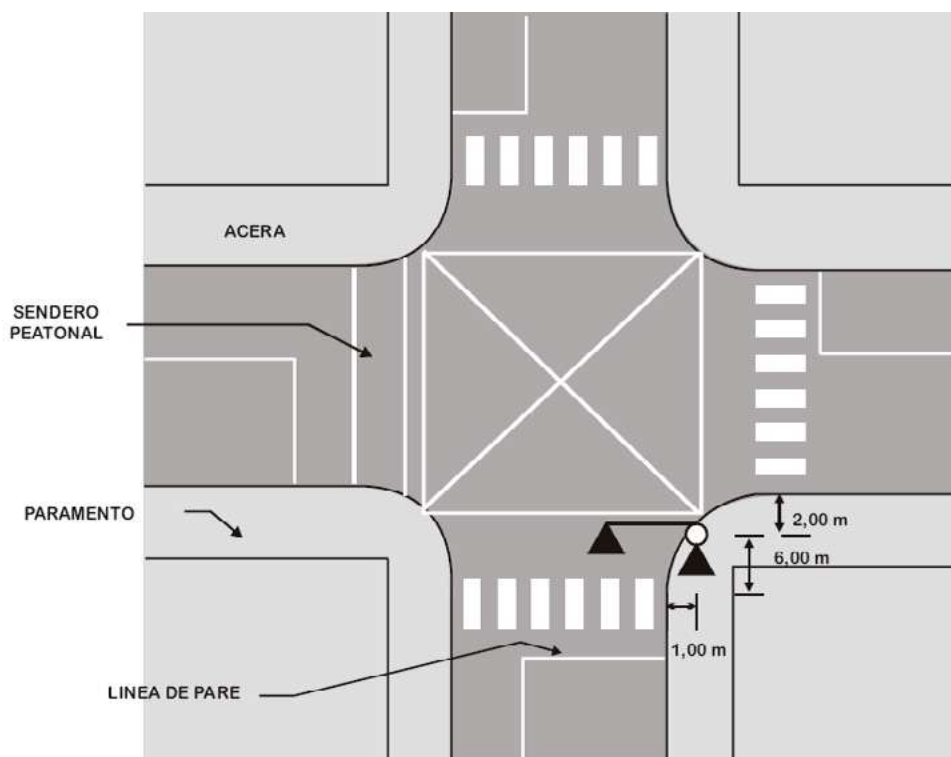


Figura 3.3.2_91. LOCALIZACIÓN DE LAS CARAS DEL SEMÁFORO EN EL LADO MÁS CERCANO DEL ACCESO DE LA INTERSECCIÓN

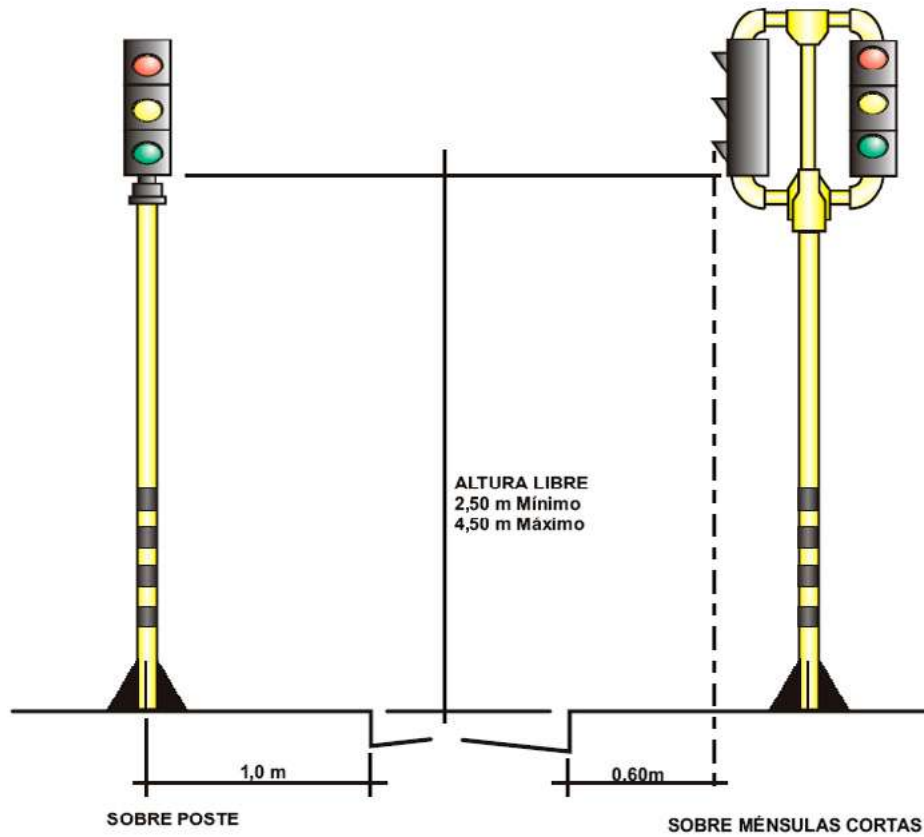


Figura 3.3.2_92. SEMÁFOROS MONTADOS EN POSTE O EN MÉNSULA CORTA

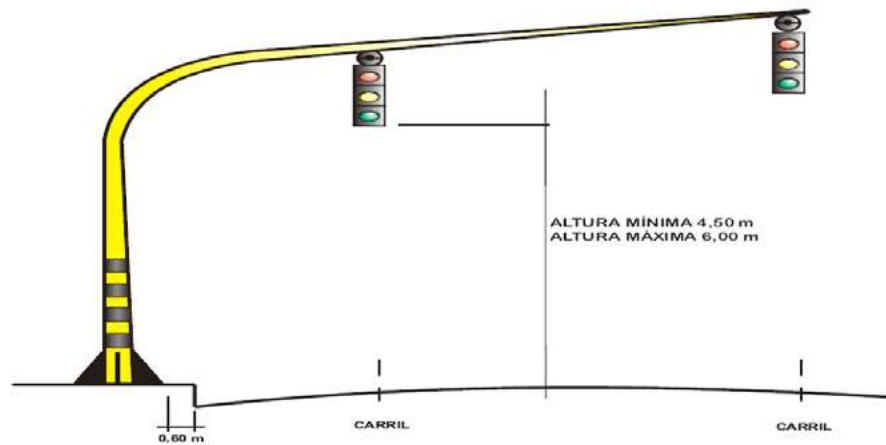


Figura 3.3.2_93. SEMÁFOROS MONTADOS EN MÉNSULA LARGA SUJETA A POSTE LATERAL

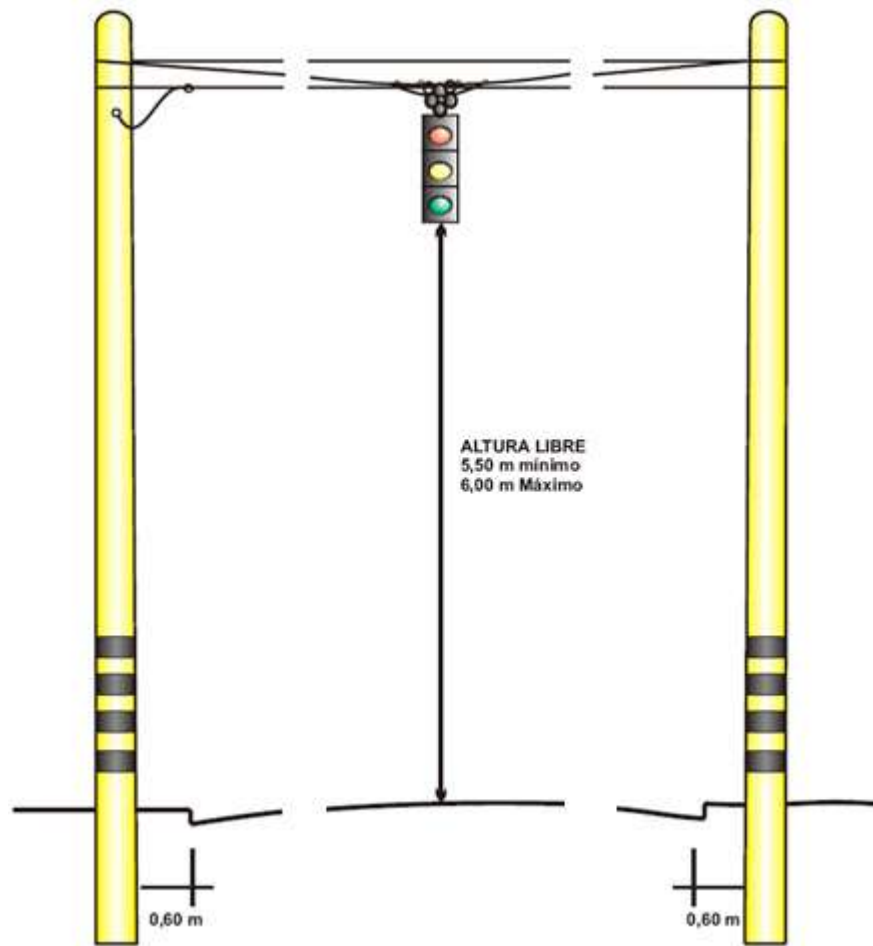


Figura 3.3.2_94. SEMÁFORO MONTADO SUSPENDIDO POR CABLE

3.3.2.7.11. LENTES

Todas las lentes de los semáforos para control vehicular peatonal deberán ser de forma circular.

Existen dos diámetros nominales de 20 cm y de 30 cm. Los diámetros de la parte visible de las lentes deberán ser como mínimo de 19,7 cm para las de 20 cm y de 28,5 cm para las de 30 cm; los diámetros exteriores mínimos de las lentes serán de 21,3 cm para las de 20 cm y de 30,5 cm para las de 30 cm.

A veces conviene instalar la lente roja de 30 cm y las demás de 20 cm para dar mayor énfasis en la indicación restrictiva más importante: EL PARE. Sin embargo, todas las lentes podrán ser del diámetro mayor. La experiencia con este tamaño de lente, hasta ahora, ha sido relativamente limitada, pero ha tenido suficiente éxito para justificar su aceptación, al menos para sitios en donde es necesario que el semáforo sea más llamativo.

Las lentes de 30 cm son aconsejables cuando hay riesgo de que el semáforo pueda pasar inadvertido por el conductor, ya que proporcionan un importante aumento de visibilidad para el semáforo. Estos riesgos ocurren en los casos siguientes:

En las ménsulas:

- Intersecciones rurales o cruces con vías de altas velocidades de aproximación.
- Cruces o intersecciones aisladas en los que no es de esperarse que existan semáforos, como el primero después de la salida de una vía rápida o autopista.

- Lugares donde haya problemas especiales de interferencias, como cruces en los que existan anuncios luminosos que se puedan confundir con los semáforos.
- Intersecciones donde los conductores tienen vista simultánea de semáforos para control general y de semáforos que controlan los canales reversibles.

La cara de los semáforos para el control vehicular tendrá normalmente tres lentes y como máximo cinco.

Estos tres serán: rojo, amarillo y verde, excepto cuando se usa una lente verde con flecha para indicar una “vía libre”.

Las lentes de la cara de un semáforo deben formar una línea vertical. El rojo debe encontrarse en la parte más alta, en medio el amarillo, y el verde estará abajo.

Las lentes verdes con flecha direccional deben ser colocadas lo más cerca posible del lado del movimiento que regulan; pero si hay que instalar más de un lente con flecha en la misma línea vertical, debe colocársela lente que indique “de frente” debajo del verde total y, de necesitarse más, debe seguir la flecha a la izquierda, finalmente, flecha a la derecha. En este último caso, de existir tres flechas direccionales, debe suprimirse la lente total verde.

La disposición recomendable de las lentes en la cara del semáforo se muestra en las Figuras 3.3.3_94 y 3.3.3_95. Las inscripciones que podrán llevar las lentes serán únicamente flechas y pictogramas del peatón o ciclista y en ningún caso deben usarse Inscripciones de palabras o letreros sobre lentes para semáforos vehiculares.

La práctica de incrustar palabras tales como “Pare” y “Siga” en lentes de semáforos reduce su efectividad y no se recomienda en las normas para estos dispositivos.

3.3.2.7.12. VISIBILIDAD E ILUMINACIÓN DE LAS LENTES

Cada lente debe ser iluminada independientemente. Esto es esencial para obtener uniformidad en la posición de las lentes, para darle satisfactoria brillantez y para proporcionar la flexibilidad necesaria en las indicaciones requeridas.

Cuando una lente de semáforo está iluminada y su imagen no está obstruida por algún objeto físico, las indicaciones deberán distinguirse claramente desde una distancia mínima de 300 metros en condiciones atmosféricas normales y tratándose de flechas direccionales éstas deberán distinguirse desde una distancia mínima de 60 metros.

Cuando existan condiciones topográficas desfavorables o en vías suburbanas y rurales en donde no es común encontrar semáforos, se dispondrá de la señal preventiva P-63 para indicar la proximidad de este tipo de dispositivos. En estos casos, puede ser conveniente el empleo de una cara adicional en el mismo poste a una mayor altura.

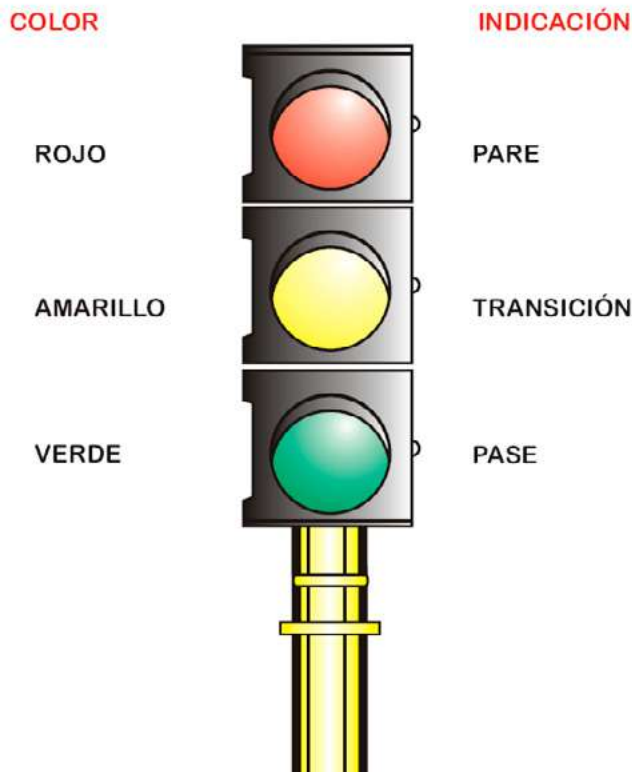


Figura 3.3.2_95. POSICIÓN DE LAS LENTES EN UN SEMÁFORO DE TRES LUCES

D.1. DISPOSICIÓN DE LAS LENTES EN LA CARA DE UN SEMÁFORO

Cada cara del semáforo debe orientarse en un ángulo tal que sus focos sean de máxima efectividad hacia el tránsito que se aproxime en la dirección para la cual está prevista. Viseras, celosías, túneles y rebordes oscuros muchas veces mejoran la efectividad de un semáforo.

En los cruces irregulares podrán necesitarse varios semáforos orientados en posiciones diversas y, en ese caso, las caras de los semáforos deberán cubrirse con viseras, túneles o celosías, a fin de que el conductor que se aproxima sólo vea la indicación que le corresponda.

3.3.2.7.13. LÍMITE DE ÁREA CONTROLADA POR UN SEMÁFORO

Los semáforos sólo regularán el tránsito en la intersección en que están instalados o bien en aquellos sitios en que se requiera a mitad de la cuadra.

A. FUNCIONAMIENTO CONTINUO Y EFICIENCIA

Los semáforos deberán estar permanentemente iluminados. El mal funcionamiento de los semáforos produce inconvenientes como desobediencia y arbitrariedad, lo que genera peligros innecesarios y difíciles de corregir en el tiempo.

Cuando no estén funcionando para regular el tránsito sólo operarán en forma intermitente. Antes de poner a funcionar una instalación nueva, o cuando por otra razón no estén funcionando los semáforos, éstos deberán ser tapados o eliminados, para que ninguna persona pueda creer que se ha quemado algún bombillo o lámpara.

3.3.2.7.14. SEMÁFOROS DE TIEMPOS FIJOS O PREDETERMINADOS

Un semáforo de tiempo fijo o predeterminado es un dispositivo para el control del tránsito que regula la circulación haciendo detener y proseguir el tránsito de acuerdo a una programación de tiempo determinado o a una serie de programaciones establecidas.

Las características de operación de los semáforos de tiempo fijo o predeterminado, tales como, duración del ciclo, intervalo, secuencia, desfaseamiento, etc., pueden ser cambiadas de acuerdo a un programa determinado.

Los semáforos de control de tiempo fijo o predeterminado se adaptan mejor a las intersecciones donde los patrones del tránsito son relativamente estables y constantes, o donde las variaciones del tránsito que se registran pueden tener cabida mediante una programación pre-sincronizada sin causar demoras o congestión no razonables. El control pre-sincronizado es particularmente adaptable a intersecciones donde se desee coordinar la operación de semáforos con instalaciones existentes o planificadas en intersecciones cercanas en la misma calle o calles adyacentes o en intersecciones cuya capacidad vehicular esté en el límite.

A. CONDICIONES PARA LA INSTALACIÓN

Este tipo de semáforo se debe instalar y operar solamente si se satisfacen uno o más de los requisitos o condiciones siguientes:

- Condición A: Volumen mínimo de vehículos.
- Condición B: Interrupción del tránsito continuo.
- Condición C: Volumen mínimo de peatones.
- Condición D: Movimiento o circulación progresiva.
- Condición E: Antecedentes y experiencia sobre accidentes.

- Condición F: Combinación de las condiciones anteriores.

Si el volumen de circulación disminuye al 50% o menos de los volúmenes mínimos especificados durante un lapso de cuatro horas consecutivas o más, es conveniente que las operaciones normales de los semáforos se sustituyan por operaciones de destello o intermitentes, las cuales se deben restringir a no más de tres períodos diferentes durante el día.

- Volumen mínimo de vehículos (condición A)

La condición de volumen mínimo de vehículos se entiende que es para ser aplicada donde el volumen de tránsito intersectante es la razón principal para considerar la instalación de un semáforo.

La condición se cumple cuando en la calle principal y en los accesos de mayor flujo de la calle secundaria existen los volúmenes mínimos indicados en la Tabla 3.3.3_ 51 en cada una de las ocho horas de un día representativo.

Tabla 3.3.2_51. CONDICIÓN A: VOLUMEN MÍNIMO DE VEHÍCULOS

NÚMERO DE CARRILES DE CIRCULACIÓN POR ACCESO		VEHÍCULOS POR HORA EN LA CALLE PRINCIPAL (Total en ambos accesos)	VEHÍCULOS POR HORA EN EL ACCESO DE MAYOR VOLUMEN DE LA CALLE SECUNDARIA (Un solo sentido)
CALLE PRINCIPAL	CALLE SECUNDARIA		
1	1	500	150
2 ó más	1	600	150
2 ó más	2 ó más	600	200
1	2 ó más	500	200

Los volúmenes de tránsito de vehículos para las calles principal y secundaria corresponden a las mismas ocho horas. El sentido de circulación del tránsito de mayor volumen en la calle secundaria puede ser por un acceso durante algunas horas y por la aproximación opuesta durante las horas restantes.

Si la velocidad que comprende el 85% del tránsito en la calle principal excede de 60 kilómetros por hora, o si la intersección queda dentro de la zona urbana de una población aislada de 10.000 habitantes o menos, el requisito de volumen se reduce al 70% del indicado en la tabla.

- Interrupción al tránsito continuo (condición B)

La condición de interrupción del tránsito continuo se entiende que es para ser aplicada donde las condiciones de operación de una calle sean tales, que el tránsito de la calle secundaria sufra un retardo o riesgo indebido al entrar en la calle principal o al cruzarla.

Este requisito se satisface cuando, durante cada una de las ocho horas de un día representativo, en la calle principal y en la aproximación de mayor volumen de la calle secundaria, se tienen los volúmenes mínimos indicados en la Tabla 3.3.3_ 52 y si la instalación de semáforos no trastorna la circulación progresiva del tránsito.

Tabla 3.3.2_52. CONDICIÓN B: INTERRUPCIÓN DEL TRÁNSITO CONTINUO

NÚMERO DE CARRILES DE CIRCULACIÓN POR ACCESO		VEHÍCULOS POR HORA EN LA CALLE PRINCIPAL (Total en ambos accesos)	VEHÍCULOS POR HORA EN EL ACCESO DE MAYOR VOLUMEN DE LA CALLE SECUNDARIA (Un solo sentido)
CALLE PRINCIPAL	CALLE SECUNDARIA		
1	1	750	75
2 ó más	1	900	75
2 ó más	2 ó más	900	100
1	2 ó más	750	100

Los volúmenes en las calles principal y secundaria corresponden a las mismas ocho horas. Durante esas ocho horas, el sentido de circulación del volumen mayor de la calle secundaria puede ser hacia una dirección durante algunas horas y hacia la otra durante las demás.

Si la velocidad dentro de la cual está comprendido el 85% del tránsito de la calle principal excede a 60 kilómetros por hora, o si la intersección queda dentro de la zona urbana de una población con 10.000 habitantes o menos, el requisito de interrupción de tránsito continuo se reduce al 70% de los volúmenes indicados en la Tabla 3.3.3_ 52.

- Volumen mínimo de peatones (condición C)

Se satisface esta condición si durante un día representativo en la calle principal se verifican los siguientes volúmenes de tránsito, para un período de dos horas:

- Si entran 1200 o más vehículos en la intersección (total para ambos accesos), o si 1.600 o más vehículos entran a la intersección en la calle principal, cuando existe separador central con ancho mínimo de 1,20m.
- Si durante el mismo período pico, cruzan 250 o más peatones en el cruce de mayor volumen correspondiente a la calle principal.

Cuando la velocidad que comprende el 85% de vehículos exceda de 60 kilómetros por hora, o si la intersección está en zona urbana de una población con 10.000 habitantes o menos, el requisito de volumen mínimo de peatones se reduce al 70% de los valores indicados, en reconocimiento de las diferencias en la naturaleza y características de operación del tránsito en medios urbanos y rurales de municipios pequeños.

Un semáforo instalado bajo la anterior condición en una intersección aislada, debe ser del tipo semi activado por el tránsito con botones operados por los peatones que cruzan la calle principal.

En conexión con semáforos para el control del tránsito instalados en cruces escolares, queda entendido que un semáforo no es el único remedio ni necesariamente la solución correcta del problema complejo de los conflictos del tránsito entre los vehículos y los escolares.

Los períodos cortos durante los cuales los riesgos son inusualmente altos, con frecuencia son mejor dirigidos mediante el control de un agente de tránsito o patrullas escolares.

En algunas circunstancias, los alumnos responden a las indicaciones del semáforo en forma tan inadecuada que el semáforo puede convertirse en un factor que contribuya a

aumentar los accidentes en vez de disminuirlos. La reacción ante el control de un agente de tránsito o las patrullas escolares usualmente es menos incierta.

Por consiguiente, se considera que los semáforos para el control del tránsito ordinariamente no deben ser instalados en cruces escolares donde puedan ser usados con efectividad patrulleros escolares, donde los estudiantes pueden ser dirigidos a cruzar en lugares que ya están controlados por semáforos y agentes de tránsito o donde las islas de refugio de peatones provean de una protección adecuada.

Los hechos completos deben ser recopilados y estudiados por autoridades de ingeniería de tránsito competentes antes de tomar decisiones sobre la instalación de semáforos cerca de las zonas escolares. Como resultado de estos estudios y en consideración a los métodos de control anteriormente enumerados, los semáforos pueden justificarse sí:

- ☐ Los volúmenes de peatones en un cruce escolar determinado en la calle principal exceden de 250peatones por hora, durante dos horas.
- ☐ Durante cada una de las mismas dos horas el tránsito de vehículos por el cruce escolar en cuestión excede de 1.600 vehículos.
- ☐ No hay semáforo a menos de 300 metros del cruce.

Los semáforos en cruces de peatones instalados bajo estas condiciones deben ser del tipo activado por los peatones.

- **Movimiento o circulación progresiva (condición D)**

El control del movimiento progresivo a veces demanda la instalación de semáforos en intersecciones donde en otras condiciones no serían necesarios, con el objeto de regular eficientemente las velocidades de grupos compactos de vehículos.

Se satisface el requisito correspondiente a movimiento progresivo en los dos siguientes casos:

- ☐ En calles con circulación en un solo sentido o en calles en las que prevalece la circulación en un solo sentido y en las que los semáforos adyacentes están demasiado distantes para conservar el agrupamiento compacto y las velocidades deseadas de los vehículos.
- ☐ En las calles de doble sentido de circulación, cuando los semáforos adyacentes no proveen el adecuado agrupamiento de vehículos ni el control de la velocidad y el semáforo propuesto junto con los adyacentes pueden conformar un sistema progresivo de semáforos.

Un semáforo instalado atendiendo este requisito debe basarse en la velocidad que comprende el 85% del tránsito, a menos que un estudio del caso específico indique otra situación. En ningún caso debe considerarse la instalación de un semáforo de acuerdo a este requisito, si la separación entre semáforos resultase ser inferior a 300 metros.

- **Antecedentes y experiencia sobre accidentes (condición E)**

La opinión general de que los semáforos reducen considerablemente el número de accidentes, rara vez se comprueba en la práctica. En algunos casos, ocurren más accidentes después de instalar los semáforos que antes de su instalación. Por lo tanto, si ninguno de los requisitos, exceptuando el relativo a los accidentes se satisface, debe suponerse que no será necesario instalar el semáforo.

Los semáforos no deben instalarse con base en un solo accidente espectacular ni con base en demandas irrazonables o predicciones de accidentes que pudieran ocurrir.

Los requisitos relativos a los antecedentes sobre accidentes se satisfacen sí:

- Una prueba adecuada de que otros procedimientos menos restrictivos, que se han experimentado en otros casos satisfactoriamente, no han reducido la frecuencia de los accidentes.
- Ocurrieron cinco o más accidentes en los últimos doce meses, cuyo tipo sea susceptible de corregirse con semáforos y en los que hubo heridos o daños a la propiedad con valor mayor a treinta veces el salario mínimo mensual legal vigente en el país.
- Existe un volumen de tránsito de vehículos y peatones no menor del 80% de los requerimientos especificados en la condición de volumen mínimo de vehículos, en la condición de interrupción del tránsito continuo o en la condición de volumen mínimo de peatones.
- La instalación no interrumpe considerablemente el flujo progresivo del tránsito.

Cualquier semáforo instalado bajo la condición de experiencia de accidentes debe ser semi-activado por el tránsito, con dispositivos que provean una coordinación apropiada, si es instalado en una intersección dentro de un sistema coordinado, y normalmente debe ser totalmente activado por el tránsito si es instalado en una intersección aislada.

Un semáforo para el control del tránsito, cuando es obedecido por conductores y peatones, puede esperarse que elimine o reduzca materialmente el número y gravedad de los siguientes tipos de accidentes:

- Aquellos que impliquen substancialmente conflictos o colisiones en ángulo recto, como los que ocurren entre vehículos en calles que se interceptan.
- Aquellos que impliquen conflictos entre vehículos que se mueven en línea recta y cruces de peatones.
- Aquellos entre vehículos que se mueven en línea recta y vehículos que cruzan a la izquierda viniendo en direcciones opuestas, si se otorga un intervalo de tiempo independiente durante el ciclo del semáforo para el movimiento de cruce a la izquierda.
- Aquellos que impliquen velocidad excesiva, en casos donde la coordinación del semáforo restrinja la velocidad hasta un valor razonable.

Por otra parte, no puede esperarse que los semáforos reduzcan los siguientes tipos de accidentes:

- Colisiones por la parte trasera, que con frecuencia aumentan después de la instalación de los semáforos.
- Colisiones de vehículos en la misma dirección o en direcciones opuestas, uno de los cuales efectúa un cruce a través de la trayectoria del otro, particularmente si no se provee un intervalo independiente para esos movimientos de cruce.
- Accidentes que impliquen a peatones y vehículos que efectúan cruces, cuando ambos se mueven durante el mismo intervalo.
- Otros tipos de accidentes a peatones, si los peatones o conductores no obedecen las señales.

- Combinación de las condiciones anteriores (condición F)

Cuando ninguno de los requisitos anteriores se cumplen en un 100%, pero dos o más se satisfacen en un 80% del valor indicado para cada uno de ellos, se puede considerar justificada la instalación de semáforos.

Las decisiones en estos casos excepcionales deben apoyarse en un análisis completo de todos los factores que intervienen, debiendo estudiarse la conveniencia de emplear otros métodos que ocasionen menos demoras al tránsito.

Una prueba adecuada de otras medidas correctivas que causen menos demora e inconvenientes al tránsito debe preceder a la instalación de semáforos bajo esta condición.

B. PROGRAMACIÓN O SINCRONIZACIÓN DE SEMÁFOROS

La finalidad de un sistema de semáforos sólo se cumple si es operado de una manera consistente y se acondiciona a las necesidades y requerimientos del tránsito. Los ciclos excesivamente largos y la división impropia de los mismos ocasionan faltas de respeto y desobediencia a las indicaciones de los semáforos.

Una de las mayores dificultades en la sincronización de semáforos proviene de la necesidad de dar cabida a dos o tres patrones de volumen radicalmente diferentes a varias horas, durante el período de operación.

Cualquier plan de tiempos que se programe se confrontará con la información de conteos de tránsito, para tener la seguridad de que los cambios de los volúmenes de tránsito en las vías se regulen lo mejor posible.

Algunos de los factores que se deben tomar en cuenta para programar el tiempo de los semáforos en una intersección son:

- Flujo de saturación.
- Número de carriles de tránsito y demás condiciones físicas y geométricas.
- Variaciones del flujo del tránsito para cada movimiento direccional.
- Necesidades de los vehículos comerciales y de transporte público.
- Período, en segundos, entre el paso de dos vehículos consecutivos que salen de la intersección.
- Necesidades de los peatones.
- Necesidad de desalojar la intersección por parte de los vehículos y los peatones al cambiar las indicaciones.
- Velocidad de despeje y entrada de los vehículos, bicicletas y peatones en función del movimiento.
- Movimientos de giro.

La sincronización de los semáforos puede considerarse completa cuando comprende una serie de intersecciones con semáforos que tienen que ser operados para proporcionar el movimiento continuo de grupos de vehículos. Existen programas de computación para estos fines.

C. DIVISIÓN DEL TIEMPO TOTAL DEL CICLO

Es importante asignar a las diversas calles de una intersección el tiempo que corresponde a la señal de la luz verde según las demandas del tránsito. El método que se describe a continuación ha dado resultados satisfactorios.

Si los espaciamientos entre vehículos que salen de la intersección, medidos en tiempo durante la hora de máxima demanda de tránsito, son aproximadamente iguales en los carriles críticos de las calles que se interceptan, la repartición del ciclo con indicaciones de luz verde será más o menos correcta cuando los lapsos correspondientes a cada calle se hacen directamente proporcionales a los volúmenes de tránsito en los carriles críticos.

Si durante la hora de máxima demanda existe una diferencia notable en los espaciamientos medidos en tiempo, entre los vehículos de los dos carriles críticos, debida, por ejemplo, a la presencia de camiones, buses y busetas en sólo uno de dichos carriles, la división del ciclo con indicaciones de luz verde será aproximadamente correcta si los lapsos parciales se hacen proporcionales a los productos de volúmenes por espaciamientos en los carriles críticos de las calles que se cruzan.

Como ejemplo, supongamos que se ha escogido un ciclo de 60 segundos y que el tiempo necesario para que los vehículos desalojen la intersección inmediatamente después de la indicación de luz verde es de 5 segundos en cada calle, esto deja un total de 50 segundos de luz verde a dividirse entre las dos calles.

Supongamos que los volúmenes V_a y V_b en los carriles críticos durante la hora de máxima demanda de tránsito en las calles A y B son de 400 y 250 vehículos, respectivamente. En el primer caso, supongamos que el espaciamiento entre vehículos para cada una de las calles es el mismo. Los tiempos aproximados T_a y T_b correspondientes a la indicación de luz verde para las calles A y B, se obtienen como sigue:

$$\frac{T_a}{T_b} = \frac{400}{250}, \text{ y } T_a + T_b = 50 \text{ segundos (tiempo total de la luz verde).}$$

$$\frac{T_a}{50 - T_a} = \frac{400}{250}, \text{ entonces } T_a = 31 \text{ segundos y } T_b = 50 - 31 \text{ segundos} = 19 \text{ segundos.}$$

En el segundo caso, supongamos que el espaciamiento entre vehículos al arrancar en la calle A (E_a) es de 3 segundos y el espaciamiento (E_b) en la calle B es de 5 segundos. La diferencia en espaciamiento se podría deber a un alto porcentaje de camiones en el carril crítico de la calle B. La división de los tiempos con indicaciones de luz verde se obtiene, en forma aproximada, como sigue:

$$\frac{T_a}{T_b} = \frac{T_a \times E_a}{T_b \times E_b} = \frac{400 \times 3}{250 \times 5}$$

$$\frac{T_a}{50 - T_a} = \frac{400 \times 3}{250 \times 5}$$

$T_a = 24$ segundos y $T_b = 50 - 24 = 26$ segundos.

Se debe insistir en que cálculos tan elementales como los anteriores únicamente son un medio aproximado para determinar el tiempo que corresponde a cada calle.

Otras consideraciones, tales como el tiempo necesario para cruces de peatones y las condiciones geométricas de la intersección, también afectan las amplitudes de los ciclos de semáforos. Después de la elección inicial de la duración del ciclo y del programa de tiempos, se efectuarán revisiones y estudios del semáforo en funcionamiento, para obtener el programa más adecuado.

Como regla general, ningún lapso de luz verde será menor que el tiempo necesario para que el grupo de transeúntes que espera el cambio de indicaciones pueda cruzar, excepto cuando se dispone de un intervalo especial para peatones. Los experimentos con tiempos de semáforos, en cuanto se refiere a circulación de vehículos, han demostrado que se puede alcanzar una excelente eficacia bajo ciertas condiciones de máxima demanda de tránsito con lapsos de luz verde tan breves como de 15 segundos; sin embargo, normalmente deben ser algo mayores para permitir a los peatones cruzar la calle con seguridad.

Cuando el tiempo para cruce de peatones coincide con el período de luz verde, éste debe ser lo suficientemente prolongado para que se disponga de no menos de 5 segundos en los que se indica a los peatones que pueden empezar a cruzar y lo suficientemente largo para permitir, a los que ya empezaron a cruzar, llegar hasta una zona de seguridad. Por ejemplo, si se requieren 14 segundos para que los peatones crucen la calle o lleguen a una zona de seguridad y el intervalo para el despeje de vehículos (amarillo) es de 3 segundos, el intervalo total en luz verde debe ser, como mínimo de $5 + 14 - 3 = 16$ segundos.

D. COORDINACIÓN DE SEMÁFOROS DE TIEMPO FIJO O PREDETERMINADO

En general, todos los semáforos de tiempo fijo o predeterminado separados entre sí hasta 1.000 m, que controlan el mismo tránsito en una vía principal o en una red de intersecciones de rutas preferenciales deben operar coordinadamente.

Aún a distancias mayores, la coordinación puede ser recomendable bajo ciertas circunstancias. Se recomienda el empleo de controles interconectados. Sin embargo, la coordinación no podrá mantenerse en las fronteras de sistemas de semáforos que operan en diferentes ciclos, por lo que en un corredor coordinado se deben tener ciclos iguales o ciclos equivalentes (90 - 45, 120 - 60).

La coordinación debe incluir tanto semáforos accionados como no accionados o pre-sincronizados siempre y cuando se ubiquen a distancias apropiadas.

Grandes inconvenientes y demora son el resultado de la operación independiente, no interrelacionada de instalaciones de semáforos estrechamente adyacentes que operan con control pre-sincronizado. La mayor parte de este retardo puede eliminarse mediante una coordinación planificada cuidadosamente. Debe tenerse en cuenta la velocidad de operación y su afectación por agentes exógenos (pavimento, vendedores).

E. TIPOS DE COORDINACIÓN

La clasificación más útil de los sistemas de control de semáforos está basada en el método de coordinación. Puesto que el propósito de esta coordinación es organizar y dar fluidez al tránsito, es esencial entender de qué manera operará la corriente vehicular según los diversos sistemas. Según esto, existen cuatro tipos de sincronización de semáforos no accionados o pre-sincronizados: Sistema simultáneo, sistema alterno, sistema progresivo limitado y sistema progresivo flexible.

- Sistema simultáneo.

En un sistema simultáneo todos los semáforos muestran la misma indicación a lo largo de la vía aproximadamente al mismo tiempo.

Este es uno de los primeros tipos de sistemas de semáforos importantes en la práctica moderna.

En todas las intersecciones, la sincronización esencialmente es la misma y las indicaciones cambian simultáneamente o casi al mismo tiempo, de manera que todos los semáforos indiquen luz verde en la dirección de la calle principal y luz roja en todas las caras que den a las calles secundarias, cambiando alternadamente.

Si únicamente se trata de coordinar hasta cinco intersecciones muy próximas entre sí, deberá emplearse este sistema, dejando un tiempo de luz verde suficiente en la calle principal para permitir que pase una proporción mayor de la circulación y despeje de las intersecciones.

Cuando la intensidad del tránsito es alta, el sistema simultáneo puede dar buenos resultados. Cuando el volumen de tránsito es bajo este sistema no es recomendable, debido a que se propician altas velocidades entre tiempos de luz verde y la velocidad media resulta baja debido a la detención simultánea de todo el tránsito a lo largo de la vía, que impide el movimiento continuo.

Igualmente, la proporción de longitud de ciclo e intervalo usualmente es controlada por los requerimientos de una o dos intersecciones principales del sistema. Esto puede causar grandes deficiencias en las intersecciones restantes.

- Sistema alterno

En el sistema alterno los semáforos adyacentes o grupos de semáforos adyacentes muestran indicaciones alternas a lo largo de una ruta determinada. En el sistema alterno sencillo, los semáforos adyacentes muestran indicaciones contrarias u opuestas. Los sistemas alternos dobles y triples consisten en un grupo de dos o tres semáforos que respectivamente muestran indicaciones contrarias.

El sistema alterno usualmente es un mejoramiento del sistema simultáneo en el sentido de que a través de una serie de intersecciones controladas de esta manera puede haber, bajo condiciones favorables, un movimiento continuo de grupos de vehículos a una velocidad predeterminada, siendo esto sumamente eficiente donde las longitudes de las cuadras, o de los grupos alternados de cuadras, son iguales.

En estos sistemas se deja un desfase de medio ciclo entre grupos de intersecciones adyacentes, el sistema alterno puede ser operado con un solo control, aunque es recomendable el uso de controles locales para una mayor flexibilidad en la operación.

- Sistema progresivo limitado

En el sistema progresivo limitado se fija una duración común a los ciclos y las indicaciones de luz verde sedan independientes, de acuerdo con las exigencias de cada intersección y de conformidad con un programa de tiempos para permitir circulación continua o casi continua de grupos de vehículos que circulan a la velocidad de proyecto.

La supervisión de un sistema progresivo limitado se hace mediante un controlador maestro a través de interconexión de cables o por medio de señales transmitidas por ondas. Puede utilizarse para mantener relaciones de sincronización (desfase) apropiadas entre semáforos, o pueden emplearse controladores impulsados por motores sincróni-

cos operados por una fuente común o sincronizada eléctricamente sin interconexión o supervisión remota mediante un control maestro. Pero las fallas de energía, los descensos bruscos del voltaje y las variaciones de temperatura pueden causar que los controladores individuales se salgan de su ritmo e interrumpan el movimiento planificado de los vehículos.

Para asegurar una operación satisfactoria es necesaria una inspección periódica de estos sistemas. Los indicadores de fallas de potencia visuales aceleran la detección de los controladores que no estén funcionando dentro de la programación deseada.

- Sistema progresivo flexible

El sistema progresivo flexible abarca todas las características del sistema progresivo limitado y tiene una serie de características adicionales que dependen del tipo de controlador de la intersección, del control maestro y de otros accesorios. Se usa un ciclo común en todo el sistema. No obstante, la duración del ciclo se puede variar con la frecuencia que se desee, en función del día de la semana y/o la hora del día.

Mediante el uso de controles en intersecciones con carátulas múltiples, es posible establecer varios programas para la división del ciclo y cambiar los desfases con la frecuencia deseada. Se pueden establecer programas de tiempo predeterminados en los controles múltiples, favoreciendo o dando preferencia a las circulaciones de máxima demanda durante el día o la semana, demandas fuera de la hora pico y otras condiciones del tránsito. Con esta flexibilidad es posible dar servicio eficaz a demandas variables del tránsito en cada intersección dentro del sistema.

Los motores sincrónicos operados desde una fuente de energía de frecuencia variable pueden proporcionar varias longitudes de ciclo diferentes y el número de programaciones posibles pueda expandirse adecuadamente.

En un sistema progresivo es necesario conocer las demandas de tránsito para poder seleccionar los programas de tiempo y coordinación apropiados. Las mediciones de intensidades de tránsito y de velocidad son esenciales para determinar correctamente las duraciones de ciclos, sus divisiones y desfases. Con objeto de obtener la máxima flexibilidad, los aforos de tránsito deben efectuarse frecuentemente.

La velocidad o las velocidades para las que se diseña un sistema progresivo flexible deben concordar con las que desarrolla el tránsito si se suprimen paradas para permitir circulaciones transversales y pasos de peatones. Después de que la corriente vehicular se haya adaptado al sistema progresivo, es posible aumentar la velocidad sin perjuicio de la seguridad.

Los sistemas progresivos en arterias urbanas se regulan para velocidades que varían desde 30 hasta 60 kilómetros por hora. Debe darse atención a la relación de las velocidades de proyecto de los sistemas de semáforos y las velocidades legalmente permitidas.

En general, un sistema progresivo flexible diseñado y operado adecuadamente, es el sistema pre sincronizado que mejor se adapta al movimiento eficiente del tránsito. Sus ventajas incluyen las siguientes:

- Con una capacidad de vías adecuadas y un espaciamiento favorable entre semáforos, el movimiento continuo de grupos enteros de vehículos es posible con un mínimo de retardo y a una velocidad promedio planificada para el sistema.
- Un alto grado de eficiencia resulta al proporcionar períodos de verde para ajustarse a los requerimientos del tránsito en cada intersección.

- Se estimulan velocidades más uniformes.
- Se adapta mejor a las diferencias en las longitudes de las cuadras que otros sistemas pre sincronizado.

F. CONDICIONES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DE LOS SISTEMAS DE SEMÁFOROS

Ciertas condiciones reducen considerablemente la eficiencia de los sistemas de semáforos, aún la de los mejores sistemas progresivos flexibles. Entre éstas están:

- Los ciclos demasiado cortos pueden ocasionar cortes repetidos de la ola verde.
- Si es de uno o doble sentido.
- Espaciamiento muy corto entre semáforos (esta condición particular no afecta al sistema simultáneo).
- Capacidad de vías inadecuada e interferencias causadas por el estacionamiento y las operaciones de cargue y descargue.
- El tránsito compuesto de unidades que se desplazan a velocidades que difieren ampliamente, tales como tranvías, buses, busetas, microbuses y camiones, especialmente en calles estrechas.
- Ciertos tipos de intersecciones complicadas, tales como las que requieren tres o más fases por ciclo o la variabilidad del número de fases en las intersecciones del corredor semaforizado.
- Grandes volúmenes de vehículos que entran o salen de la arteria, especialmente si la calle hacia la que cruzan es corta o de capacidad limitada de otra índole.
- Intervalos exclusivos para peatones.
- Diferentes distancias entre más de dos intersecciones

G. RECOMENDACIONES

Para obtener una mayor eficiencia de las instalaciones de semáforos, se hacen las siguientes recomendaciones:

- No emplear intervalos muy breves entre indicaciones.
- Proporcionar la capacidad adecuada a la calle y evitar la interferencia con maniobras de estacionamientos, cargue y descargue.
- Evitar las corrientes de tránsito compuestas por vehículos con velocidades demasiado variables, como tranvías, buses, busetas, microbuses, camiones comerciales y automóviles de pasajeros, especialmente en calles angostas.
- Mantener el mismo número de fases a lo largo del corredor semaforizado.
- Simplificar los movimientos en ciertos tipos de intersecciones complicadas que demandan tres o más fases por ciclo.

- Si las velocidades proyectadas de un sistema de semáforos son bastante inferiores a las velocidades máximas permitidas, se deben instalar señales reglamentarias (R-08) que reglamenten la velocidad a los conductores. Las señales se colocarán lo más cerca posible de los semáforos y a intervalos necesarios para cumplir su objetivo.
- Cuando los semáforos estén funcionando, y más si es dentro de una red sincronizada, ningún otro elemento debe regular el tránsito, incluyendo el policía de tránsito, ni debe impartir indicaciones de circulación, máxime si éstas son contrarias a las impartidas por los semáforos

3.3.2.7.15. SEMÁFOROS ACCIONADOS POR EL TRÁNSITO

Un semáforo accionado por el tránsito es un sistema cuyo funcionamiento varía de acuerdo con las demandas del tránsito que registren los detectores de vehículos o peatones, los cuales suministran la información a un control local.

Se usarán en las intersecciones donde los volúmenes de tránsito fluctúan considerablemente en forma irregular y donde las interrupciones de la circulación deben ser mínimas en la dirección principal.

Los semáforos accionados por el tránsito se clasifican en tres categorías generales:

- Semáforos totalmente accionados: Disponen de medios para ser accionados por el tránsito en todos los accesos de la intersección.
- Semáforos parcialmente accionados: Disponen de medios para ser accionados por el tránsito en uno o más accesos de la intersección, pero no en todos.
- Semáforos ajustados al tránsito: Es un tipo de semáforo en el cual las características del despliegue de señales en los controladores locales para un área o para una calle, varían continuamente de acuerdo con la información sobre el flujo del tránsito suministrada a un computador maestro por detectores de muestreo ubicados en puntos de flujo típico en el área.

Para cada categoría hay diferentes sistemas de controles con distintas aplicaciones. Si de acuerdo con los requisitos correspondientes se justifica instalar semáforos no accionados, también se debe analizar la conveniencia de emplear semáforos accionados por el tránsito. Sin embargo, como los semáforos accionados por el tránsito son más flexibles para fluctuaciones rápidas y normalmente no ocasionan demoras innecesarias, no es aconsejable fijar valores mínimos para su instalación.

Algunos factores que se deben tomar en cuenta son los siguientes: Volumen vehicular, circulación transversal o tránsito cruzado, volúmenes en horas de máxima demanda, circulación de peatones, antecedentes sobre accidentes, fluctuaciones del tránsito, intersecciones complicadas, sistemas progresivos de semáforos, zonas de circulación en un solo sentido, cruce de peatones fuera de la intersección.

1) Volumen vehicular

En las intersecciones donde el volumen de tránsito de vehículos no sea suficientemente intenso para justificar la instalación de semáforos pre-sincronizados, se pueden instalar semáforos accionados por el tránsito, si hay otras condiciones que justifiquen la necesidad de su instalación.

2) Circulación transversal o tránsito cruzado

Cuando el volumen de tránsito en la calle principal es tan intenso que restringe y provoca conflictos a la circulación transversal o tránsito cruzado de vehículos y de peatones, se deben instalar semáforos accionados por el tránsito para permitir el paso a la circulación secundaria.

No obstante, el tránsito de la calle principal puede ser interrumpido indebidamente e innecesariamente, si el tránsito de la calle secundaria es suficientemente intenso para exigir el derecho de paso a intervalos frecuentes. En estos casos, se hace necesario limitar los tiempos correspondientes a la indicación de la luz verde para el flujo transversal proveniente de la calle secundaria.

3) Volúmenes en horas de máxima demanda

Cuando se requieran semáforos en una intersección exclusivamente durante las horas de máxima demanda, se pueden instalar semáforos accionados por el tránsito, si se justifican económicamente, puesto que en otras horas no ocasionan demoras inconvenientes.

4) Circulación de peatones

Cuando únicamente se tienen las condiciones de volúmenes mínimos de peatones, especificados para semáforos pre-sincronizados, pueden ser preferibles los semáforos accionados por el tránsito, ya que únicamente detendrán la circulación y demorarán los movimientos de vehículos cuando crucen peatones.

5) Antecedentes sobre accidentes

Cuando sólo se satisface el requisito mínimo relativo a antecedentes sobre accidentes, especificado para semáforos pre-sincronizados, se debe tomar en consideración la posibilidad de instalar semáforos accionados por el tránsito, ya que pueden reducir las paradas y demoras que comúnmente están asociadas con los accidentes después de la instalación. Los semáforos actuados por el tránsito pueden estar justificados económicamente en lugares donde la experiencia de accidentes sea menor que la que justifican los semáforos pre-sincronizados, pero debe hacerse un análisis cuidadoso para asegurar resultados efectivos.

6) Fluctuaciones del tránsito entre las calles

En los casos en que los volúmenes relativos de tránsito en las calles entrantes o concurrentes varíen ampliamente en una intersección donde se justifiquen semáforos no accionados por el tránsito o pre sincronizados, el semáforo totalmente accionado por el tránsito da usualmente la mayor eficiencia en la operación de la intersección.

7) Intersecciones complicadas (operación forzada-nivel de servicio elevado)

Cuando se justifique instalar semáforos en intersecciones complicadas que requieran varias fases, se debe estudiar la conveniencia de usar semáforos accionados por el tránsito. En estos casos, además de las ventajas usuales se puede eliminar una fase cuando no haya tránsito que la demande.

8) Sistemas progresivos de semáforos

Cuando los espaciamientos y otras características de una intersección dentro de un sistema de semáforos pre-sincronizados sean tales que no se pueda lograr la sincronización progresiva, puede resultar más ventajoso el empleo de semáforos accionados por el tránsito.

9) Zonas con circulación en un solo sentido

En tramos de una calle de doble circulación, en los que el tránsito sólo puede desplazarse en un sentido, en un tiempo determinado, como en puentes y túneles angostos o en tramos de vías en construcción, los semáforos accionados por el tránsito pueden emplearse eficazmente.

10) Cruce de peatones fuera de la intersección

Los cruces de peatones concentrados en escuelas u otros cruces importantes de peatones, donde las intersecciones se encuentren a una distancia considerable, pueden justificar los semáforos actuados por los peatones.

Si de acuerdo con algunos requisitos anteriores, se ha decidido instalar un semáforo accionado por el tránsito, se elegirá necesariamente el tipo de mecanismo de control que debe emplearse. Las elecciones posibles incluyen las siguientes:

- Control parcialmente accionado por el tránsito.
- Control totalmente accionado por el tránsito.
- Control adaptable al tránsito.
- Otros controles coordinados.

El uso y descripción de cada uno de estos controles se establecen en el numeral 3.3.2.7.18. Puesto que los semáforos accionados por el tránsito, cuando están bien ajustados, funcionan eficazmente durante períodos de escaso tránsito y sólo ocasionan el mínimo de demoras, en forma normal funcionarán continuamente como dispositivos para dar indicaciones de luz roja y luz verde, como dispositivos de PARE y SIGA. Sin embargo, también se pueden emplear en operaciones de destello intermitentes en circunstancias especiales, como:

- Durante daños, reparaciones y trabajos de mantenimiento.
- En combinación con semáforos pre-sincronizados que estén funcionando con operación de destello en las cercanías.
- Cuando reciban accionamientos con prioridad de semáforos de pasos de ferrocarril a nivel.

3.3.2.7.16. SEMÁFOROS PARA PASOS PEATONALES

A. ASPECTOS GENERALES

Los semáforos para peatones son señales de tránsito instaladas con el propósito exclusivo de dirigir el tránsito de peatones en intersecciones semaforizadas.

Los semáforos para pasos peatonales se dividirán de la siguiente manera:

- En zonas de alto volumen peatonal.
- En zonas escolares

Para la instalación de este tipo de semáforos, será necesario obtener los datos a través de estudios de ingeniería de tránsito; fundamentalmente el volumen de tránsito, el movimiento de peatones y la velocidad del punto.

B. SEMÁFOROS EN ZONAS DE ALTO VOLUMEN PEATONAL

Comúnmente llamados semáforos para peatones, son los que regulan el tránsito de peatones en intersecciones donde se registra un alto volumen peatonal y se deben instalar en coordinación con semáforos para vehículos.

Los semáforos para peatones se deben instalar cuando se satisfagan uno o más de los requisitos que a continuación se indican:

- Cuando el semáforo para el control del tránsito de vehículos se encuentra instalado bajo una condición de volumen peatonal.
- Cuando un intervalo o fase exclusiva es proporcionada para el movimiento peatonal en una o más direcciones, estando detenidos todos los movimientos conflictivos de vehículos.
- Cuando cualquier volumen de flujo peatonal requiere el uso de un intervalo libre para ellos con el fin de reducir al mínimo la interferencia entre vehículos y peatones, o cuando es necesario ayudar a los peatones para que puedan cruzar la calle con toda seguridad.
- Cuando los peatones cruzan una parte de la calle desde una zona de seguridad o hacia ella durante un cierto intervalo en el que no les está permitido cruzar en otra parte de la calle durante ese intervalo.
- Cuando la circulación de vehículos pesados que dan vuelta, demanda una fase semi-exclusiva para protección de los peatones.
- Cuando la intersección es demasiado amplia o complicada o cuando una calle es tan ancha que los semáforos para vehículos no servirían adecuadamente a los peatones.
- Cuando el intervalo mínimo de luz verde para vehículos en intersecciones con controles accionados por el tránsito, es menor que el tiempo para cruce de peatones y se provee equipo para extender el tiempo verde de vehículos con actuación por los peatones.
- Cuando, al incrementar los intervalos del ciclo por medio del control maestro, pudieran confundirse los peatones al guiarse exclusivamente por los semáforos para vehículos.
- Cuando el movimiento de peatones es permitido en un lado de una intersección mientras se detiene el tránsito continuo para proteger los movimientos de giro de otros vehículos, en el otro lado de la intersección.

Las lentes de los semáforos para peatones deben ser de color rojo y verde.

La interpretación de las indicaciones de los semáforos para peatones será la siguiente:

- La indicación PARE iluminada en color rojo quiere decir que el peatón no deberá atravesar la calle en dirección a la señal, mientras ésta se encuentra encendida.
- La indicación PASE iluminada en color verde significa que los peatones que se encuentran frente al semáforo pueden cruzar la calle en dirección del mismo.

De otra parte, se considera fundamental suministrar señales acústicas para los peatones invidentes que les indiquen que disponen de un cruce peatonal controlado con semáforo.

Será necesario que exista una cara para cada sentido de circulación de los peatones.

Los semáforos para peatones se instalarán generalmente en la acera opuesta, con su parte inferior a no menos de dos metros cero cinco centímetros (2,05 m), ni más de 3 metros, sobre el nivel de la acera, de tal manera que la indicación quede en la visual del peatón que tiene que

ser guiado por dicha señal. Las zonas destinadas para el paso de peatones deben proveer una rampa para ser utilizada por las personas discapacitadas, las cuales se desplazan utilizando sillas de ruedas u otros elementos.

Cada semáforo para peatones puede montarse separadamente o en el mismo soporte de los semáforos para el control del tránsito de los vehículos, debiendo existir una separación física entre ellos.

La cara del semáforo deberá colocarse en posición vertical y normal con respecto a la circulación de los peatones.

Todas las lentes de los semáforos para peatones y ciclistas pueden ser de forma circular o cuadrada, tal como lo muestra la Figura 3.3.2_96.

Los lentes de forma circular deberán ser de 20 ó 30 cm de diámetro. En cuanto a las de forma cuadrada, sus dimensiones serán generalmente de 20 ó 30 cm por lado.

Será indispensable que cada cara de los semáforos para peatones lleve dos lentes con las inscripciones respectivas y dispuestas verticalmente, quedando la señal de PARE en la parte superior y la señal de PASE en la parte inferior.

Las lentes deberán llevar inscrito el mensaje por medio de símbolos en fondo oscuro, que representarán una persona que está caminando cuando se le da el paso (PASE), y una persona parada, cuando se le prohíbe el paso (PARE). Los símbolos deberán estar iluminados con color rojo para la indicación de PARE y verde para la indicación de PASE.

En los cruces para peatones, donde la distancia por recorrer sea mayor de 18 metros, el símbolo tendrá por lo menos una altura de 23 cm, tal como se ilustra en la Figura 3.3.2_96.

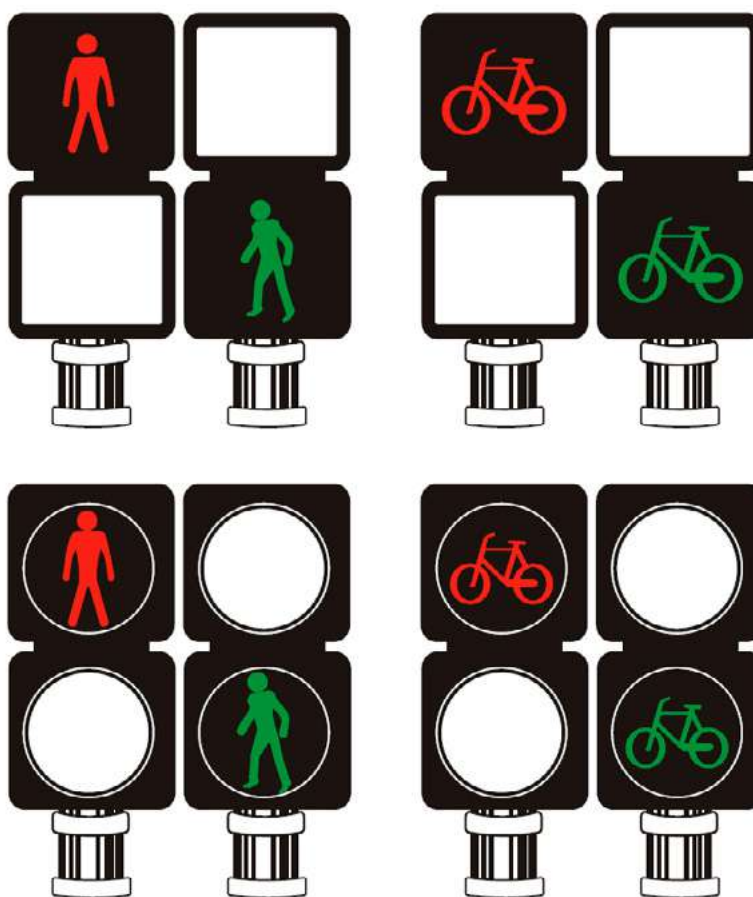


Figura 3.3.2_96. SEMÁFOROS PARA PEATONES

- PASE.

Mientras la indicación de PASE está iluminada, los peatones frente a la señal pueden cruzar la calzada en dirección a la señal; los conductores de todos los vehículos deberán cederles el derecho de paso.

- NO PASE (PARE).

Mientras la indicación de NO PASE está iluminada, los peatones no podrán comenzar a cruzar en dirección a la señal; pero los que hayan completado parcialmente el cruce durante la indicación de PASE proseguirán hasta la acera o hasta la isla de seguridad, si la hubiere.

Las indicaciones peatonales deberán llamar la atención de los transeúntes, siendo al mismo tiempo visibles, tanto en el día como en la noche, desde cualquier punto localizado algunos metros antes del cruce y hasta la longitud total a cruzar.

Cuando los semáforos para peatones se monten en postes junto con los semáforos para control vehicular, de ser factible, las indicaciones de estos últimos no serán directamente visibles por los peatones al principio del paso de los mismos; en cambio, el semáforo para éstos deberá colocarse de manera que tenga la máxima visibilidad al inicio del cruce de los transeúntes.

Las indicaciones (caras) para peatones deberán iluminarse por períodos continuos. Cuando los semáforos para el control del tránsito de una intersección están funcionando en forma intermitente, las señales para peatones deberán apagarse.

Existen varias formas en que se pueden combinar y operar las fases de los semáforos de peatones con las fases de los semáforos para el control vehicular. A continuación, se describen cuatro combinaciones básicas:

- Fase combinada para peatones y vehículos:

Es la disposición de fase de los semáforos para que los peatones puedan avanzar por ciertos pasos paralelos a la circulación de los vehículos que transitan de frente y en la cual se permite a los mismos girar cruzando dichos pasos.

- Fase semi-exclusiva para peatones y vehículos:

Es la disposición de fases de los semáforos según la cual los peatones pueden proceder a usar ciertos pasos simultáneamente con circulaciones paralelas de vehículos o con otras circulaciones en las que a los vehículos no se les permite girar cruzando los pasos de los peatones, mientras éstos los están utilizando.

- Fase con prioridad para peatones:

Es la disposición de fases en la cual se tiene una fase exclusiva para los peatones que cruzan la calle principal antes de la fase para circulación de vehículos en la calle secundaria.

- Fase exclusiva para peatones:

Es la disposición de fases que permite a los peatones cruzar la intersección en cualquier dirección durante una fase exclusiva en la que todos los vehículos están detenidos. Se recomienda el uso de este tipo de programación acompañado de un sistema de accionamiento de peatones o semi dependencia.

En la operación de semáforos de tiempo fijo o predeterminado, cuando el tiempo mínimo de PASE más el de despeje de peatones es mayor que el intervalo necesario para el tránsito vehicular, regirá el de peatones, ajustándose el intervalo vehicular a él.

En condiciones normales, el tiempo mínimo de PASE no deberá ser menor de 7 segundos para que los peatones tengan oportunidad de completar el cruce antes de que aparezca el intervalo de despeje. En calles con islas centrales, de al menos 12,0 metros de ancho, sólo se necesita dejar tiempo suficiente para despeje de peatones en una fase, de manera que puedan cruzar desde la acera hasta la isla. En este caso, si el semáforo es accionado por los peatones, se puede necesitar un detector adicional en la isla.

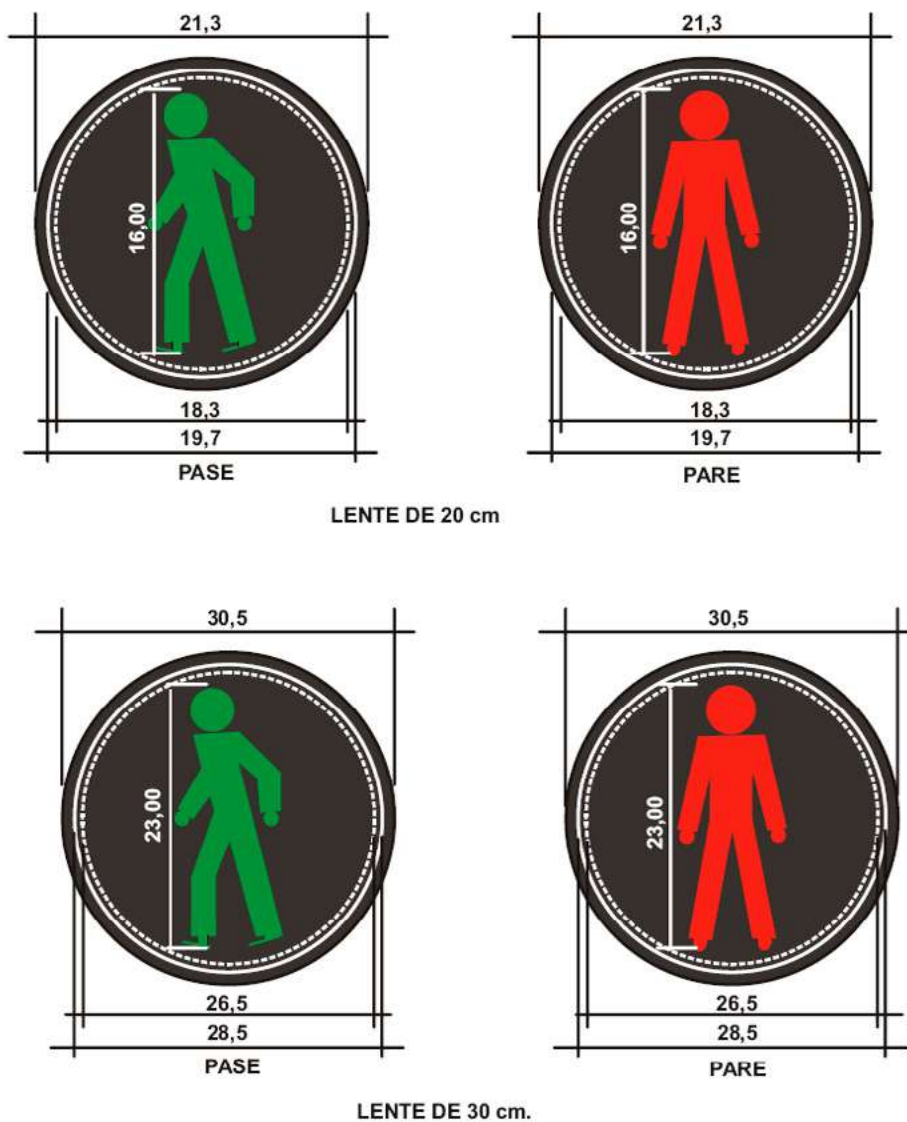


Figura 3.3.2_97. INSCRIPCIONES EN LAS LENTES DE SEMÁFOROS PARA PEATONES

C. SEMÁFOROS EN ZONAS ESCOLARES

Los semáforos en zonas escolares son dispositivos especiales para el control del tránsito de vehículos que se colocan en los cruces establecidos en los centros educativos con el propósito de prevenir al conductor de la presencia de un cruce peatonal.

Cuando los semáforos en zonas escolares son diseñados adecuadamente, localizados y operados bajo condiciones que garantizan plenamente su uso, tienen las siguientes ventajas:

- Considerando los costos iniciales y de operación, los semáforos en zonas escolares, a lo largo de varios años, representan una importante economía comparados con la vigilancia policíaca y otros elementos similares.
- En el caso de que instalen semáforos para el control del tránsito vehicular, bajo condiciones de espaciamiento adecuado, pueden ser coordinados con semáforos adyacentes para proporcionar un movimiento continuo o casi continuo del tránsito de vehículos.

Un semáforo en zona escolar se justifica cuando existe un cruce escolar establecido y cuando un estudio de ingeniería de tránsito muestre que los intervalos en el flujo vehicular son inferiores al tiempo requerido para que los escolares crucen normalmente la calle.

Considerando lo anterior, los semáforos en zonas escolares resultarán necesarios cuando:

- El volumen horario de peatones que cruza la calle principal pasa de 250 durante dos horas y en cada una de ellas el volumen de tránsito de vehículos excede de 600.
- No existe otro semáforo dentro de un radio de 300 metros.

Las lentes de los semáforos en zonas escolares serán de color amarillo, con excepción de las que tienen inscripciones, que tendrán un fondo oscuro con la inscripción luminosa en color blanco.

Como la función de estos semáforos es la de prevenir al conductor de la presencia de una zona escolar, deberán funcionar con 50 ó 60 destellos por minuto, alternados entre las lentes amarillas y la lente con la inscripción. Cuando se encuentren funcionando, los conductores de los vehículos deberán entrar en la zona escolar a baja velocidad y continuarán su marcha por ella con precauciones especiales. Por ningún motivo deberá utilizarse la luz amarilla fija.

Será necesario que exista una cara para cada sentido de circulación vehicular que es cruzado por el movimiento peatonal.

Se localizarán precisamente en el punto de cruce del movimiento peatonal y la altura se ajustará a lo indicado en el estudio de ingeniería de tránsito correspondiente.

La cara del semáforo deberá colocarse en posición vertical y a 90 grados con respecto al eje de la calle y con una inclinación de 5 grados hacia abajo.

La forma de las lentes para este tipo de semáforos será una combinación de lentes circulares con una lente cuadrada, la cual llevará una inscripción. En la Figura 3.3.2_32 se muestra esta disposición.

Las lentes circulares tendrán normalmente un diámetro nominal de 20 cm, mientras que la cuadrada será de 30 cm por lado.

La cara se integrará por tres lentes en el sentido vertical que se colocarán en el siguiente orden: circular, cuadrada y circular.

Únicamente la cara cuadrada llevará la figura de cruce de escolares y su altura será de 23 cm como mínimo.

Cada lente se iluminará independientemente. Las indicaciones del semáforo deberán distinguirse claramente desde una distancia mínima de 300 m en condiciones atmosféricas normales.

Los semáforos en zonas escolares comúnmente se apoyan en soportes de tipo ménsula o suspendidos por cables y son poco efectivos para controlar el cruce de los peatones. Por lo tanto, se complementarán con semáforos vehiculares y peatonales, colocados sobre postes y ubicados en el paso de los peatones, cuando se justifiquen o bien en las intersecciones próximas.

Los semáforos complementarios para el control del tránsito deberán ser instalados bajo las siguientes condiciones:

- En las zonas de cruce que no estén en una intersección, tendrán semáforos peatonales accionados por los usuarios del mismo. Los semáforos peatonales deberán instalarse cuando menos en cada cruce de escolares.
- En una intersección, el semáforo para vehículos deberá ser adecuado al tránsito existente. Las instalaciones de una intersección que puedan integrarse en sistemas progresivos podrán usar un control no accionado por el tránsito.
- Los sitios sin intersección de calles están libres de los peligros de los vehículos que giran y pueden ofrecer una ventaja para los escolares; sin embargo, pueden presentar un elemento inesperado para los conductores al encontrar un cruce para peatones entre intersecciones semaforizadas; por lo tanto, deberá tenerse mucho cuidado con la colocación de los semáforos y la señalización vertical y horizontal usada en esos sitios, para asegurarse de que los conductores están conscientes de esta aplicación especial.

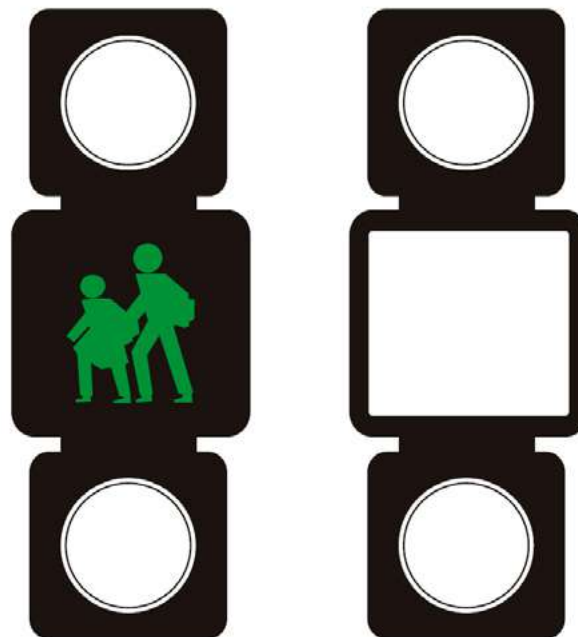


Figura 3.3.2_98. SEMÁFOROS PARA ZONAS ESCOLARES

- No deberá permitirse el estacionamiento de vehículos en los 30 metros anteriores a un cruce escolar ni en los 10 metros siguientes.
- Durante los lapsos en que no exista movimiento de escolares en el día y en los períodos inhábiles de los centros escolares, estos dispositivos deberán estar fuera de operación.

3.3.2.7.17. SEMÁFOROS ESPECIALES

Los semáforos especiales para el tránsito se dividen en:

- Semáforos intermitentes o de destello.
- Semáforos para regular el uso de carriles.
- Semáforos y barreras para indicar la aproximación de trenes (pasos a nivel)

A. SEMÁFOROS INTERMITENTES O DE DESTELLO

Son aquellos que tienen una o varias lentes de color amarillo o rojo que se iluminan intermitentemente.

Los semáforos de destello son útiles en lugares donde el tránsito o las condiciones físicas locales no justifican la operación de un semáforo para la regulación del tránsito de vehículos y sirven además, según lo demuestra la experiencia, para llamar la atención de los conductores en ciertos sitios en los que exista peligro.

Por la función que desempeñan existen distintos tipos de semáforos de destello como son:

- Semáforos intermitentes o de destello para indicar peligro.
- Semáforos intermitentes o de destello para regular la velocidad.
- Semáforos intermitentes o de destello para intersecciones.
- Semáforos intermitentes o de destello de PARE.

La instalación del semáforo intermitente amarillo se puede justificar como un dispositivo anticipado para advertir a los conductores de condiciones especiales, en una intersección o en otro sitio donde exista algún peligro, como son:

- Obstrucción en la vía.
- Intersección importante oculta por una obstrucción o una curva pronunciada en la vía.
- Alineamiento vertical u horizontal peligroso.
- Riesgos especiales o regulación del tránsito.

La instalación de un semáforo intermitente en una intersección con luz amarilla en la calle principal y luz roja en las calles transversales, se puede justificar de acuerdo a los siguientes casos:

- En las intersecciones donde la distancia de alcance visual quede extremadamente limitada o cuando sea importante recalcar la necesidad de hacer detención en una calle y proseguir con precaución en la otra.
- Este tipo de instalación es eficaz en las intersecciones en donde las velocidades de acceso exceden a las velocidades de seguridad, por las condiciones de la intersección y donde se requiera que los conductores extremen sus precauciones.
- Donde exista un gran número de accidentes susceptibles de evitarse deteniendo el tránsito o advirtiendo el peligro.

A.1. Semáforos intermitentes para indicar peligro

Un semáforo intermitente o de destello para indicar peligro, está compuesto por uno o más lentes circulares de color amarillo con un diámetro no menor de 20 cm.

Cuando se instale más de una lente, éstas deberán destellar alternadamente. Las aplicaciones más frecuentes son:

- Para indicar obstrucciones que existan en la superficie de rodadura o inmediatamente adyacente a ella.

- Como complemento anticipado, conjuntamente con señales preventivas.
- Para advertir el cruce de peatones a mitad de cuadra.
- En intersecciones donde se requiere cruzar con precaución.
- Como complemento de las señales reglamentarias, exceptuando las de “PARE” (R-01), “CEDA EL PASO” (R-02) y “DIRECCIÓN PROHIBIDA” (R-23).

La ubicación de los semáforos intermitentes para indicar peligro estará en función de la aplicación que se le dé. Cuando se instalen para indicar una obstrucción dentro de la superficie de rodamiento o adyacente a ella, se deberá iluminar la parte más baja o el principio de la obstrucción, o se pondrá una señal sobre la obstrucción o frente a ella, además del semáforo intermitente.

A.2. Semáforos intermitentes para regular la velocidad

La cara de un semáforo intermitente para regular la velocidad consta de dos lentes circulares de color amarillo con un diámetro no menor de 20 cm dispuestas verticalmente, emitiendo destellos alternados.

Estos semáforos se emplearán junto con una señal que indique la velocidad máxima y la base de la cabeza no deberá estar a menos de 30 cm ni a más de 60 cm arriba de la parte superior de la señal. Generalmente este tipo de semáforos se utiliza en zonas escolares y cuando esté operando, señala que la velocidad marcada es la vigente.

Los semáforos intermitentes para regular la velocidad y de pare deberán estar ubicados en el sitio de la restricción, ya que generalmente van acompañados de la señal reglamentaria correspondiente. La localización transversal y la altura de estos semáforos se apegarán a lo establecido para la señal reglamentaria, dado que siempre se colocan encima de éstas.

A.3. Semáforos intermitentes para intersecciones

Un semáforo intermitente para intersecciones consiste en una o más lentes de 20 cm de diámetro como mínimo con indicaciones en destello color amarillo o rojo, dispuestas verticalmente.

Son útiles en donde el tránsito y las condiciones físicas de la intersección no justifican la operación de un semáforo convencional para el control del tránsito de vehículos, debiendo usarse el color amarillo para los accesos principales y el rojo para los secundarios. En los casos en que los índices de accidentes muestren que se trata de una intersección peligrosa, podrá usarse el color rojo para todos los accesos.

Es recomendable que en los accesos donde se aplique la intermitencia roja, se coloque una señal de PARE (R-01), como complemento del semáforo.

Cuando los semáforos usados normalmente para regular el tránsito de vehículos sustituyen su funcionamiento normal por operaciones de intermitencia, según lo mencionado en el numeral 3.3.2.7.14, se deberá tener en cuenta lo siguiente:

- Si una de las vías tiene preferencia sobre la otra, en la primera se usará la intermitencia amarilla (PRECAUCIÓN) y en las demás, destello rojo.
- Cuando las velocidades de operación son diferentes, en la vía de mayor velocidad se empleará intermitencia amarilla y en las demás aproximaciones intermitencia roja.

- Si las características de todas las vías que convergen a una intersección son semejantes en intensidades de tránsito y velocidades de acceso, el semáforo puede funcionar con intermitencia roja en todas las direcciones.
- Las operaciones de intermitencia de un semáforo para el control del tránsito de un vehículo se deben regular por medio de un mecanismo eléctrico complementario, independiente de un mecanismo de control normal. En estos casos el cambio de operación de intermitencia o funcionamiento normal se efectuará en el intervalo inicial (cuando aparece la luz verde en dirección de la calle principal) y no se permite cambiar de intermitencia amarilla a rojo fijo, sin que antes haya un intervalo con luz amarilla fija.

El cambio de funcionamiento normal a operación de intermitencia o destello deberá efectuarse durante el intervalo con luz verde en la calle principal. El cambio de operación común a la intermitencia roja se efectuará inmediatamente después del intervalo para despeje correspondiente a la calle principal.

Un semáforo intermitente para intersecciones normalmente estará suspendido sobre el centro de la misma intersección, sin embargo, puede instalarse en otro lugar que se considere adecuado.

A.4. Semáforos intermitentes de PARE

Un semáforo intermitente o de destello de “PARE” consta de una o de dos lentes con indicaciones intermitentes color rojo. Cuando se empleen dos lentes, estas tendrán un diámetro de 20 cm, cuando se utilice una sola, ésta será de 20 ó 30 cm de diámetro. Las lentes podrán alinearse horizontal o verticalmente. Para el primer caso, la intermitencia será simultánea y para el segundo deberá ser alternada.

Los semáforos intermitentes deberán quedar a una altura no menor de 2,50 metros ni mayor de 4,50 metros desde la superficie de rodadura hasta su parte inferior, cuando se instalen sobre postes o pedestales, excepto los semáforos intermitentes de PARE, y para regular la velocidad.

Si se instalan suspendidos sobre la vía, la altura libre sobre la superficie de rodadura no deberá ser mayor de 6 m ni menor de 5,50 m.

Para ninguno de los casos, se deben instalar semáforos intermitentes sobre postes o pedestales dentro de la calzada o de la vía, a menos que se localicen dentro de una isla para vehículos y peatones.

Los semáforos intermitentes y su instalación deben satisfacer las especificaciones generales de proyecto para semáforos convencionales de tránsito y deben llenar las condiciones esenciales siguientes:

- Cada lente de la señal tendrá un diámetro visible no menor de 20 cm.
- El elemento de iluminación, la lente, el reflector y el visor serán de tal diseño que la lente, cuando está iluminada, se haga claramente visible al tránsito frente a ellas en todas las direcciones y hasta distancias de 300 m, bajo todas las condiciones atmosféricas, excepto niebla densa.
- El color de la lente será rojo para detenerse y amarillo para seguir con precaución.
- Todos los contactos eléctricos deberán estar equipados con filtros, para eliminar las interferencias de radio.
- El elemento luminoso de los semáforos intermitentes, deberá encenderse y apagarse a razón de 50 a 60 veces por minuto.

- El período de iluminación de cada destello no deberá ser menor que la mitad, ni mayor de dos tercios, del ciclo de destello total.
- Los semáforos intermitentes deberán operar solamente durante las horas en que exista peligro o restricción.
- Un semáforo intermitente amarillo interconectado con un control de semáforos puede emplearse anticipadamente con un semáforo convencional de tránsito vehicular, como señal preventiva.

Si la brillantez de la lente amarilla es tal que causa deslumbramiento excesivo durante la operación nocturna, se puede usar un control automático para reducir dicha brillantez en ese período.

B. SEMÁFOROS PARA REGULAR EL USO DE CARRILES

Los semáforos para regular el uso de carriles son aquellos que controlan el tránsito de vehículos en carriles individuales de una vía. Estas instalaciones se caracterizan por las unidades de señales encima de cada carril de la calzada. A menudo se emplean señales complementarias para explicar su significado y propósito.

El uso más común de estos semáforos tiene lugar en carriles con circulación reversible (contra flujo), cuando debido a las variaciones del flujo del tránsito de una vía de doble circulación, se pueden utilizar ciertos carriles para el movimiento en un sentido durante unas horas del día y para el sentido opuesto durante otras horas. Estos dispositivos se distinguen por tener semáforos sobre cada uno de los carriles y por su forma y símbolo diferente (flecha apuntando hacia abajo y "X"), y generalmente se usan señales complementarias para explicar su finalidad y funcionamiento.

El sentido de circulación de vehículos en un carril sólo deberá invertirse o hacerse reversible después que un estudio de ingeniería de tránsito demuestre que existe la necesidad de dicho tipo de circulación y que puede funcionar en forma eficaz y segura. Este tipo de operación puede justificarse, en los siguientes casos:

- Sobre una vía en donde se desee mantener el tránsito fuera de ciertos carriles en determinadas horas para facilitar el acceso del tránsito de una rampa u otra vía.
- En una autopista, cerca de sus extremos, para indicar el final de un carril.
- En una autopista o puente largo, para indicar que un carril está temporalmente cerrado por un accidente, reparación, etc.
- Cuando las circulaciones en las zonas en donde haya caseta de peaje exijan invertir el sentido del tránsito para el funcionamiento eficaz.
- Cuando la circulación de tránsito en un sentido, a la entrada o la salida de una zona de estacionamiento de una fábrica, estadio, centro comercial o similar, exceda a la capacidad de los carriles de tránsito de que se dispone para la circulación normal.
- Cuando por ciertas condiciones transitorias de la vía, convenga aumentar el número de carriles de que se dispone normalmente en un sentido, para atender los períodos de máxima demanda del tránsito en una dirección.
- Cuando un movimiento de mucho tránsito es retardado y congestionado en una subida larga de tres carriles debido al lento movimiento de los vehículos pesados que suben por esa vía, justificando, por lo tanto, el uso de dos carriles para el ascenso y de un solo carril para el movimiento de descenso.

El color de las lentes para este tipo de semáforos será rojo, amarillo y verde, sobre fondo oscuro y tendrán una flecha verde indicando hacia abajo y una "X" roja iluminada sobre fondo opaco.

Los significados de las señales y de los colores en semáforos que regulan el uso de carriles son los siguientes:

- Flecha verde apuntando hacia abajo (Fija)

Los usuarios podrán circular sobre el carril donde se encuentre iluminada esta indicación. Por lo demás, deberá obedecer todos los controles del tránsito presente y seguir las prácticas normales de conducción cuidadosa.

- "X" amarilla (Fija)

Los conductores deberán prepararse a salir del carril en donde se ilumine esta señal con la debida precaución, porque se iniciará un cambio de uso del mismo.

- "X" amarilla Intermitente

Los conductores podrán usar este carril para girar a la izquierda con la debida precaución.

- "X" roja (Fija).

Los conductores no podrán conducir por el carril donde está situada la señal, debiendo desalojar éste inmediatamente. Esta indicación prevalecerá sobre cualquier otro control de tránsito existente.

Estos semáforos deberán llevar dos caras en cada carril de circulación, una para cada dirección de la circulación del tránsito.

Cuando se instalen semáforos para el control de carriles reversibles, se recomienda que en los carriles adyacentes a los mismos, así como en los carriles más alejados, también se instale una cara en cada uno de ellos para tener uniformidad del sistema y a la vez evitar confusiones.

La cara se ubicará de tal manera que sea visible a los conductores que circulan por el carril correspondiente, colocándolas directamente al centro de cada carril en ambas direcciones. Se recomienda que se instalen grupos de semáforos de tal forma que el usuario siempre esté en posibilidad de ver por lo menos dos caras.

La parte inferior de la cara del semáforo deberá tener una altura libre no menor de 5,50 m, ni mayor de 6,0m, medidos desde la superficie del pavimento.

La cara del semáforo deberá colocarse en posición horizontal y normal al sentido de circulación. Muchas veces es conveniente darle una inclinación de 5 grados hacia abajo.

La forma de la lente de estos semáforos especiales deberá ser cuadrada para diferenciarlos de los semáforos convencionales para el control del tránsito de vehículos.

Puesto que debe tener la suficiente visibilidad para llamar la atención al conductor, la lente deberá medir 30cm por lado, como mínimo.

El número de lentes de cada semáforo dependerá del carril donde se coloquen. De esta manera, en los carriles reversibles se tendrán tres lentes (una roja, una amarilla y una verde) y, en los carriles adyacentes a los reversibles, incluyendo los más alejados, únicamente se instalará una lente, cuyo color (roja o verde) dependerá de la dirección del tránsito.

Cuando la cara del semáforo tenga tres lentes, la "X" ROJA deberá quedar en el lado izquierdo, la "X" AMARILLA en el centro y la FLECHA VERDE hacia abajo en el lado derecho.

Los símbolos inscritos en las lentes consisten en una flecha apuntando hacia abajo y una "X", las que deberán estar iluminadas sobre fondo oscuro, tal como se observa en la Figura 3.3.2_99.

Los soportes de los semáforos para carriles con circulación reversible serán del tipo cercha o puente, similares a los usados para las señales informativas elevadas tipo pasa vías, los cuales, debido a la disposición de los semáforos cubrirán todo el ancho de la calzada colocándose en línea recta y perpendicular al alineamiento de la vía.

Deberán construirse con la rigidez adecuada de acuerdo a su longitud, y con la esbeltez necesaria para que sobresalgan las indicaciones de los semáforos y no se preste a confusiones.

Cada lente se iluminará independientemente. Las indicaciones de los semáforos deberán distinguirse claramente desde una distancia mínima de 400 m en condiciones atmosféricas normales. Si el tramo que se desea controlar es de más de 400 m o si el alineamiento horizontal o vertical es curvo, así como cuando existan obstrucciones físicas o las condiciones topográficas sean desfavorables, los semáforos deberán colocarse a intervalos lo suficientemente frecuentes para que los conductores en todo tiempo puedan ver, por lo menos, una indicación y preferentemente dos (por la posibilidad de que se fundiera alguna lámpara o bombillo). De esta manera podrán tener una indicación definida de los carriles reservados específicamente para su uso.

La visibilidad de los semáforos para regular el uso del carril deberá ser menor que la especificada para los semáforos convencionales de tránsito.

Los semáforos para el control de carriles reversibles, se deben sincronizar e interconectar a un control maestro que funcione de tal manera que impida que la indicación de FLECHA VERDE hacia abajo se encienda al mismo tiempo en ambas direcciones en el mismo carril.

Cuando se vaya a prevenir al usuario del cambio de uso de carril, deberá considerarse un período de longitud adecuada con la "X" AMARILLA (fija), para que los conductores que circulen por ese carril tengan el tiempo suficiente para desalojarlo. Adicionalmente y como medida preventiva, se mantendrá la indicación de "X" ROJO en ambos sentidos durante cierto tiempo antes de que aparezca la FLECHA VERDE hacia abajo para el tránsito en dirección opuesta.

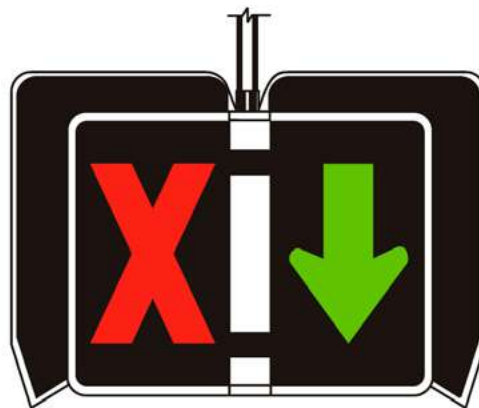


Figura 3.3.2_99. SEMÁFORO PARA REGULAR EL USO DE CARRILES

En vías con intersecciones reguladas por medio de semáforos convencionales, las indicaciones para regular la circulación por carriles deberán colocarse lo suficientemente lejanas, antes de los semáforos convencionales y después de ellos, para evitar malas interpretaciones.

El tipo de control para el funcionamiento de carriles reversibles debe permitir tanto el manejo automático como el manual.

C. SEMÁFOROS Y BARRERAS PARA INDICAR LA APROXIMACIÓN DE TRENES

En los cruces ferroviarios de calles y carreteras, en donde los estudios indican la necesidad de una mayor protección a la proporcionada por las señales, deben instalarse semáforos que indiquen la aproximación y el paso de trenes. Estos semáforos pueden complementarse con barreras que se extiendan a lo ancho del carril o carriles de tránsito, mientras los trenes se aproximan y ocupan los cruces.

Donde hay semáforos instalados en intersecciones cercanas a la ubicación de los semáforos de aproximación de trenes, se debe dar especial atención a la coordinación entre las dos instalaciones.

Los semáforos y barreras son aquellos dispositivos que indican a los conductores de vehículos y a los peatones, la aproximación o presencia de trenes, locomotoras o carros de ferrocarril en cruces a nivel de calles o carreteras.

Los semáforos de aproximación de trenes en los cruces ferroviarios de carreteras se clasifican en: luces intermitentes y semáforos oscilantes. Los dos tipos no deben usarse juntos en el mismo cruce.

Un semáforo de luz intermitente es una señal que indica la aproximación de los trenes mediante dos luces rojas intermitentes, colocadas horizontalmente, que se encienden y apagan en forma alternada a intervalos predeterminados.

El semáforo oscilante es una señal donde la indicación de la aproximación de trenes se hace por medio de un disco oscilante horizontalmente con una luz roja dentro del disco.

Las barreras para cruces a nivel de ferrocarril serán un tablero trapezoidal que desciende hasta la posición horizontal y que se extiende sobre la carretera o la calle en los dos sentidos, hasta una distancia suficiente que abarque la totalidad de los carriles de tránsito en el acceso al cruce, para impedir la circulación de vehículos, cuando se aproxima y pasa un tren.

Los semáforos y las barreras deben instalarse en un cruce a nivel de ferrocarril con una calle o carretera cuando un estudio de ingeniería de tránsito indique la necesidad de controlar el cruce.

C.1. Características de los semáforos de luz intermitente

Los semáforos de luz intermitente para cruces a nivel de ferrocarril con calles o carreteras se componen de dos luces rojas dispuestas horizontalmente, que se encienden y apagan en forma alternada a intervalos previamente establecidos.

Las caras de los semáforos quedarán orientadas hacia el tránsito que se aproxime al cruce con la vía del ferrocarril de tal manera que brinde la máxima visibilidad al conductor.

Se podrán instalar más de una cara en el mismo poste, con el auxilio de un soporte tipo ménsula, en los siguientes casos:

- Cuando al acceso principal concurren una o más vías adyacentes próximas al cruce del ferrocarril.
- Donde se necesite una mayor visibilidad de los semáforos, como es el caso de vías con varios carriles de circulación.
- Cuando se requiera un énfasis adicional, como en carreteras de alta velocidad y vías de alto volumen vehicular.
- En lugares en donde el conductor pueda distraerse fácilmente.

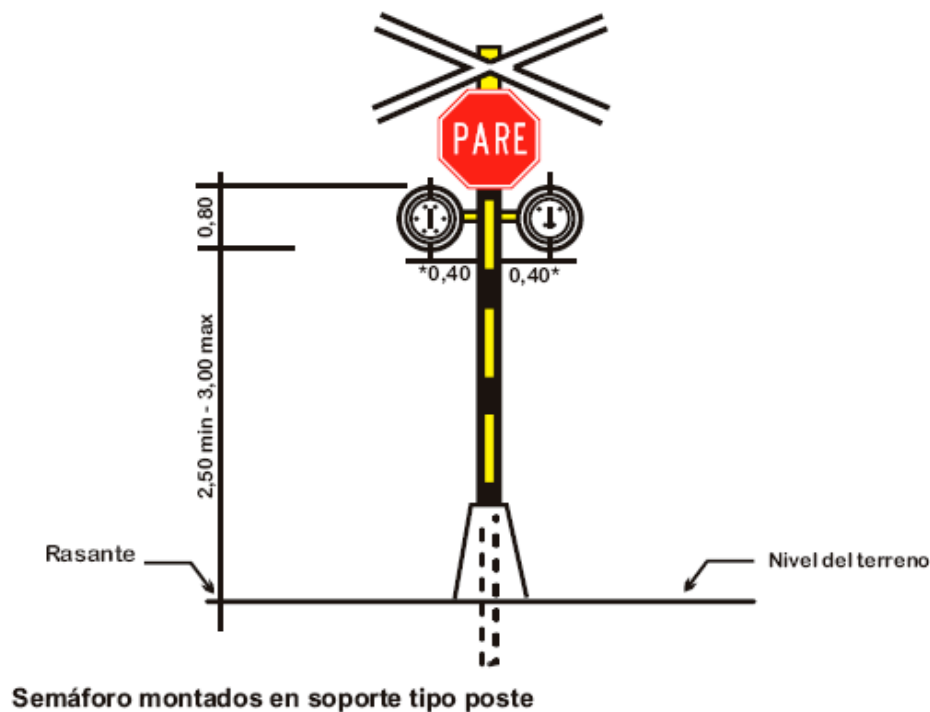
Las lentes serán de forma circular con un diámetro de 30 cm y deberán estar provistos de una pantalla de color negro con un diámetro de 50 cm colocada en la parte posterior de la lente para proporcionar mayor visibilidad a la indicación; además, llevarán una visera en la parte superior.

Los semáforos se instalarán de manera que den la indicación debida a los vehículos que se aproximan por la calle o carretera y tendrán la forma y dimensiones indicados en la Figura 3.3.2_100.

En algunos casos, cuando se estime conveniente hacer más efectivo el semáforo por circunstancias especiales, pueden instalarse timbres o campanas accionadas automáticamente.

Los semáforos de aproximación de trenes se ubicarán así:

- Ubicación longitudinal: En cada acceso de la calle o carretera al cruce de la vía o de las vías férreas, se instalará un semáforo, excepto en calles con circulación de un solo sentido, en la que se colocará sólo en el lado del acceso vehicular. Los semáforos se colocarán preferentemente a la derecha del tránsito que se aproxima.
- La distancia que mediará a lo largo de la calle o carretera, entre la parte más cercana del semáforo o la barrera en su posición horizontal y el riel más próximo, será de 3 metros como mínimo. Dicha longitud se medirá normal al sentido de la vía del ferrocarril (ver Figura 3.3.2_101).
- Ubicación lateral: Los semáforos se colocarán a no menos de 60 centímetros de la calle o carretera, medidos a partir de la orilla de la calzada o de la orilla exterior de la banquina, cuando dicha banquina se prolongue sobre los rieles.



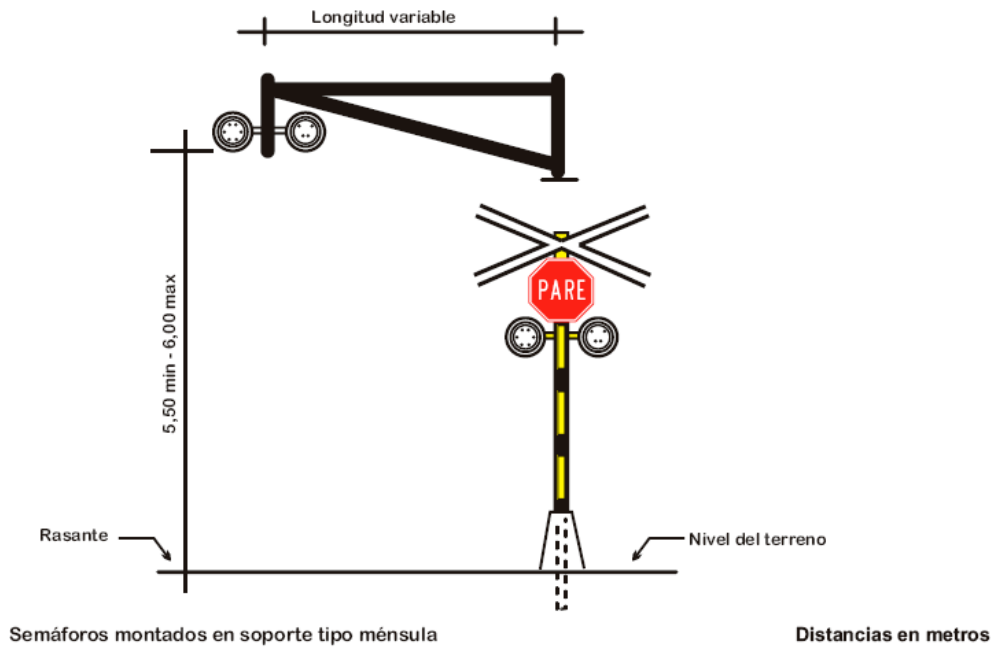


Figura 3.3.2_100. SOPORTES PARA EL MONTAJE DE SEMÁFOROS DE APROXIMACIÓN DE TRENES

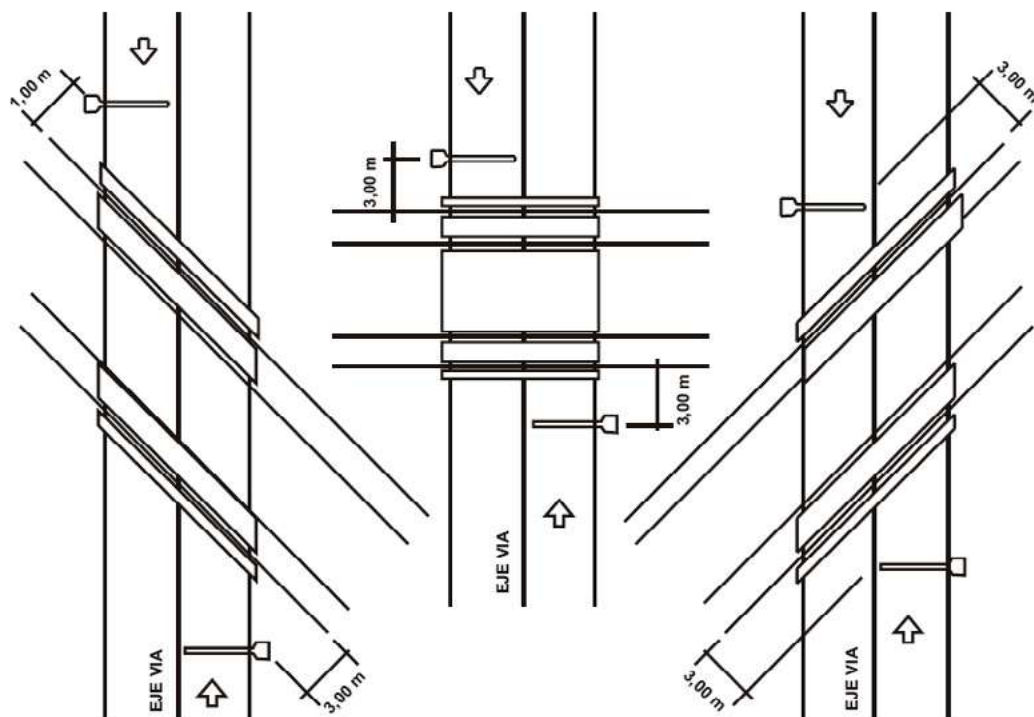


Figura 3.3.2_101. UBICACIÓN LONGITUDINAL DE LOS SEMÁFOROS Y BARRERAS

La parte inferior de las lentes de los semáforos deberá quedar a una altura no menor de 2,50 metros ni mayor de 3 metros, medida sobre el nivel de la orilla de la calzada de la carretera o de la acera, cuando se instalen en soportes tipo poste. Si quedan suspendidas sobre la vía, la altura libre no debe ser mayor de 6 metros ni menor de 5,50 metros.

C.2. Características de los semáforos oscilantes

El semáforo oscilante constará de un disco de 50 cm de diámetro dotado de un bombillo con lente roja para la indicación nocturna.

El disco estará soportado por un brazo oscilante y la longitud del recorrido de la luz oscilante del disco, medida horizontalmente entre las posiciones extremas será de 75 cm.

La señal P-49 Paso a nivel y el semáforo de ferrocarriles se deberán montar en el mismo poste.

C.3. Características de las barreras

Una barrera automática servirá como complemento de un semáforo de ferrocarril intermitente. Las barreras deben instalarse en el mismo soporte del semáforo; sin embargo, si las condiciones lo demandan, se puede colocar sobre postes, pedestales o estructuras independientes, ubicados entre el semáforo y la vía del tren. (Ver Figura 3.3.2_102).

C.4. Funcionamiento

Los semáforos y los dispositivos para indicar que se aproxima un tren, se controlarán de manera que empiecen a funcionar antes de la llegada del mismo al cruce, con un lapso razonable para dar la debida protección.

Cuando los semáforos para el control de tránsito de vehículos estén ubicados en intersecciones situadas cerca de los semáforos para indicar la proximidad de trenes, se debe prestar atención especial a la sincronización de los dos sistemas.

Donde exista una intersección cercana a un cruce de ferrocarril a nivel, en el que una de las vías sea sensiblemente paralela a la vía del ferrocarril, se recomienda instalar un semáforo o una señal complementaria que muestre las indicaciones de no girar a la derecha o a la izquierda, en la vía paralela, cuando el ferrocarril se encuentre en el cruce.

Los circuitos para la operación automática se dispondrán de manera que la barrera inicie su movimiento descendente 3 segundos como mínimo después de que el semáforo empiece a funcionar; la barrera quedara en posición horizontal antes de la llegada del tren más rápido y permanecerá así hasta que la parte posterior del tren haya salido del cruce.

Los mecanismos se deben proyectar de manera que si la barrera, mientras se eleva o baja, golpea algún objeto, se detenga inmediatamente y al quitar la obstrucción continúe hasta la posición exigida por el mecanismo de control.

En cruces donde existan diferencias importantes entre las velocidades de los trenes, conviene instalar un control que permita ajustar los tiempos a sus velocidades de operación.

Las lámparas o bombillos se iluminarán alternativamente y el número de destellos por minuto para cada una, será de 35 a 45. Cada lámpara se iluminará durante la mitad del ciclo de operación.

3.3.2.7.18. EQUIPO DE CONTROL

A. ASPECTOS GENERALES

La unidad de control es un conjunto de mecanismos electromecánicos o electrónicos, alojados en una caja, que ordenan los cambios de luces de los semáforos.

Generalmente el control de semáforos está dotado de 5 circuitos para que opere satisfactoriamente y tengan un alto grado de flexibilidad. Estos circuitos son:

- De secuencia de fase.
- De variación de ciclos o intervalos.
- De desfasamiento.

- De apagado.
- De destello.

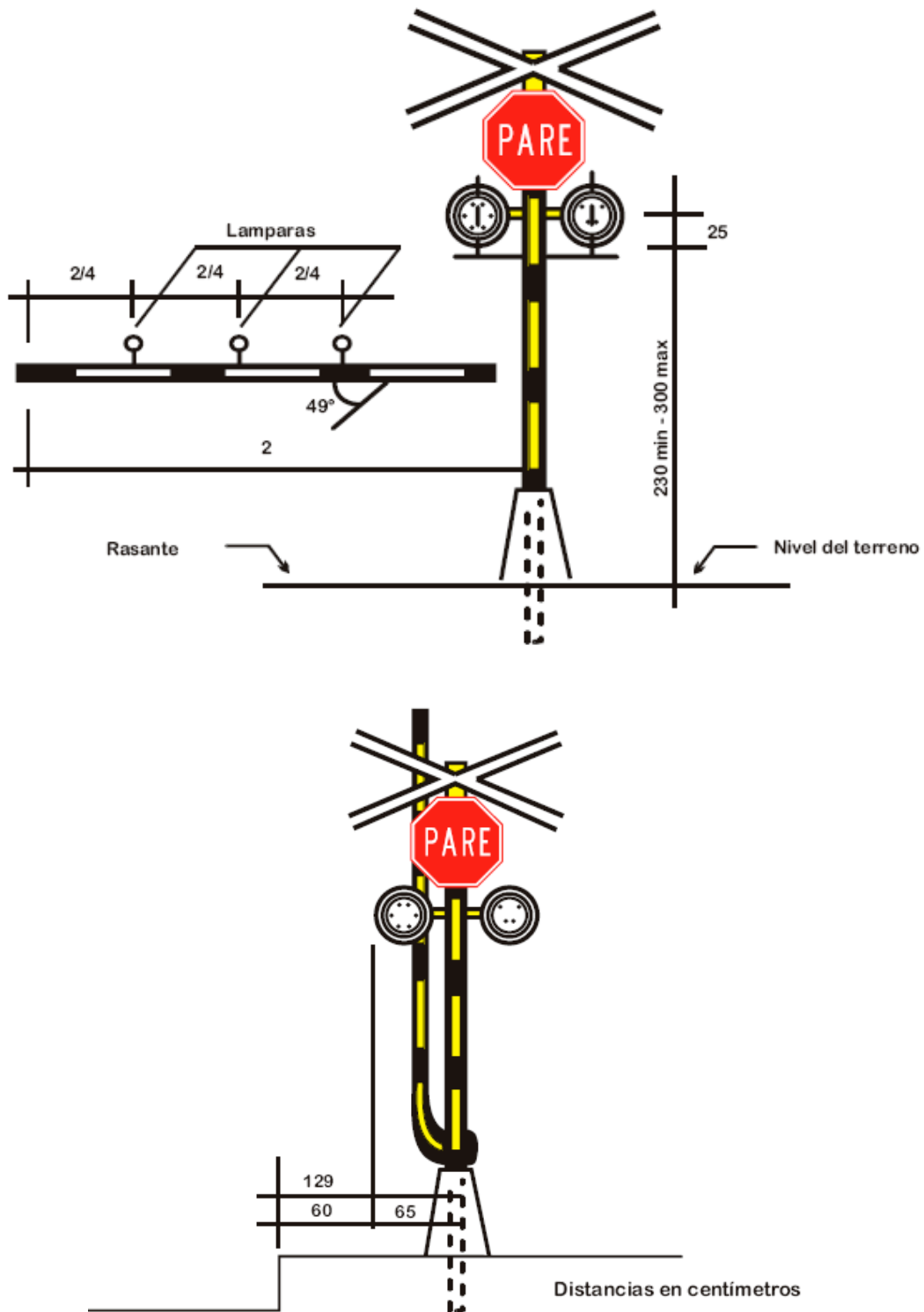


Figura 3.3.2_102. DISPOSICIÓN DE LAS BARRERAS PARA INDICAR LA APROXIMACIÓN DE TRENES

A.1. Elementos que componen los controles para regular el tránsito de vehículos

- i. No accionados por el tránsito.

Comúnmente son del tipo electromecánico y constan de tres elementos básicos, que son:

- Dispositivos de luces: Está formado por una serie de contactos de cobre que son accionados por un árbol de levas en el que se programa la secuencia del encendido de las luces de la intersección.
- Dispositivos que relacionan el árbol de levas con el reloj divisor del tiempo (cuadrante): Es un arreglo de conexiones operado por un motor que gira de acuerdo con los impulsos provenientes de los contactos del cuadrante para cambiar las indicaciones del semáforo. Cada vez que recibe un impulso, el motor opera brevemente y mueve el árbol de levas a su siguiente posición.
- Dispositivo de sincronización: Está integrado por el motor sincrónico del cuadrante, que es el que recibe la señal de sincronización del control maestro del sistema a través del cable de interconexión a su circuito.

ii. Accionados por el tránsito.

Generalmente son de tipo electrónico, siendo de tecnología avanzada. Sus dispositivos están formados por elementos electrónicos (diodos, triodos, triacs, transistores, etc.) que forman circuitos o módulos que se denominan de acuerdo a su función. La unidad accionada por el tránsito se compone generalmente de tres módulos básicos:

- Módulo de carga o de poder: Es aquel donde se localiza el transformador de carga que alimenta todos los circuitos electrónicos.
- Módulo de operación: Reparte los tiempos de las fases de los semáforos.
- Módulo de control: Recibe y transmite las señales del sistema a través del cable de interconexión (computadora, control maestro y detectores).

A.2. Elementos que componen los controles para regular el tránsito de peatones

Puede ser de dos tipos: electromecánicos o electrónicos. Sus características son idénticas a las descritas anteriormente.

A.3. Otros elementos de los controles

- Unidad de control de destello: Es del tipo electromecánico especial. Consta de un motor y dos pares de contactos, donde se conectan las lámparas. El número de destellos es de 50 a 60 por minuto y con períodos aproximados de 50% encendidos y 50% apagados. Las unidades de control de destello también se fabrican de tipo electrónico.
- Unidades de control para uso de carriles, y para cruces de ferrocarril a nivel: Pueden ser de dos tipos: electromecánicos y electrónicos, y sus características son idénticas a las descritas anteriormente.

A.4. Factores que determinan la selección del tipo de control

Los factores básicos que se deben considerar para la elección del tipo de control son: los del tránsito, los económicos y las características geométricas de la intersección.

- Factores del tránsito: Estos se refieren a los volúmenes peatonales y a los volúmenes vehiculares por acceso y por carril, a su composición modal y a la

variación horaria, obtenidos de los estudios de ingeniería de tránsito correspondientes.

- Factores económicos: En el análisis económico para seleccionar el tipo de control, se deberá considerar el costo inicial del equipo, el costo de instalación y los gastos de operación y mantenimiento, así como los beneficios y pérdidas económicas a conductores y peatones. También se tomarán en cuenta los accidentes. Al escoger el equipo de control de semáforos, deberá preverse el funcionamiento presente y futuro.
- Factores físicos de la intersección: Estos comprenden la sección transversal de los accesos, las pendientes longitudinales de los mismos y las canalizaciones de la intersección.

B. CONTROLES PARA SEMÁFOROS DE TIEMPO FIJO O PREDETERMINADO

Son los que regulan, a través de los semáforos, las circulaciones de vehículos y peatones de acuerdo a uno o más programas de tiempos determinados previamente.

En las intersecciones donde los vehículos de tránsito tienen una variación constante, las ventajas del control pre-sincronizado, o no accionados por el tránsito, son las siguientes:

- Facilitan la coordinación con semáforos adyacentes, con más precisión que en el caso de controles accionados por el tránsito, especialmente cuando es necesario coordinar los semáforos de varias intersecciones o de una misma red. Esta coordinación puede permitir una circulación progresiva y cierto grado de control de velocidades, por medio de una serie de semáforos debidamente espaciados.
- No dependen de la circulación de vehículos que pasan por los detectores, por lo que la operación de los controles no se afecta desfavorablemente debido a condiciones especiales que impidan la circulación normal frente a un detector, como en el caso de vehículos detenidos o de obras de construcción dentro de la zona de influencia del detector.
- Pueden ser más aceptables que los controles accionados por el tránsito en zonas en donde exista tránsito de peatones intenso y constante y el manejo de los semáforos accionados manualmente por los mismos pudieran provocar confusión.
- En general, el costo inicial del equipo es menor que el del accionado por el tránsito y su conservación es más sencilla.

Las características de diseño de estos controles deberán permitir el ajuste periódico a las variaciones de los volúmenes de tránsito. Los parámetros básicos de control son:

- Ciclo: Tiempo total requerido para una secuencia completa de las indicaciones de un semáforo.
- Fase: Parte del ciclo correspondiente a cualquier movimiento de vehículos o combinación de movimientos simultáneos que reciben el derecho de paso durante uno o más intervalos.
- Intervalo: Cualquiera de las divisiones del ciclo correspondiente a las indicaciones o colores del semáforo.

- Desfasamiento: Número de segundos que tarda en aparecer la indicación de luz verde en un semáforo después de un instante dado, que se toma como punto de referencia de tiempo. Suele ser expresado en tanto por ciento del ciclo. Se usa para fines de coordinación y para referirse al tiempo necesario para despejar intersecciones complejas.

Cuando, de acuerdo a los estudios realizados, se ha decidido instalar un semáforo no accionado por el tránsito, se elegirá necesariamente el tipo de mecanismo que se deberá emplear. Las elecciones posibles incluyen las siguientes:

- Control no accionado por el tránsito sin mecanismos de sincronización para intersecciones aisladas: El uso de este tipo de control se recomienda únicamente en aquellas intersecciones aisladas en donde no es posible que se presente la necesidad de sincronizarse con el de la otra intersección.
- Control no accionado por el tránsito con mecanismo de sincronización para intersecciones aisladas: Este tipo de control tiene un motor de sincronización y se deberá usar en intersecciones aisladas cuando:
 - En el futuro sea probable que se necesite la coordinación del semáforo con otros o que éste vaya a ser supervisado por el control maestro.
 - Sean aceptables las duraciones fijas de ciclos y de intervalos todo el tiempo que dure la operación de control de tránsito.

En algunos casos se puede emplear un control de dos y hasta de tres carátulas, para permitir dos o tres programas de tiempo y dar flexibilidad al control para adaptarse a las variaciones de los patrones de tránsito. La elección de los programas puede efectuarse mediante el empleo de dispositivos especiales.

- Control que permite coordinación para intersecciones sucesivas: En general, los semáforos no accionados por el tránsito, dentro de un radio de 400 m, que regulan los mismos flujos de tránsito deberán funcionar coordinadamente. Esta coordinación de semáforos puede resultar conveniente a distancias aún mayores.

Hay varios tipos de controles para coordinación. Uno de ellos implica el uso de motores desincronización sin supervisión de un control maestro. Otros sistemas implican la supervisión de los controles locales por medio de un control maestro, mediante interconexiones de cables o por radio. En los controles locales de estos sistemas pueden emplearse mecanismos con motores de sincronización o de inducción, o dispositivos electrónicos de tiempo.

La elección deberá basarse en:

- Volumen total del tránsito.
- Las proporciones y variaciones del tránsito en los diversos accesos de la intersección.
- Las variaciones de los sentidos de circulación en cada calle.
- La comparación de costos y beneficios probables para los usuarios.

Comúnmente los sistemas sincronizados no intercomunicados (o no supervisados por un control central) no deberán emplearse para altos volúmenes de tránsito, debido a sus limitaciones en cuanto a flexibilidad y por no tenerse la seguridad de que la coordinación deseada pueda continuar indefinidamente. Sin embargo, en algunos casos podrá obtenerse la flexibilidad en algunos lugares en donde haya problemas. Los indicadores visibles de fallas de corriente, adjuntos a los controles locales, son accesorios de gran utilidad para lograr una buena coordinación.

C. CONTROLES PARA SEMÁFOROS ACCIONADOS POR EL TRÁNSITO

Son aquellos cuya operación varía de conformidad con las demandas del tránsito que se registran en detectores de vehículos y peatones.

Los controles accionados por el tránsito se clasifican en cuatro categorías generales, que son:

- Controles parcialmente accionados por el tránsito.
- Controles totalmente accionados por el tránsito.
- Controles adaptables a la densidad del tránsito.
- Otros controles coordinados.

En las intersecciones donde los volúmenes de tránsito fluctúan considerablemente en forma irregular y en las que las interrupciones de circulaciones deben ser mínimas en la dirección principal, se puede obtener mayor eficacia utilizando controles accionados por el tránsito. Entre las ventajas de este tipo pueden mencionarse las siguientes:

- Pueden resultar más eficientes en las intersecciones donde las fluctuaciones del tránsito no se pueden prever y programar en la forma requerida para los sistemas con controles no accionados.
- Pueden ser de mayor eficiencia en intersecciones donde una o más circulaciones son esporádicas y de intensidad variable.
- Son generalmente más eficientes en intersecciones de calles principales con calles secundarias, debido a que interrumpen la circulación en la calle principal únicamente cuando se requiere dar paso a vehículos y peatones en la calle secundaria y restringen esas interrupciones al tiempo mínimo indispensable.
- Pueden dar la máxima eficiencia en las intersecciones desfavorablemente localizadas dentro de sistemas progresivos, en los cuales las interrupciones del tránsito en la calle principal son inconvenientes y se deben mantener al mínimo en frecuencia y duración.
- Proporcionan una operación continua sin demoras innecesarias en intersecciones aisladas, donde los controles no accionados por el tránsito en ocasiones funcionan en operación de destello durante lapsos de escaso movimiento.
- Tienen aplicación especialmente en intersecciones donde la operación de semáforos solo se necesita durante períodos cortos en el día.

Para cada categoría hay tipos diferentes de controles con distintas aplicaciones, existiendo además otras especiales para peatones y circulaciones en un solo sentido en tiempos determinados. La gran variedad de tipos y aplicaciones de controles accionados por el tránsito hacen necesario tener un conocimiento completo de todas las condiciones del propio tránsito y de la intersección antes de seleccionar el equipo que se instale.

En algunos casos, el equipo accionado por el tránsito se ha usado con el propósito principal de controlar velocidades en intersecciones y lugares intermedios; sin embargo, no es muy efectivo para este fin.

C.1. Control parcialmente accionado por el tránsito

Los controles parcialmente accionados por el tránsito son aplicables principalmente en las intersecciones de arterias de alto volumen y altas velocidades con calles secundarias de escasa circulación, razón por la que disponen de medios para ser accionados por el tránsito en uno o

más accesos pero no en todas las aproximaciones de la intersección. Los detectores se ubican sólo en los accesos secundarios.

Al operar estos controles se permite que en la calle principal normalmente se tenga indicación de luz verde, la cual cambia a la calle secundaria únicamente como resultado de la acción de los vehículos y de los peatones. En algunos casos, el intervalo de luz verde en la calle secundaria es de duración fija, lo cual no es aconsejable. En sistemas más flexibles, la duración de la indicación de luz verde en la calle secundaria es proporcional a las demandas del tránsito de la misma previéndose un límite máximo de tiempo, más allá del cual no se puede mantener la indicación de luz verde en la calle secundaria, aunque haya alta demanda de tránsito. Al término de la fase requerida, la indicación de luz verde vuelve a la calle principal y se mantiene como mínimo un intervalo previamente fijado. Al terminar el intervalo mínimo, el control vuelve a quedar libre para responder a la acción del tránsito en la calle secundaria.

Los mecanismos de control parcialmente accionados por el tránsito permiten tener verde continuo mientras no existan demandas sobre la vía secundaria. El paso sobre la calle secundaria solo es permitido en momentos en donde no se vea afectada la coordinación de acuerdo a una programación previa, teniendo en cuenta que las demás intersecciones del corredor coordinado estén interconectadas a una central de control del tránsito.

C.2. Control totalmente accionado por el tránsito

En los controles totalmente accionados por el tránsito, los detectores se instalan en todos los accesos de la intersección y el derecho de paso se le da a una calle como resultado de uno o más accionamientos en esa misma calle. Cuando no hay demandas del tránsito en ninguna de las calles, la indicación de luz verde normalmente permanecerá en aquella a la que se dio por último; pero, cuando una de las calles tenga más tránsito que las demás, podrá resultar de mayor eficacia revertir el derecho de paso a esa calle.

En el caso de accionamiento continuo en una misma calle, el derecho de paso se cederá al tránsito que espera en la calle transversal. Al terminar un lapso predeterminado, automáticamente regresará a la primera calle en la primera oportunidad, la cual no se puede presentar sino hasta después de terminado un período mínimo con la indicación de luz verde en la calle transversal.

La duración de la indicación de luz verde para cada calle, en condiciones normales de tránsito, fluctuará entre los valores máximo y mínimo prefijados, dependiendo de los lapsos entre los accionamientos. Con el tipo más común de control totalmente accionado por el tránsito, el derecho de paso, de acuerdo con los accionamientos, será cedido inmediatamente a la calle transversal si el tiempo transcurrido entre accionamientos en la calle con indicación de luz verde excede cierto valor predeterminado y si el período mínimo para dicha calle ha expirado.

Por tanto, el derecho de paso cambiará de calle a calle según la frecuencia de los lapsos entre el paso de vehículos sucesivos que excedan los tiempos prefijados para cada una de las calles. Cuando se presente alto volumen de tránsito, esos lapsos serán poco frecuentes y los intervalos con luz verde se extenderán a los máximos, por lo que, bajo estas condiciones, la operación de controles accionados por el tránsito tiende a confundirse con las de los controles no accionados por el tránsito.

Los controles totalmente accionados por el tránsito, de cualquiera de sus tipos, se pueden emplear en operaciones de más de dos fases. Hay equipos de tres o cuatro fases y la operación de controles en esas intersecciones es similar en principio, a la operación de dos fases. Con este equipo se da la oportunidad de derecho de paso a varias fases de rotación, saltándose aquellas para las que no existe demanda. Con el uso de controles de tres o cuatro fases, es posible permitir circulaciones que no interfieran entre sí durante más de una de las fases; por lo tanto, un control de tres fases puede regular cuatro o cinco flujos, siempre que únicamente tres de ellas normalmente interfieran entre sí. El accionamiento por parte de los peatones se debe prever

cuando sean necesarios períodos menores con indicación de luz verde, para establecer intervalos que permitan el cruce seguro de los mismos.

C.3. Control adaptable a la densidad del tránsito

Los controles adaptables a la densidad del tránsito, totalmente accionados por éste, permiten que el intervalo correspondiente a los lapsos entre el paso de vehículos sucesivos que exceden los tiempos prefijados para cada una de las calles, disminuya durante cada fase, de acuerdo con ciertos factores de circulación. Por lo tanto, la posibilidad de que el intervalo de luz verde termine y se ceda el derecho de paso a la calle transversal aumenta proporcionalmente a la disminución del tránsito que circula con luz verde, al transcurso del tiempo durante el cual se tienen vehículos detenidos con la indicación de luz roja y al número de los mismos. Estos y otros factores hacen que el control totalmente accionado por el tránsito de este tipo sea más sensible a las demandas de circulación con amplias variaciones de intensidad.

Por medio de un sistema que usa un control maestro accionado por la circulación para supervisar los controles locales, se logra una combinación ventajosa de los sistemas de semáforos no accionados por el tránsito con sincronización progresiva flexible y de los semáforos accionados por el tránsito.

Para ello, se instalan detectores estratégicos del sistema progresivo para suministrar al control maestro la información del tránsito en esos puntos. El control maestro selecciona el ciclo y los desfases predeterminados para lograr el mejor equilibrio de acuerdo con las intensidades de circulación que se presentan en ese tiempo. Los controles locales estarán conectados al control maestro, que los manejará en un momento dado conforme al ciclo y desfase seleccionados por el control maestro.

En el sistema de control adaptable a la densidad del tránsito, el cambio de una combinación de tiempos a otra se efectúa rápidamente y con interferencia mínima para el tránsito que circula durante el cambio. Si los controles locales son parcialmente accionados por el tránsito, la duración de la fase correspondiente a la calle secundaria, dentro del ciclo seleccionado, se determina por medio de accionamientos en detectores instalados en la misma. Este sistema permite una gran flexibilidad para lograr la coordinación efectiva de circulaciones tanto en una vía como en una red de calles.

C.4. Otros controles coordinados

Además del control adaptable a la densidad del tránsito, existen otras aplicaciones de controles accionados por el tránsito para lograr la operación coordinada de una serie de intersecciones con semáforos, como las siguientes:

- Ciclo supervisor general: Se puede imponer un ciclo supervisor general sobre una serie de controles parcialmente accionados por el tránsito mediante un control maestro de tiempo, que envía impulsos a cada uno de los controles o por medio de un control local o por motores de sincronización en cada intersección. El ciclo general y los desfases se determinan de la misma manera que para un control accionado por el tránsito. La función del ciclo supervisor es asegurar que los controles parcialmente accionados por el tránsito permitan, cuando menos, el intervalo mínimo de luz verde en la calle principal en la proporción de tiempo más conveniente para mantener la circulación progresiva en ella. Cada control parcialmente accionado por el tránsito incrementa el intervalo de luz verde en la calle principal todo el tiempo que no lo requiera la demanda de la calle secundaria y, por lo tanto, permite la mayor fluidez posible. Una desventaja que se puede presentar es que un intervalo de luz verde tan largo puede congestionar seriamente alguna intersección adyacente en la que las demandas del tránsito transversal sean mayores.

El tipo de operación que se acaba de describir, obviamente, no tiene las mismas características relativas a la regulación de velocidades que un sistema progresivo y, por ende, sólo se debe emplear cuando es más importante mover el mayor volumen de tránsito y con el mínimo de demora controlar las velocidades.

- Casos especiales de sistemas progresivos de tiempo: Una aplicación más del accionamiento del tránsito en circulaciones coordinadas se presenta en un sistema progresivo con semáforos accionados en el que la distancia entre intersecciones en uno o más lugares del sistema es tal, que la mejor disposición de los tiempos progresivos implica una reducción en la eficiencia de la sincronización, las intersecciones complicadas en un sistema progresivo, también pueden ocasionar dificultades para fijarlos tiempos. En dichos casos, es posible lograr mejores resultados con controles accionados por el tránsito.
- Coordinación mutua: La coordinación mutua se realiza a través de dos controles parcialmente accionados por el tránsito, aislados, ubicados en intersecciones adyacentes o próximas entre sí, de tal manera que se reduzcan al mínimo las paradas del tránsito en la arteria principal. Esto se logra interconectando los controles de manera que haya un desfase fijo entre accionamientos en las calles transversales.

D. CONTROLES DE SEMÁFOROS PARA PASOS PEATONALES

D.1. Controles en zonas de alto volumen peatonal

El control de las indicaciones de los semáforos para peatones se puede efectuar con el mecanismo de tiempo que normalmente se emplea en los semáforos de vehículos, en cuyo caso la fase o indicación para peatones se dará en un punto predeterminado durante cada ciclo, o bien, el control podrá ser accionado por los peatones a través de botones o teclas para introducir la fase o indicación, de acuerdo a las necesidades de los mismos.

Por regla general, debe evitarse la instalación de semáforos para peatones en puntos fuera de las intersecciones. Sin embargo, cuando los semáforos se hacen necesarios debido a condiciones especiales, el tipo de control que se deberá emplear es el accionado por los peatones, coordinado con los semáforos adyacentes.

D.2. Controles en zonas escolares

El tipo de control es similar al utilizado en los semáforos intermitentes, cuya descripción se indica en el numeral 3.3.2.7.18. (E)

E. CONTROLES PARA SEMÁFOROS INTERMITENTES O DE DESTELLO

Deberá usarse un dispositivo de encendido intermitente, generalmente instalado en un gabinete separado, retirado del semáforo, sólo para suministrar iluminación intermitente o de destello a la lente o lentes del semáforo. Las partes que componen el control son:

- Unidad de destello: Generalmente es electrónica de estado sólido, con capacidad de carga máxima de 10 amperios en sus circuitos de salida, con un voltaje de alimentación de 115 voltios.
- Tablero: Sirve de enlace entre la unidad de destello y las luces de los semáforos. Consta de un interruptor de apagado y encendido, un porta fusible para proteger la unidad de destello y una tira de terminales para conectar la alimentación y los conductores que van a las luces de los semáforos.
- Aditamento especial: Interruptor de llave externo, montado en la puerta del gabinete para poder encender o apagar el control sin tener que abrir el gabinete

F. CONTROLES DE SEMÁFOROS PARA REGULAR EL USO DE CARRILES

Los controles podrán funcionar en forma automática y manual. El mecanismo deberá permitir que se ilumine la luz roja en ambos sentidos en los carriles donde la circulación se puede invertir. La posibilidad de una indicación errónea con luz verde en ambas direcciones en el mismo carril deberá evitarse mediante un dispositivo que permita la luz verde en un sentido, únicamente cuando el otro esté en rojo.

Por la importancia que tiene el encendido de las lámparas en la seguridad, es necesario que en cada lente existan dos fuentes luminosas (lámparas), para que, en el caso de que se funda una, la otra entre en operación automáticamente, para lo cual deberá adicionarse un dispositivo especial.

G. CONTROLES DE SEMÁFOROS Y BARRERAS PARA INDICAR LA APROXIMACIÓN DE TRENES

Este tipo de controles generalmente actúan automáticamente, pero también pueden ser accionados manualmente cuando los semáforos se encuentran cercanos a la estación del ferrocarril.

Las características de operación y funcionamiento de estos controles serán similares a los controles para semáforos intermitentes o de destello. Las partes que los componen son: la unidad de destello y el tablero.

A diferencia de los controles para semáforos intermitentes, estos controles funcionarán cuando sean activados por el ferrocarril a través de los detectores instalados en la vía, suspendiendo su funcionamiento cuando la parte posterior del tren haya salido del cruce.

En los cruces de la vía del ferrocarril con la carretera en zona rural, los controles generalmente tienen su fuente de energía de baterías especiales que deberán reemplazarse con la frecuencia que lo requieran, evitando con ello el riesgo de que el semáforo esté fuera de funcionamiento en el instante en que se aproxime el tren.

En zona urbana, la energía para activar el control podrá ser tomada de las instalaciones eléctricas existentes en el lugar, pero deberá colocarse un transformador debido al bajo voltaje con que operan los dispositivos del control.

Si el cruce de la vía del ferrocarril con la calle se encuentra adyacente a una intersección regulada por semáforos, los controles de ambos sistemas deberán estar sincronizados de tal forma que, cuando se aproxime el ferrocarril al cruce las indicaciones en la intersección, eviten el acceso de los vehículos a la calle que cruza la vía del ferrocarril, con el fin de no ocasionar congestión.

Cuando se instalen barreras, éstas deberán tener un mecanismo conectado al control para que, en el momento en que comience a funcionar al semáforo, se accione dicho mecanismo y la barrera inicie su movimiento descendente hasta llegar a su posición horizontal. En el instante en que la parte posterior del tren haya salido del cruce, la barrera se accionará nuevamente para que regrese a la posición vertical.

3.3.2.7.19. DETECTORES

A. ASPECTOS GENERALES

Un detector es cualquier dispositivo capaz de registrar y transmitir los cambios que se producen o los valores que se alcanzan en una determinada característica del tránsito.

Los detectores normalmente forman parte integral de los semáforos accionados por el tránsito, que difieren de los no accionados en que estos últimos no necesitan unidades detectoras. Sin embargo, existen también detectores que tienen una aplicación especial, como los utilizados para peatones, vehículos de emergencia y ferrocarril. Los detectores de uso común para semáforos accionados por el tránsito son de presión, magnéticos y de radar, existiendo otros tipos que se han usado en grado limitado, como ópticos, acústicos, de rayos infrarrojos, ultrasónicos y neumáticos.

Cada uno de estos tipos tiene sus ventajas y desventajas y la elección se debe hacer sólo después de haber tomado en consideración todas las condiciones geométricas y del tránsito de la intersección.

Los detectores especiales para peatones, para vehículos de emergencia y para indicar la aproximación de trenes tienen cada uno de ellos características particulares.

B. DETECTORES PARA EL CONTROL DEL TRÁNSITO DE VEHÍCULOS

B.1. Detectores de presión

El detector de presión se instala en la calle o carretera y funciona mediante la presión ejercida por las ruedas del vehículo. Se puede comparar a un interruptor eléctrico, cuyo circuito se cierra por presión de la rueda. Pueden ser accionados por vehículos que viajan con velocidades hasta de 100 kilómetros por hora, pero resultan inoperantes si el vehículo se detiene sobre el detector.

B.2. Detectores magnéticos

Los detectores magnéticos son accionados por la alteración de un campo magnético causado por el paso de un vehículo y son de dos tipos: no compensados y compensados. Sólo registran vehículos en movimiento y, en consecuencia, se vuelven inoperantes o de operación continua cuando hay vehículos estacionados o algunos objetos fijos de metal dentro de su zona de influencia. Los dos tipos requieren de unidades auxiliares para amplificar los muy bajos voltajes que se generan en sus bobinas por el paso de los vehículos.

- Detectores no compensados: Tienen una zona de influencia ajustable hasta 3 m más allá de cada extremo del detector. Al aumentar esa distancia, la sensibilidad respecto de los vehículos que se mueven despacio disminuye de tal manera, que a la distancia máxima de 3 m sólo son registrados los vehículos que viajan a más de 20 kilómetros por hora. Los detectores no compensados son inapropiados en sitios en donde se necesita una delimitación precisa o que estén sujetos a influencias externas electromagnéticas, como las que causan tranvías, trolebuses y líneas de energía eléctrica.
- Detectores compensados: Los detectores de este tipo tienen dos circuitos magnéticos y están diseñados de manera que su funcionamiento no resulte afectado por influencias extrañas electromagnéticas. Están contruidos para instalarse a nivel de la superficie de rodadura y se caracterizan por estar bien definida su zona de influencia, la que generalmente se extiende únicamente 15 cm más allá de cada extremo del detector. Los buenos detectores de este tipo alcanzan un alto grado de sensibilidad para registrar los sentidos de circulación y, por lo tanto, podrán usarse eficazmente en calles angostas.

B.3. Detectores de radar

El detector de radar está diseñado para ser instalado sobre la calle o carretera y es accionado por el paso de un vehículo a través del campo de energía de microondas que emite. Tiene capacidad limitada para registrar los sentidos de circulación y responde sólo a vehículos que se mueven a más de 3 kilómetros por hora. No lo afectan los vehículos estacionados ni las influencias electromagnéticas comunes. Cada detector incluye su unidad amplificadora. Tiene una zona ajustable de influencia transversal, que varía desde 2,75 metros hasta 10,50 metros, a la altura normal de instalación.

Ubicación de detectores de vehículos para controles diferentes a los adaptables a la densidad del tránsito

- Ubicación longitudinal: La ubicación de los detectores de vehículos respecto de la línea de parada se deberá determinar después de efectuar un estudio tomando en consideración todos los factores que intervienen, inclusive tipo y características de funcionamiento del control, velocidades de acceso de vehículos, pendientes y anchura de la calle o carretera, visibilidad, entradas de vehículos y carriles exclusivos para giros. Para equipo de control parcial y totalmente accionado por el tránsito, se podrá usarla Tabla 3.3.3_53. como guía.

Si la intersección tiene un acceso canalizado y carriles especiales para giros, algunos de los espaciamientos de los detectores a veces tendrán que ser relativamente cortos, debido a las limitaciones impuestas por la longitud de los carriles para los giros, por las velocidades menores en ellos y por la necesidad de evitar accionamientos falsos.

Las dos últimas columnas de la tabla indican el tiempo mínimo a que se debe fijar el disco de control para diversas distancias entre el detector y la línea de pare. Estos períodos mínimos sirven para que los vehículos que accionan el detector reciban la indicación de luz verde en el acceso correspondiente. Un espaciamiento corto entre el detector y la línea de parada permitirá usar valores menores con reacciones más rápidas del control. Un espaciamiento mayor, por otra parte, le permitirá al control reaccionar con respecto a un vehículo más distante y a veces evitar una parada innecesaria mediante un período adicional de luz verde o una extensión del período normal, antes de que el vehículo llegue a la línea de pare.

Tabla 3.3.2_53. UBICACIÓN DE DETECTORES PARA EQUIPO DE CONTROL PARCIAL Y TOTALMENTE ACCIONADO POR EL TRÁNSITO

VELOCIDAD QUE COMPRENDE EL 85% DEL TRÁNSITO EN EL ACCESO (km/h)	DISTANCIA LÍNEA DE PARADA(*) (m)	PERÍODO INICIAL MÍNIMO APROXIMADO (s)	EXTENSIÓN DE TIEMPO MÍNIMO APROXIMADO(**) (s)
Menor de 30	34	11	4
30 a 49	43	15	4
50 a 65	52	18	4
Mayor de 65	64 o mayor	23	4

(*) Distancias para acceso de uno ó de dos carriles a nivel para anchos mayores y con visibilidad no restringida; las distancias se pueden aumentar de 19% al 15%.

(**) La suma del período inicial más una extensión de tiempo es el período mínimo con indicación de luz verde.

Si existen entradas de vehículos a predios comerciales cerca de un detector, a veces resulta conveniente apartarse un poco de las distancias dadas por la tabla. Sin embargo, si la entrada está relativamente cerca de la línea de pare conviene instalar un detector especial por el que tengan que pasar los vehículos que salen del predio. Este deberá ser un detector de advertencia que funcione únicamente cuando hay luz roja. Este arreglo permitirá al control funcionar normalmente con el detector de advertencia y a la vez asegurar que el tránsito de la salida comercial pueda pedir el derecho de paso cuando no haya otra circulación de vehículos.

- **Ubicación transversal:** Los detectores de presión y los magnéticos compensados se deberán colocar transversalmente en la calle o carretera, de manera que una o más ruedas de todos los vehículos que se aproximan a la intersección pasen sobre ellos. Los primeros se colocarán a nivel de la superficie de rodadura, mientras que los segundos se instalarán en ductos bajo la superficie de rodadura a una profundidad que variará entre 15 y 30 cm.

El detector de presión más cercano al eje de la vía se deberá localizar con un extremo aproximadamente 90 cm del eje. En accesos con varios carriles o en vías de un solo sentido, por lo general, será necesario colocar un detector en cada carril con una distancia libre entre detectores, no mayor de 1,20 m. Debe hacerse notar que los controles adaptables a la densidad del tránsito, en algunos casos podrán funcionar eficazmente por medio de detectores instalados únicamente en el carril que se seleccione década acceso.

La ubicación de un detector magnético compensado será aproximadamente la misma que la del detector a presión; pero se deberá tomar en cuenta que la sensibilidad del primero se extiende alrededor de 15 cm por fuera de cada extremo.

El detector magnético no compensado, cuando se ajusta para su mayor alcance, no tiene un punto bien definido hasta el cual se extiende su sensibilidad, y no debe usarse a menos que se necesite un alcance muy amplio. La ubicación recomendable es de 15 a 30 cm bajo la superficie de rodadura, en la línea por la que normalmente viajan las ruedas derechas del vehículo. Este tipo de detector es inapropiado para registrar vehículos en un solo carril.

El detector de radar se podrá instalar a la altura máxima permitida entre la calzada y un obstáculo superior, generalmente de 5 m, hasta un máximo de 5,50 m. Mientras más precisión se requiera, menor deberá ser la altura.

B.4. Ubicación de detectores de vehículos para controles adaptables a los volúmenes de tránsito

En los controles de volúmenes de tránsito será indispensable dejar distancias relativamente grandes entre el detector y la línea de pare, puesto que gran parte de su eficacia depende de su capacidad para recibir la información del tránsito que se aproxima con la mayor anticipación posible. Para las condiciones normales, las distancias que aparecen en la Tabla 3.3.3_ 54 han resultado satisfactorias. Si se necesita una mayor separación de grupos de vehículos, los espaciamientos podrán aumentarse en un 20%.

Tabla 3.3.2_54. UBICACIÓN DE DETECTORES PARA CONTROLES DE DENSIDAD DE TRÁNSITO

VELOCIDAD QUE COMPRENDE EL 85% DEL TRÁNSITO EN EL ACCESO (km/h)	DISTANCIA A LA LÍNEA DE PARADA (m)
32 a 48	73
49 a 64	82
65	A
80	96
Mayor de 80	114 ó mayor

C. DETECTORES DE PEATONES (BOTONES DE DEMANDA PEATONAL)

Además de los detectores para registrar la demanda de vehículos que se aproximan a una intersección, es necesario en muchos casos, disponer de un medio para registrar la demanda del tránsito de los peatones. Para este propósito se usarán botones o teclas para ser accionados por los peatones.

Los detectores de peatones se deben instalar sobre postes, localizados cerca de cada extremo del cruce, a una altura sobre la acera de 1,00 a 1,20 m acompañados de señales permanentes explicando su propósito y uso, que se colocarán por encima de los detectores o junto a ellos. Cuando dos cruces de peatones orientados en diferentes sentidos terminan cerca del mismo lugar, la ubicación de las teclas o botones indicará con claridad a cuál de los cruces corresponde. Las teclas para usos especiales, que deban ser manejadas exclusivamente por personas autorizadas, se encerrarán bajo llave para impedir que sean accionados por el público, no necesitándose en este caso las señales complementarias.

D. DETECTORES PARA INDICAR LA APROXIMACIÓN DE TRENES

Generalmente son del tipo magnético, accionados por el ferrocarril. Su diseño dependerá de las condiciones físicas de cada lugar así como de las correspondientes de operación, debiendo preverse que su instalación se realice de tal forma que inicie el funcionamiento de los semáforos antes de la llegada del ferrocarril al cruce.

Donde existan diferencias importantes entre las velocidades de los trenes, el detector se ubicará de manera que permita ajustar los tiempos a sus velocidades de operación

ANEXO

Lámina 3.3.2_1

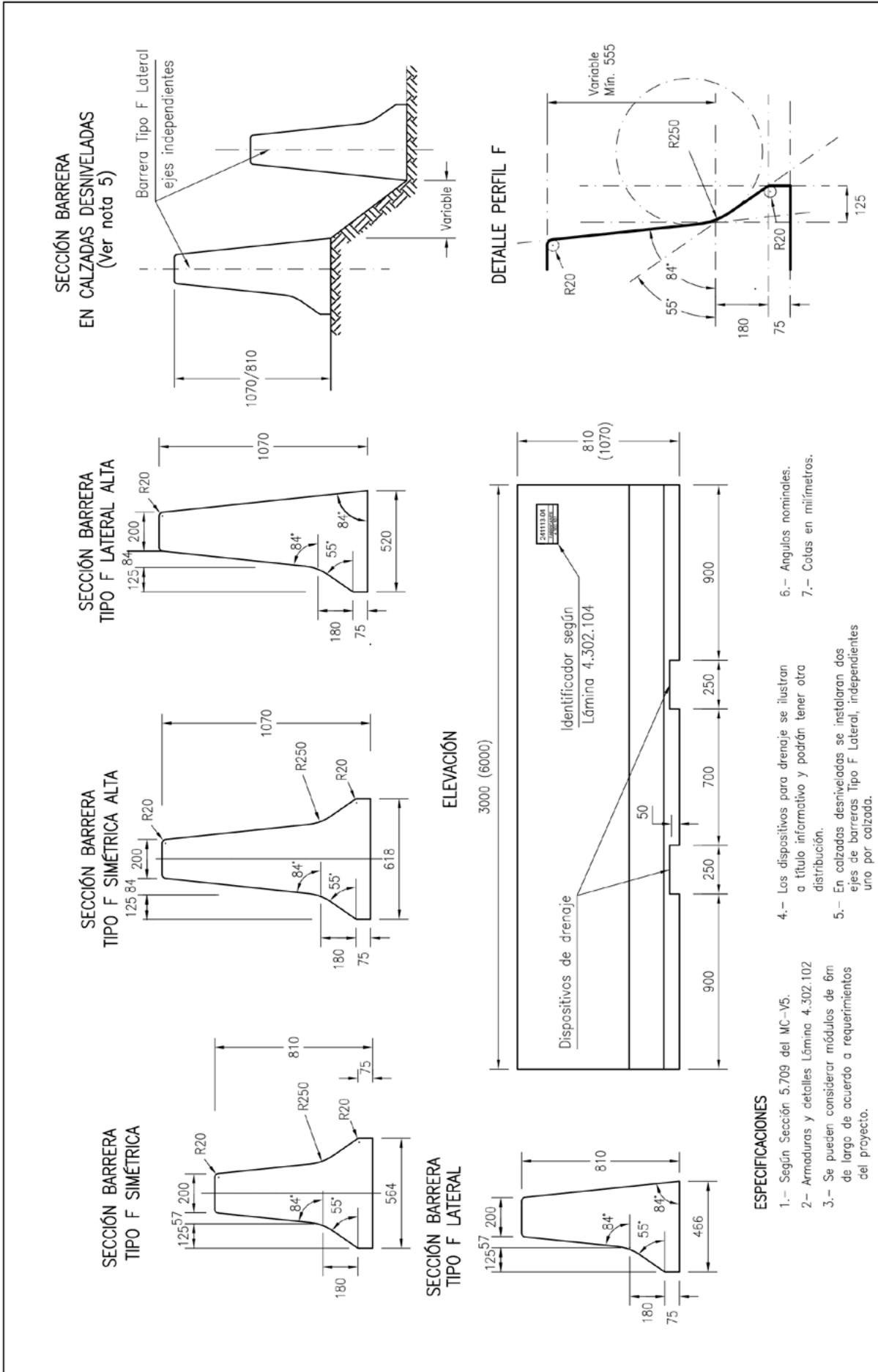


Lámina 3.3.2_2

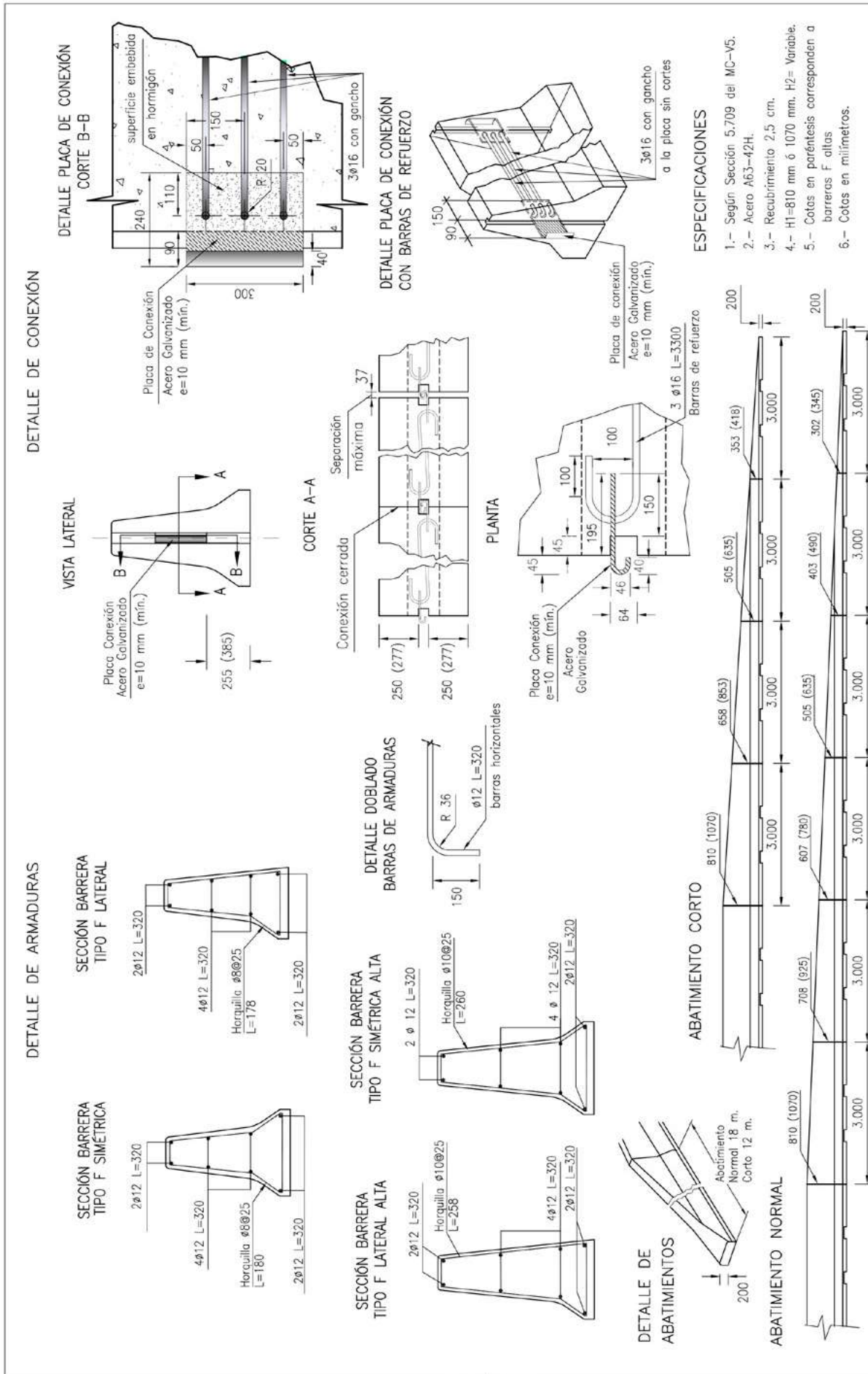


Lámina 3.3.2_3

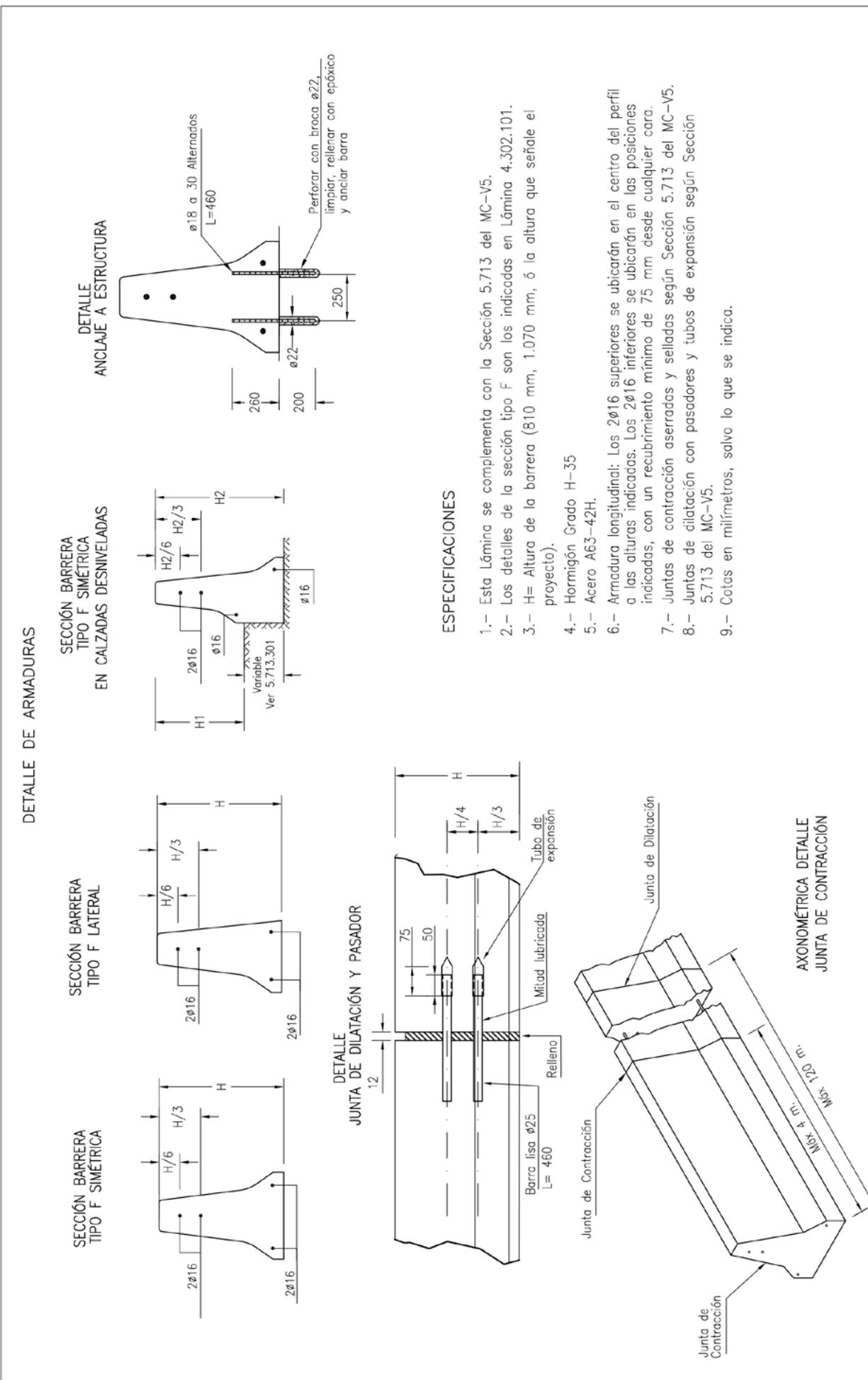


Lámina 3.3.2_4

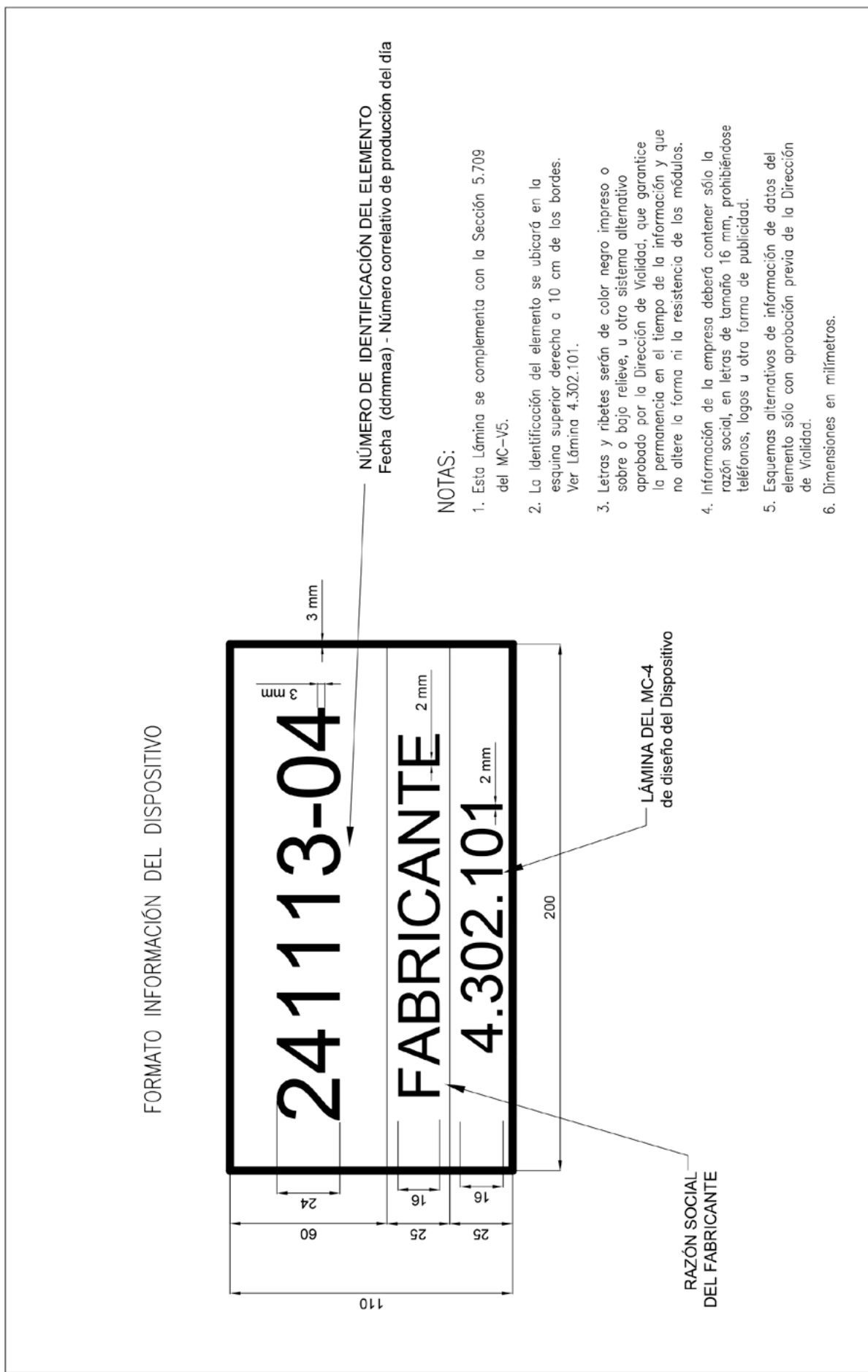
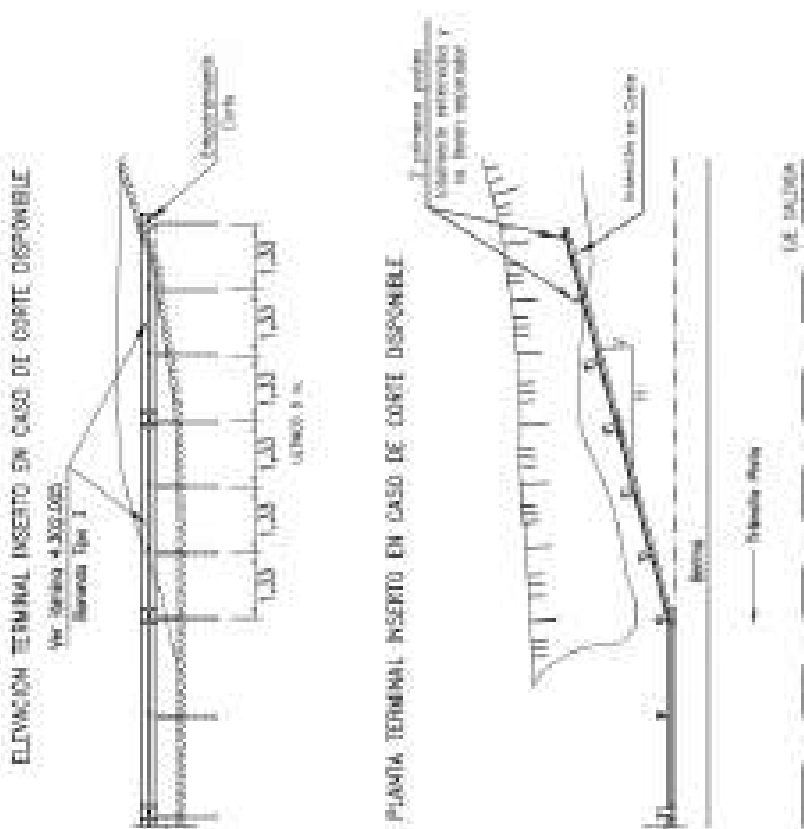


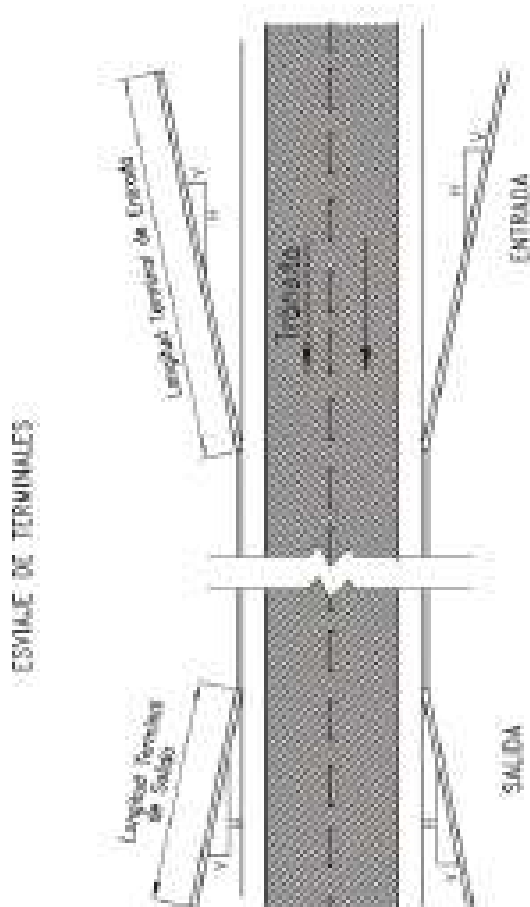
Lámina 3.3.2_5



3. El ancho (V : H) dependerá de los espacios disponibles, minimizándose en la medida posible dentro de los rangos señalados en la siguiente tabla.

Clasificación Funcional para Diseño	ESPALE	
	Barrera Alzada	Barrera Semirígida / Metálica
Carreteras V : H	1:20 a 1:50	1:25 a 1:12
Carreteras V : H	1:14 a 1:20	1:11 a 1:7

4. En caso de insertar en corte, V : H se ajustará a las condiciones de terreno.
 5. Cotas en metros.



NOTAS:

- El ancho dentro el caso de las velocidades y velocidades menores a 70 km/h. Para calzadas bituminosas y velocidades menores a 70 km/h, se colocará terminales de entrada en todos los extremos. Para velocidades superiores, se usó más accesorios y debidamente fundamentados. Para terminales insertos en corte, se usó según tanto de terminal de entrada como de salida.
- La ubicación lateral de los terminales deberá cumplir con lo indicado en el Apéndice B.5.0.7 del MC-III y Lámina 4.50.001.

Lámina 3.3.2_6

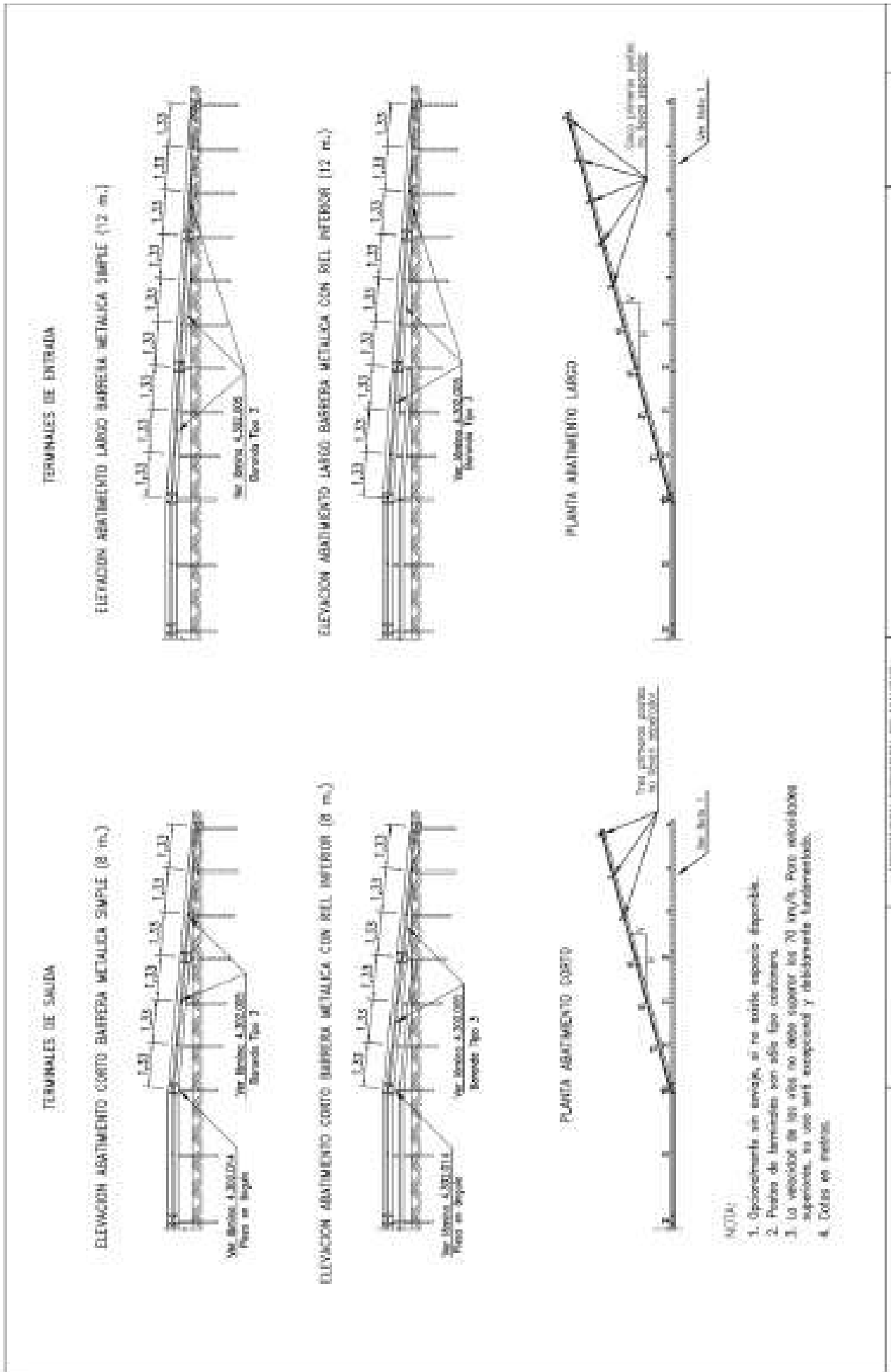
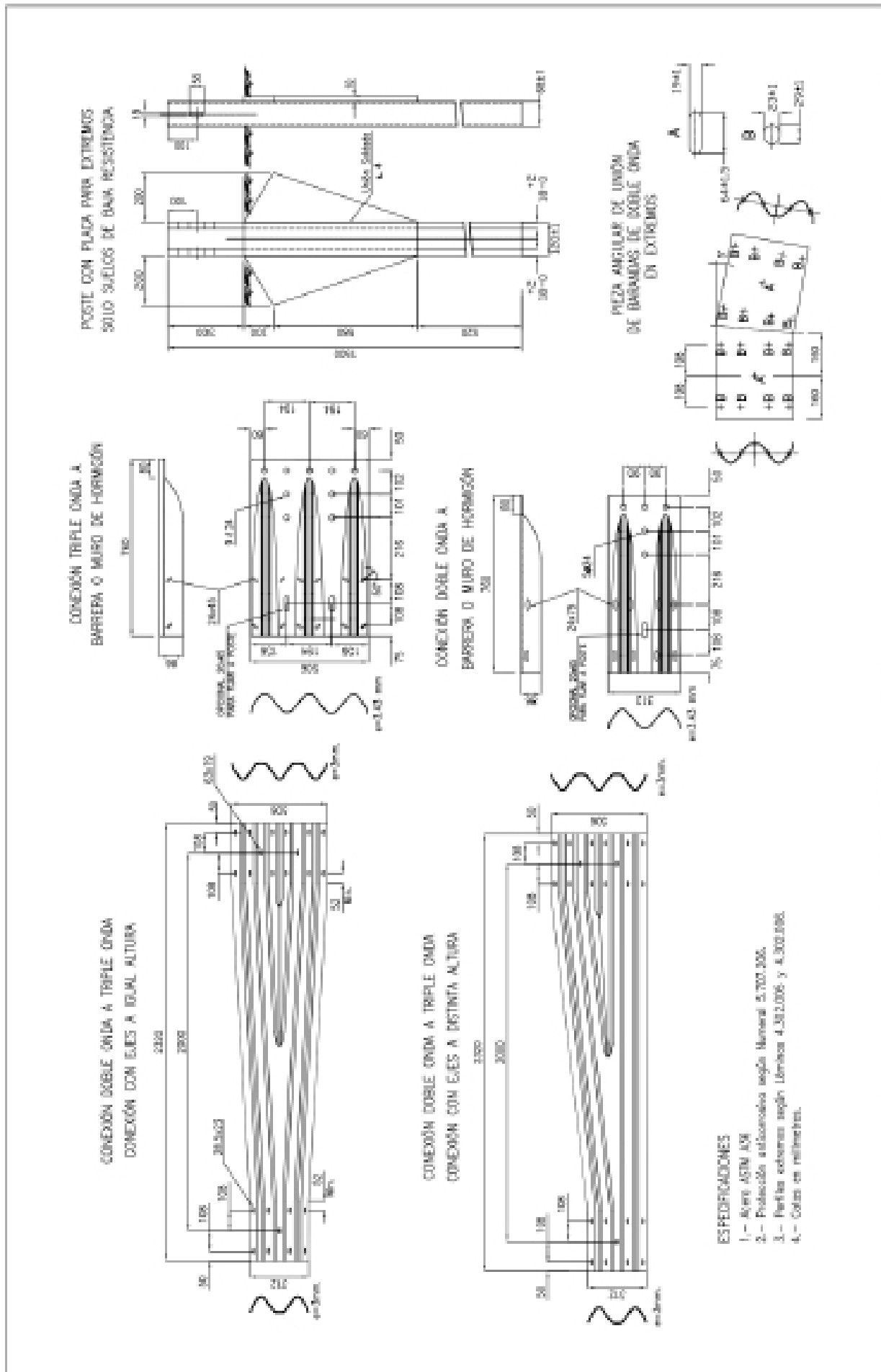


Lámina 3.3.2_7



CAPITULO 3.3.3.

DISEÑO DE SEÑALIZACION TRANSITORIA DE OBRAS Y OBRAS COMPLEMENTARIAS

SECCION 3.3.3.1. | SEÑALIZACIÓN TRANSITORIA EN ZONAS DE TRABAJO

3.3.3.1.1. SEÑALIZACIÓN DE CALLES Y CARRETERAS AFECTADAS POR OBRAS

A. GENERALIDADES

Cuando se ejecutan trabajos de construcción, rehabilitación, mantenimiento o actividades relacionadas con servicios públicos en una determinada vía, o en zona adyacente a la misma, se presentan condiciones especiales que afectan la circulación de vehículos y personas.

Dichas situaciones deberán ser atendidas especialmente, estableciendo normas y medidas técnicas apropiadas, que se incorporan al desarrollo del proyecto cualquiera sea su importancia o magnitud, con el objeto de reducir el riesgo de accidentes y hacer más ágil y expedito el tránsito de los usuarios, procurando reducir las molestias en su desplazamiento por la vía.

Las distintas características de cada obra y la variedad de condiciones que se pueden presentar, impiden establecer una secuencia rígida y única de dispositivos y normas. En todo caso la realización de obras que afecte la normal circulación del tránsito, deberá ser concordante con las disposiciones técnicas contenidas en este capítulo y ofrecer la protección a conductores, pasajeros, peatones, personal de obra, equipos y vehículos.

Las disposiciones técnicas están orientadas a las situaciones más comunes, llamadas a lograr la uniformidad en su aplicación en sectores rurales y urbanos. Se especifican normas para el diseño, aplicación, instalación y mantenimiento de los diferentes tipos de dispositivos para la regulación del tránsito, requeridos para los trabajos en vías públicas, o en terrenos próximos a ellas, que afecten el desplazamiento de los usuarios de la vía. Situaciones típicas de señalización de obras que afectan el tránsito en las vías, se ilustran en este Capítulo de la presente Guía con una serie de figuras que presentan la correcta aplicación de las medidas técnicas necesarias para el uso de los dispositivos.

Los principios y normas establecidas para cada obra, sin excepción, deberán ser tratados en forma individual y corresponderá a los organismos responsables controlar, exigir el cumplimiento de requisitos y otorgar el respectivo permiso para la ejecución de trabajos en la vía pública que comprometan el tránsito de personas y vehículos.

Los dispositivos para la regulación del tránsito deberán ubicarse con anterioridad al inicio de la obra, permanecer durante la ejecución de la misma y serán retirados una vez cesen las condiciones que dieron origen a su instalación. Cuando las operaciones se realicen por etapas, deberán permanecer en el lugar solamente las señales y dispositivos que sean aplicables a las condiciones existentes y ser removidas o cubiertas las que no sean requeridas.

Es competencia de la entidad contratante establecer la responsabilidad de la instalación de señales en las obras que se realicen en la vía o en zonas adyacentes a ella. Las señales verticales de tránsito que se emplean en zonas de construcción, rehabilitación, mantenimiento y ejecución de obras viales, están incluidas y contempladas en los mismos grupos que el resto de las señales de tránsito, es decir, preventivas, reglamentarias e informativas.

El uso de luces amarillas intermitentes, banderas, etc., junto con las señales, es permitido siempre y cuando no interfiera con la visibilidad de otros dispositivos ubicados a lo largo del tramo señalizado. Todas las señales que se utilicen en la ejecución de obras deberán ser reflectivas. Para las señales verticales se utilizarán materiales reflectivos Tipo I o de características superior-

res, sin embargo, para carreteras y vías urbanas rápidas, es aconsejable utilizar lámina reflectiva Tipo III.

Las señales deberán colocarse conforme al diseño y alineación de la vía, e instalarse de tal forma que el conductor tenga suficiente tiempo para captar el mensaje, reaccionar y acatarlo. Como regla general, se instalarán al lado derecho de la vía; en vías de dos o más carriles por sentido de circulación se colocarán el mismo mensaje en ambos costados. Cuando sea necesario, en las zonas de trabajo se podrán instalar señales sobre la calzada en soportes portátiles; también es permitido instalarlas sobre las barreras.

Las señales que requieran una mayor permanencia en el sitio de las obras, se instalarán en soportes fijos y aquellas que requieran una menor permanencia, se instalarán en soportes portátiles.

En carreteras y vías urbanas rápidas, la primera señal de prevención que advierta la existencia de la obra deberá colocarse aproximadamente a 400 metros antes de su inicio. Cuando se presenten vías alternas que faciliten el desvío de los vehículos del sitio de las obras, se recomienda señalar las diferentes alternativas que permitan indicar tal situación. En zonas urbanas, para las arterias o vías de menor jerarquía, se recomienda colocar la primera señal a una distancia entre 100 y 200 metros.

En vías de alta velocidad y acceso limitado, la distancia de las señales de prevención debe aumentarse a 400 metros o más. En estos casos conviene colocar señales informativas, con anticipación a las señales preventivas, indicando la proximidad de una obra en construcción, utilizando letras de tamaño suficiente para ser leídas a la velocidad de circulación de los vehículos.

Algunas obras que se desarrollan sobre las vías son dinámicas, lo cual requiere un tratamiento especial, como es el caso de los trabajos de señalización horizontal. En tales circunstancias, además de los dispositivos requeridos para la señalización de la obra, se podrá instalar una valla informativa en un vehículo estacionado con anticipación al lugar de trabajo o en el mismo vehículo de trabajo, caso en el cual podrá desplazarse conjuntamente con el personal que desarrolla la obra.

3.3.3.1.2. SEÑALES VERTICALES TRANSITORIAS

Además de las señales verticales contenidas en este capítulo, para la señalización de vías afectadas por obras se podrán utilizar las contenidas en la Unidad 3.3.2 de la presente Guía, siempre que se dé aplicación a las características de color y tamaño que se indican a continuación para las diferentes clases de señales.

A. SEÑALES PREVENTIVAS

Tienen por objeto advertir a los usuarios de la vía sobre los peligros potenciales existentes en la zona, cuando existe una obra que afecta el tránsito y puede presentarse un cierre parcial o total de la vía. Las señales preventivas deberán ubicarse con suficiente anticipación al lugar de inicio de la obra. Estas señales se identificarán por el código PT-Número.

Las señales preventivas tienen forma de rombo y sus colores serán naranja para el fondo y negro para símbolos, textos, flechas y orla. En vías urbanas tendrán como mínimo un tamaño de 60x 60 ó 75x75 cm; para carreteras y vías urbanas de alta velocidad su tamaño será como mínimo de 90 x90 cm ó 120 x120 cm. Se colocarán a el (los)lado(s) (derecho y/o izquierdo) de la vía que se afecte por la obra.

Cuando se requieran señales preventivas con texto, su forma será rectangular. Las letras del mensaje serán de una altura mínima de 15 cm, utilizando el alfabeto de la serie D de Señalización Vertical.

Además de las señales preventivas contenidas en la Sección 102, se podrán utilizar las siguientes, para la señalización de obras que afecten las vías.

PT-01



PT-01	SEÑALIZACIÓN TRANSITORIA
	SEÑALES VERTICALES
	SEÑALES PREVENTIVAS
	TRABAJOS EN LA VÍA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Placa con fondo anaranjado. Orla y figura en color negro de un hombre realizando trabajos con una pala. Se puede añadir una placa debajo de la señal y en el mismo soporte con la indicación de la distancia de los trabajos.	Advierte la proximidad a un tramo de la vía que se ve afectado por la ejecución de una obra.	Con suficiente anticipación de la zona a señalar, quedando ello a criterio de la autoridad.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES

PT-02



PT-02	SEÑALIZACIÓN TRANSITORIA
	SEÑALES VERTICALES
	SEÑALES PREVENTIVAS
	TRÁNSITO DE MAQUINARIA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Placa con fondo anaranjado. Orla y figura en color negro de una maquinaria vial pesada.	Advierte la utilización de maquinarias y equipos pesados operando en la calzada o zonas adyacentes.	Con suficiente anticipación de la zona a señalar, quedando ello a criterio de la autoridad.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES



	SEÑALIZACIÓN TRANSITORIA
	SEÑALES VERTICALES
	SEÑALES PREVENTIVAS
PT-03	BANDERERO

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Placa con fondo anaranjado. Orla y figura en color negro de un</p> <p>Banderero. Se puede añadir una placa rectangular debajo de la señal, sobre el mismo soporte, indicando la distancia a que se encuentra (mínimo a 100 m del banderero).</p>	<p>Anticipa la presencia de un hombre con una bandera, con el fin de regular el tránsito en el tramo donde se estén realizando trabajos de construcción o mantenimiento.</p>	<p>Con suficiente anticipación de la zona a señalar, quedando ello a criterio de la autoridad.</p>

OBSERVACIONES
<p>Se podrá usar juntamente con otras señales temporarias, o repetirla variando la distancia.</p> <p>El banderero agita una bandera roja de día o una linterna de luz roja de noche, para advertir un peligro o indicar maniobras.</p>

B. SEÑALES REGLAMENTARIAS

Los trabajos en las vías públicas o en las zonas próximas a ellas que afecten el tránsito, originan situaciones que requieren atención especial. Si en tales condiciones son necesarias medidas de reglamentación diferentes a las usadas normalmente, los dispositivos reglamentarios permanentes se removerán o se cubrirán adecuadamente y se reemplazarán por los que resulten apropiados para las nuevas condiciones del tránsito. Estas señales se identificarán con el código RT-Número.

En los sectores en donde se limite el peso del vehículo, o el peso por eje permitido, además de utilizar las señales reglamentarias correspondientes, en la medida de lo posible se habilitará un desvío para los vehículos que excedan los límites señalados para el tramo sometido a la realización de las obras.

Las señales reglamentarias tienen forma circular y sus colores serán los mismos que se describen para esta clase de señales en las Secciones 102 y 105. En vías urbanas su tamaño mínimo será un círculo de diámetro de 60 ó 75 cm; para carreteras y vías urbanas de alta velocidad el diámetro será de 90 ó 120 cm. Se colocarán al (los) lado(s) (derecho y/o izquierdo) de la vía que se afecte por la obra.

Además de las señales reglamentarias contenidas en la Sección 102, se podrán utilizar las siguientes, para la señalización de obras que afecten las vías:

RT-01



RT-01	SEÑALIZACIÓN TRANSITORIA
	SEÑALES VERTICALES
	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	VÍA CERRADA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Placa de forma circular; fondo blanco, orla y franja diagonal de color rojo; letras en negro.	Esta señal se empleará para notificar a los conductores el inicio de un tramo de vía por el cual no se permite circular mientras duren las obras.	En el mismo sitio a partir del cual empieza a aplicarse la reglamentación.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES

RT-02



RT-01	SEÑALIZACIÓN TRANSITORIA
	SEÑALES VERTICALES
	SEÑALES REGLAMENTARIAS
	DESVÍO

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Placa de forma circular, fondo blanco, orla de color rojo; símbolo y letras en negro.	Esta señal tiene el objetivo de notificar al conductor el sitio mismo en donde es obligatorio tomar el desvío señalado.	En el mismo sitio a partir del cual empieza a aplicarse la reglamentación.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES



	SEÑALIZACIÓN TRANSITORIA
	SEÑALES VERTICALES
	SEÑALES REGLAMENTARIAS
RT-01	PASO UNO A UNO

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Placa de forma circular, fondo blanco, orla de color rojo; letras en negro.	Se usará esta señal para reglamentar el paso alternado de los vehículos, cuando en una calzada de dos carriles se cierra uno de ellos.	En el mismo sitio a partir del cual empieza a aplicarse la reglamentación.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES

C. SEÑALES INFORMATIVAS

Se utilizarán señales informativas en la ejecución de obras para indicar con anticipación el trabajo que se realiza, distancia y otros aspectos que resulten importantes destacar. Se identifican con el código IT-Número.

Las señales de información deberán ser uniformes y tendrán fondo naranja reflectivo, mensaje y orla de color negro. Para el texto se utilizará el alfabeto tipo D, con una altura mínima de letra de 20 cm.

Las señales informativas en la ejecución de obras que afectan el tránsito por las vías son:

IT-01



	SEÑALIZACIÓN TRANSITORIA
	SEÑALES VERTICALES
	SEÑALES INFORMATIVAS
IT-01	APROXIMACIÓN A OBRA EN LA VÍA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Rectángulo con su mayor lado en posición horizontal, con texto en negro y fondo naranja reflectante, con una orla negra fina.	Esta señal se empleará para advertir a conductores y peatones la aproximación a un tramo de vía afectado por una obra. La señal llevará la leyenda "OBRA EN LA VÍA", seguida de la distancia a la cual se encuentra la obra. Se podrá usar conjuntamente con otras señales o repetirla variando la distancia.	Con suficiente anticipación de la zona a señalar, quedando ello a criterio de la autoridad.
OBSERVACIONES		
SIN OBSERVACIONES .		



IT-02	SEÑALIZACIÓN TRANSITORIA
	SEÑALES VERTICALES
	SEÑALES INFORMATIVAS
	CARRIL CERRADO (DERECHO-CENTRAL - ZQUIERDO)

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Rectángulo con su mayor lado en posición horizontal, con texto en negro y fondo naranja reflectante, con una orla negra fina.</p>	<p>Esta señal se empleará para prevenir a los conductores sobre la proximidad a un tramo de vía en el cual se ha cerrado uno o varios carriles de circulación. El texto de la señal deberá mencionar el (los) carril(es) inhabilitado(s) para el servicio. Por ejemplo: "CARRIL CENTRAL CERRADO".</p>	<p>Con suficiente anticipación de la zona a señalar, quedando ello a criterio de la autoridad.</p>

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES.



IT-03	SEÑALIZACIÓN TRANSITORIA
	SEÑALES VERTICALES
	SEÑALES INFORMATIVAS
	DESVÍO

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
<p>Rectángulo con su mayor lado en posición horizontal, con texto en negro y fondo naranja reflectante, con una orla negra fina. Llevando la leyenda "DESVÍO A...m" o colocando simplemente "DESVÍO" e indicando la distancia en una placa adicional instalada debajo de la señal principal en el mismo soporte.</p>	<p>Anticipa el punto donde el tránsito tiene que desviarse por una calzada o vía temporal.</p>	<p>Con suficiente anticipación de la zona a señalar, quedando ello a criterio de la autoridad.</p>

OBSERVACIONES
Se podrá usar juntamente con otras señales temporarias, o repetirla variando la distancia.



SEÑALIZACIÓN TRANSITORIA	
SEÑALES VERTICALES	
SEÑALES INFORMATIVAS	
IT-04	INICIO DE OBRA
IT-05	FIN DE OBRA

CONFORMACIÓN FÍSICA	SIGNIFICADO	UBICACIÓN
Rectángulo con su mayor lado en posición horizontal, con texto en negro y fondo naranja reflectante, con una orla negra fina. Las letras tendrán una altura de mínimo 20 centímetros, utilizando el alfabeto tipo D.	Esta señal indicará el inicio de los trabajos en la vía o zona adyacente a ella, con el mensaje "INICIO DE OBRA". Igualmente, se instalará otra señal con las mismas características, pero indicando el sitio de finalización de la obra, con la leyenda "FIN DE OBRA".	Con suficiente anticipación de la zona a señalizar, quedando ello a criterio de la autoridad.

OBSERVACIONES
SIN OBSERVACIONES

D. DISPOSITIVOS PARA LA CANALIZACIÓN DEL TRÁNSITO

La función de estos elementos es encauzar el tránsito a través de la zona de trabajos y marcando las transiciones graduales necesarias en los casos en que se reduce el ancho de la vía o se generan movimientos inesperados. Deberá poseer características tales que no ocasionen daños serios a los vehículos que lleguen a impactarlos.

Será necesario que se contemplen medidas especiales que garanticen el paso de los vehículos en forma gradual y segura a través del área de trabajo, considerando la seguridad de los peatones, los trabajadores y los equipos de la obra. Estos elementos deberán estar precedidos por señales preventivas e informativas y en las horas de oscuridad serán complementados con dispositivos luminosos.

Una disminución inadecuada de los carriles de circulación producirá operaciones de tránsito ajenas a la voluntad de los usuarios, que generan congestión y probabilidad de accidentes en el área. Se recomienda considerar las distancias mínimas contempladas en la Tabla 3.3.3_1.

Tabla 3.3.3_1. LONGITUD MÍNIMA DE TRANSICIÓN PARA EL CIERRE DE CARRILES DE CIRCULACIÓN

VELOCIDAD DE OPERACIÓN (km/h)	LONGITUD DE TRANSICIÓN L (m)
60	135
55	130
50	110
45	105
40	100

La longitud mínima recomendada está dada para una vía sin pendiente y de alineamiento recto. En el caso de aproximación a rampas, cruces, sitios de visibilidad restringida, etc. será necesario realizar ajustes a las longitudes de la Tabla 3.3.3_ 1. En general, las mejores operaciones de tránsito resultan cuando los ajustes consisten en incrementar la longitud de transición (L) en vez de reducirla.

En proyectos de obras de larga duración, la canalización permanece en el mismo lugar por grandes períodos de tiempo, durante los cuales algunos elementos como conos, barricadas, delineadores tubulares, canecas, etc., se salen de sus lugares originales; por tanto, es necesario revisar la canalización a intervalos regulares para asegurar su correcta ubicación y funcionamiento como medida de regulación del tránsito. Esta operación se facilita si los elementos del alineamiento original se indican en el pavimento con marcas en pintura. En algunas obras solamente será necesaria la canalización durante la jornada de trabajo, por lo cual deberá retirarse diariamente.

Bajo estas circunstancias, la localización de los dispositivos de canalización deberá marcarse la primera vez que se coloquen.

D.1. Barricadas

Las barricadas estarán formadas por bandas o listones horizontales, con una longitud entre 2,0 m y 2,4 m y una altura de 0,20 m, separadas por espacios iguales a sus alturas. Las bandas serán fijadas a postes firmemente hincados cuando sean fijadas para obras de larga duración y sobre caballetes cuando sean portátiles para obras de corta duración. La altura de cada barricada deberá ser de 1,50 m como mínimo. Ver Figura 3.3.3_1

Figura 4.1 Barricadas (dimensiones en metros)



Figura 3.3.3_1. BARRICADAS

Las franjas de las barreras serán de colores alternados blanco y naranja, con una inclinación hacia el piso de 45 grados en la dirección del paso de los vehículos. Cuando existen desvíos hacia la izquierda y la derecha, las franjas deberán dirigirse hacia ambos lados, partiendo desde el centro de la barrera. Los soportes y el reverso de la barrera serán de color blanco.

Las franjas deberán ser elaboradas en material reflectivo Tipo III, de tal manera que sean visibles, bajo condiciones atmosféricas normales, a una distancia mínima de 300 metros, cuando se iluminen con las luces altas de un vehículo normal.

D.2. Conos

Los conos de tránsito se emplearán para delinear carriles temporales de circulación, especialmente en los períodos de secamiento de pinturas sobre el pavimento, en la formación de carriles de tránsito que entran a zonas de reglamentación especial y en general en la desviación temporal del tránsito por una ruta.

Son dispositivos en forma de cono truncado fabricados en material plástico anaranjado, con protección UV para evitar su decoloración y de alta resistencia al impacto, de tal manera que no se deteriore ni cause daño a los vehículos.

Deberán tener un mínimo de 0,45 m de altura, con base de sustentación cuadrada, circular o de cualquier otra forma que garantice su estabilidad. Los conos de 0,45 m tendrán dos bandas de 5 cm, separadas entre sí 10 cm, elaboradas en lámina reflectiva blanca Tipo III o Tipo IV. Los conos cuya altura sea de 0,70 m o superior, deberán tener bandas de 15 cm (la superior) y de 10 cm (la inferior). Ver Figura 3.3.3_2.

Se emplearán conos de mayor tamaño cuando el volumen del tránsito, velocidad u otros factores lo requieran. Para el uso nocturno los conos podrán equiparse con dispositivos luminosos que tengan buena visibilidad.

Es necesario adoptar medidas para asegurar que los conos no sean movidos por la brisa que producen los vehículos que les pasen cerca. Se recomienda colocar lastre en sus bases.

Los conos tienen un mayor impacto visual que los delineadores tubulares. La eficiencia de estos elementos puede aumentarse durante el día, colocando una bandera de color naranja en su parte superior y en la noche cuando son iluminados internamente.

D.3. Delineadores tubulares

Estos dispositivos de canalización vehicular y peatonal serán fabricados en material plástico anaranjado. Las características del material serán similares a las descritas en los conos.

Estos elementos tendrán una altura no menor a 0,70 m y un diámetro no menor a 7 cm, ni mayor a 10 cm.

Deberán contar con tres bandas de 7,5 cm, separadas entre sí no menos de 10 cm, elaboradas en lámina reflectiva blanca Tipo III o Tipo IV. En su parte inferior serán anclados a una base que garantice su estabilidad, la cual podrá contar con un lastre que contenga materiales deformables (que no sea concreto ni piedras) y que le proporcione estabilidad en su posición vertical. Ver Figura 3.3.3_3.

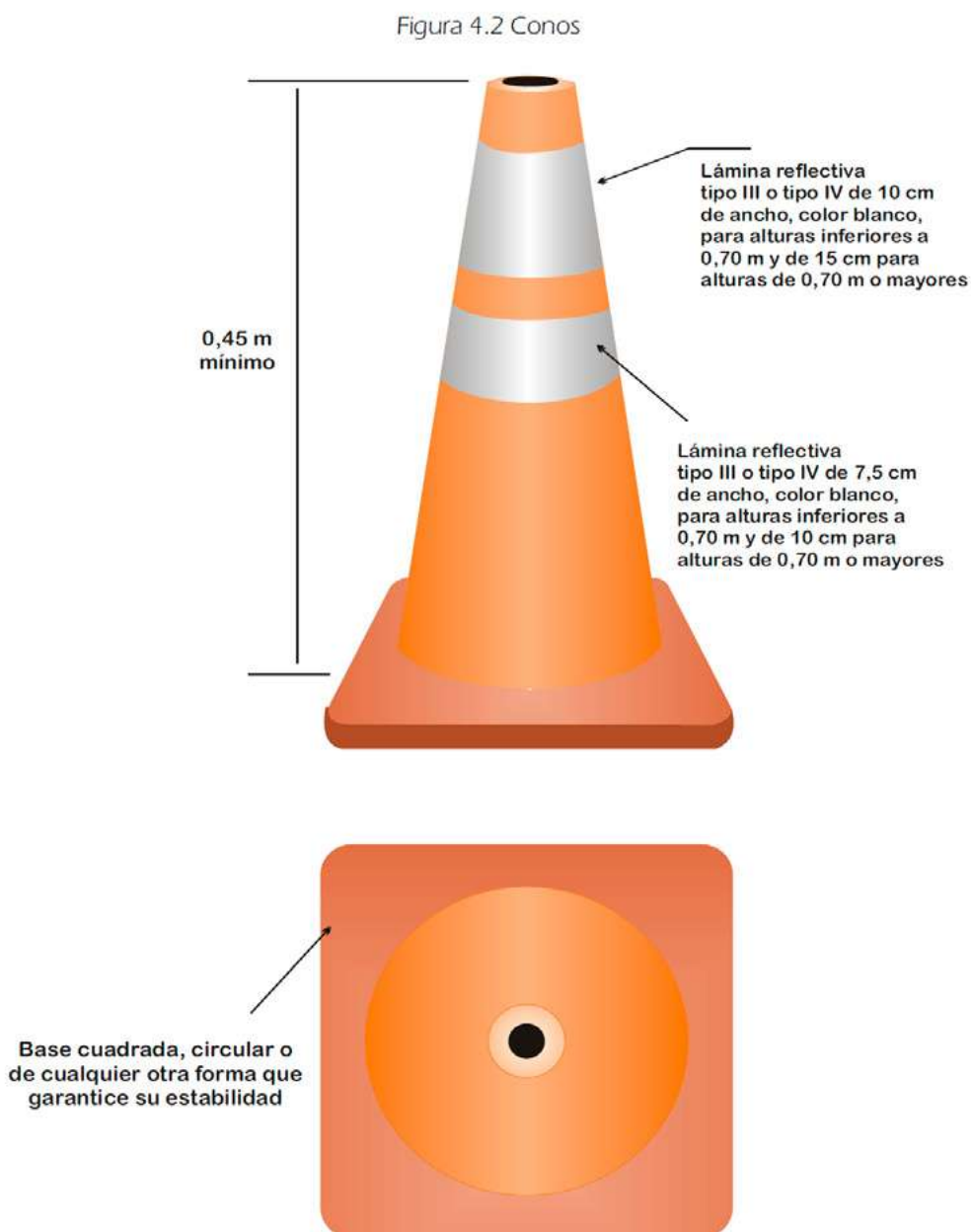


Figura 3.3.3_2. CONOS

Cuando los delineadores tubulares se utilicen para hacer cerramientos en obras, podrán tener solamente dos franjas reflectivas separadas 15 cm o más y deberán contar con un mínimo de dos (2) orificios o pasadores que permitan canalizar cintas demarcadoras de tres (3) pulgadas de ancho, que se extiendan a lo largo de la zona señalizada. Estos dispositivos no deberán tener filos y sus superficies serán redondeadas. En el caso de que algún elemento impacte el delineador tubular, éste deberá ceder o romperse en pedazos grandes que no constituyan proyectiles contundentes para vehículos o personas.

Para garantizar su estabilidad y funcionamiento, se recomienda una separación entre ellos de aproximadamente 3 m.

Los delineadores tubulares tienen una menor área visible que otros dispositivos y se recomienda ser utilizados en sectores en donde las restricciones de espacio no permitan la colocación de otros dispositivos más visibles.

Los delineadores tubulares deben estabilizarse mediante su fijación al pavimento, al usar bases con lastres, o con pesos tales como sacos de arena que pueden ser descargados sobre los delineadores o encima de la base para suministrar estabilidad adicional.

Los delineadores tubulares pueden utilizarse efectivamente para dividir vías de carriles contrarios, dividir el tránsito de vehículos automotores cuando dos o más carriles se mantienen abiertos en la misma dirección, y para delinear el borde de una caída de pavimento cuando las limitaciones de espacio no permitan el uso de dispositivos más grandes

D.4. Cilindros plásticos

Otros dispositivos utilizados para la canalización y separación del tránsito, son los cilindros plásticos los cuales tendrán forma cilíndrica con dimensiones mínimas de 80 cm de altura y 40 cm de diámetro. Su color será anaranjado y deberán contener como mínimo dos franjas blancas de lámina reflectiva Tipo III o Tipo IV, de 15 cm de ancho y podrán contener luces permanentes de advertencia cuando se utilizan para canalización en las horas de oscuridad. Ver Figura 3.3.3_4.

Dan la apariencia de ser grandes obstáculos que influyen en el grado de respeto de los conductores.

No deberán causar graves daños cuando sean impactados, por lo cual no deberán ser llenados con agua, arena u otro material que pueda aumentar su peso y que puedan causar daños mayores a los vehículos.

Con el objeto de que sean fácilmente transportables deberán ser livianos de peso. Estos dispositivos se usarán para canalizar el tránsito, pero también pueden ser utilizados solos o en grupos para indicar peligros.

D.5. Barreras plásticas flexibles (maletines)

Son dispositivos, en material plástico, utilizados para restringir y canalizar el tránsito vehicular, cuando se genera un cierre total o parcial de la vía. Generalmente como dispositivos de canalización, se colocan en serie a una distancia máxima de separación de 3 m; su color deberá ser naranja y contarán con franjas de lámina reflectiva Tipo III o IV, distribuidas en sentido horizontal y vertical. Las barreras plásticas deberán tener un diseño similar a las mostradas más abajo.

Para lograr que estos dispositivos tengan un peso que evite su fácil movimiento, deberán ser llenadas con agua o arena. Sus dimensiones mínimas en metros serán: altura 0,60 m, longitud 0,70 m y ancho 0,40 m Cuando su utilización sea nocturna, se hace necesario adosarles una lámpara intermitente. Ver Figura 3.3.3_5.

Figura 4.3 Delineadores tubulares

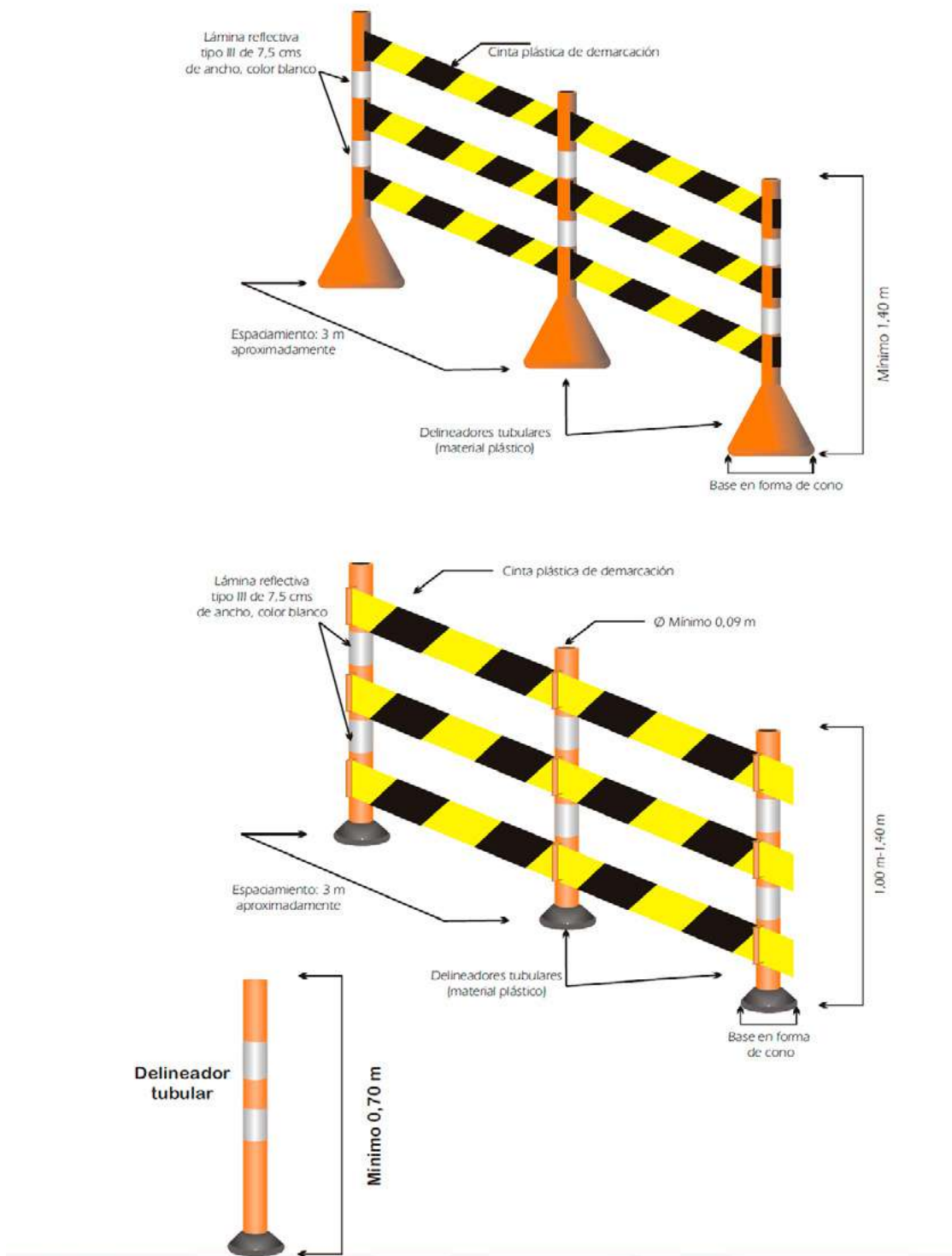


Figura 3.3.3_3. DELINEADORES TUBULARES

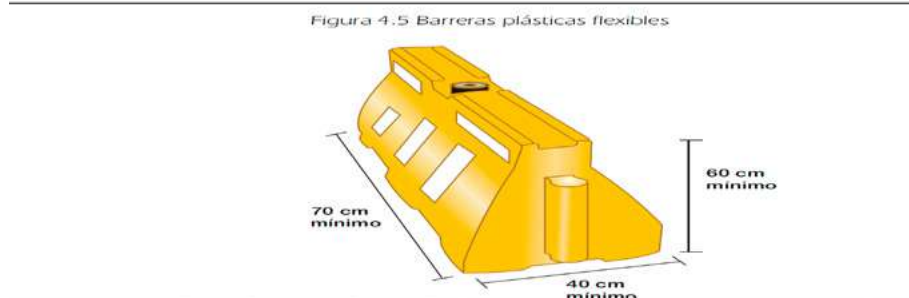
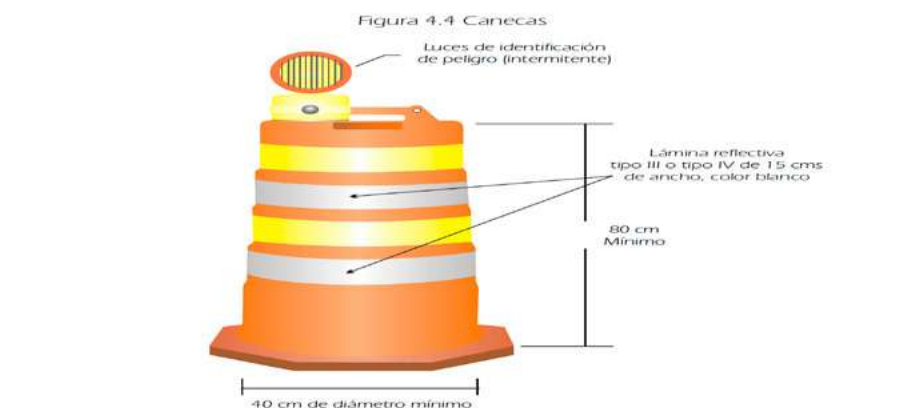


Figura 3.3.3_4. CILINDROS PLÁSTICOS

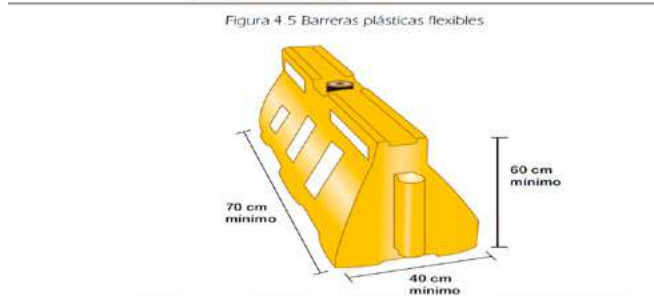
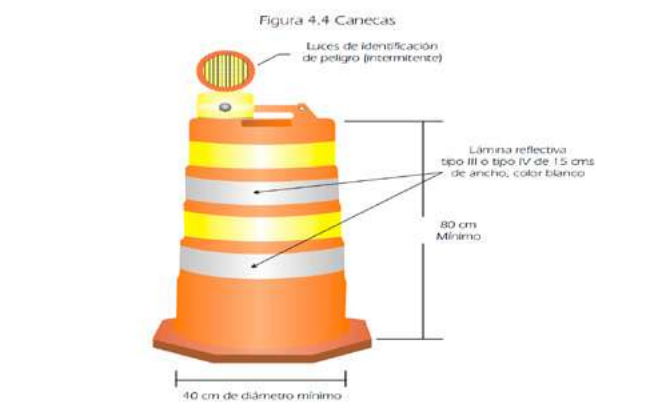


Figura 3.3.3_5. BARRERAS PLÁSTICAS FLEXIBLES

D.6. Tabiques, cintas plásticas y mallas.

Estos elementos tienen por objeto cercar el perímetro de una obra e impedir el paso de tierra o residuos hacia las zonas adyacentes al área de trabajo. Las mallas y cintas plásticas se fijan a tabiques de madera o tubos galvanizados de 2 pulgadas de diámetro de 1,40 a 1,60 m de altura libre, que se hincan en forma continua sobre el terreno distanciados cada 3 m, aproximadamente. Los tabiques también podrán estar sostenidos sobre bases de concreto. Ver Figura 3.3.3_6.

Deberán ser colocados de tal forma que no afecten la visibilidad de los vehículos en las intersecciones. Los tabiques o tubos estarán pintados, exteriormente, con franjas alternas de color

blanco y naranja elaboradas en lámina reflectiva Tipo I, de 10 cm de ancho e inclinadas a 45° de arriba hacia abajo, indicando el sentido del flujo vehicular cuando su cara externa está de vista a la calzada. Para mayor seguridad, durante la noche podrán acompañarse de dispositivos luminosos intermitentes.

Estos elementos se usarán también para la canalización de personas sobre aceras y senderos peatonales, indicando el corredor previsto para la circulación, con un ancho acorde a su demanda y bajo condiciones prevaecientes de seguridad y comodidad.

Se utilizarán como mínimo dos hiladas de cinta, con una separación entre sí de 50 cm, de colores naranja y blanco, alternados. También podrán usarse cintas de colores negro y amarillo o amarillo y blanco.

Las mallas y cintas no se utilizarán en señalización de cierres parciales o totales de calzada; tampoco en casos de excavaciones que representen un peligro potencial para los peatones. La cinta reflectiva podrá usarse como ayuda y no como un dispositivo de señalización.

D.7. Reja portátil peatonal

Son dispositivos de canalización peatonal, utilizados durante la ejecución de obras de corta duración, tales como cajas, pozos, aceras, etc. Deberán colocarse alrededor del área de trabajo, con el fin de proteger a los peatones y trabajadores; es indispensable acompañarlos con dispositivos de luz intermitente en horas nocturnas. Las características de la reja portátil. Ver Figura 3.3.3_7.

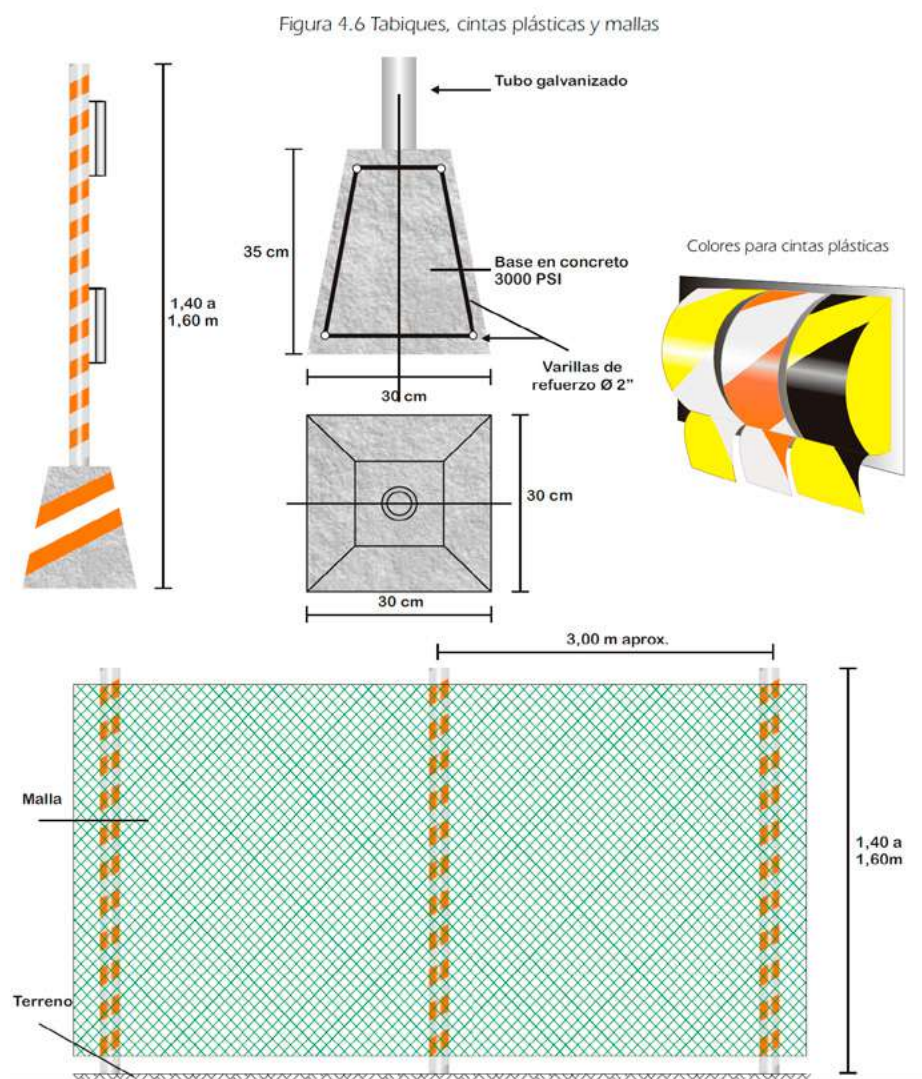


Figura 3.3.3_6. TABIQUES, CINTAS PLÁSTICAS Y MALLAS

Figura 4.7 Reja portátil peatonal

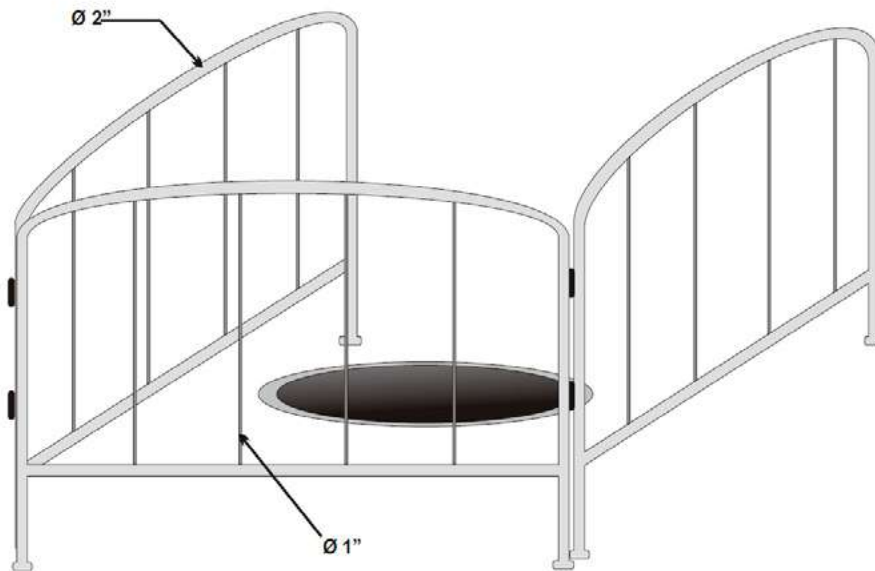
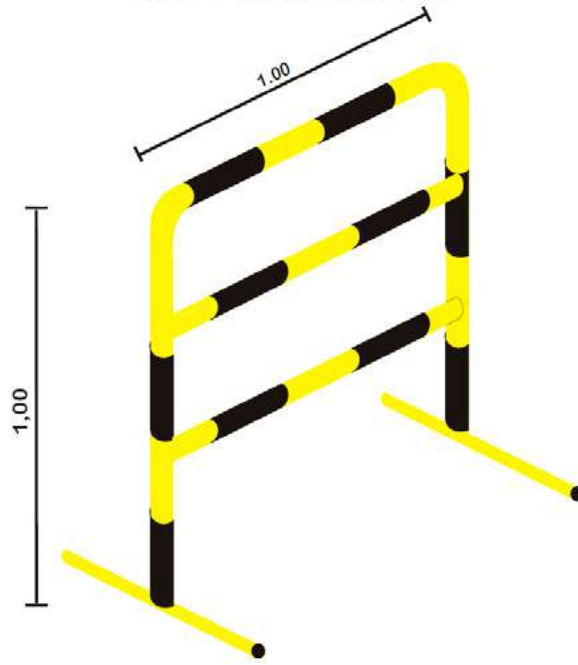


Figura 3.3.3_7. REJA PORTÁTIL PEATONAL

3.3.3.1.3. DISPOSITIVOS LUMINOSOS

El desarrollo de obras genera con frecuencia condiciones peligrosas en horas de oscuridad o en condiciones atmosféricas adversas, por lo tanto, es necesario complementar las señales verticales y los elementos de canalización con dispositivos luminosos, tales como reflectores, luces permanentes y luces intermitentes o de destello.

A. REFLECTORES

En la ejecución de obras los reflectores tienen una limitada pero muy importante función, especialmente cuando se utilizan bandereros para regular el tránsito de vehículos. Con el fin de dar la mayor seguridad posible es aconsejable agregar a las medidas de prevención un reflector hacia el sector en donde está ubicado el banderero. Se deberá tener cuidado de iluminar correctamente el área deseada sin producir deslumbramiento a los conductores. La correcta posición de los reflectores puede determinarse mejor haciendo el recorrido y observando el área iluminada desde ambos lados de la vía.

Debido al alto volumen de tránsito en ciudades, las obras en las vías o en las zonas aledañas a éstas deberán hacerse preferentemente durante la noche, cuando es menor el flujo de vehículos. Una correcta iluminación, con reflectores en el lugar de trabajo, es indispensable para que los trabajadores puedan ver mejor el trabajo que estén realizando y para que sean vistos por los conductores.

B. LUCES DE IDENTIFICACIÓN DE PELIGRO (LUCES INTERMITENTES)

Las luces de identificación de peligro son del tipo intermitente con luz amarilla, con una lente mínima de 20 cm de diámetro. Serán utilizadas en puntos de peligro como un medio de llamar la atención de los conductores. La activación de las luces intermitentes se hará en horas nocturnas. En el día se usarán cuando las condiciones climáticas lo exijan. Podrán operarse por unidades o en grupos.

Durante obras de mantenimiento diurnas, las funciones de las luces intermitentes se suplen adecuadamente por medio del equipo de iluminación de los vehículos de mantenimiento, bien sea por las luces de emergencia intermitentes, lámparas de techo rotativas o ambas. No obstante, donde las actividades diurnas de mantenimiento requieran que la obstrucción permanezca en la calzada en horas de la noche, las luces intermitentes se pueden instalar en el punto de peligro. Ver Figura 3.3.3_4.

C. LÁMPARAS DE ENCENDIDO ELÉCTRICO CONTINUO

Están constituidas por una serie de lámparas amarillas, de pocos vatios de potencia, que se usan para indicar obstrucciones o peligro. Son generalmente menos efectivas que las luces intermitentes; sin embargo, cuando se necesiten luces para delinear la calzada a través de obstrucciones o alrededor de ellas, en una obra, la delineación se logrará mediante el uso de este tipo de lámparas.

Cuando se ubican en línea sobre barreras son efectivas para indicar el paso correcto del vehículo a través de áreas de construcción por etapas, que requieran el cambio de movimiento del tránsito.

D. LUCES DE ADVERTENCIA EN BARRICADAS

Son luces portátiles con lentes dirigidos de color amarillo, que constituyen una unidad de iluminación. Se pueden usar como luces continuas o intermitentes. Las luces de advertencias en barreras deberán estar en concordancia con los requerimientos señalados en la Tabla 3.3.3_2.

Las luces de advertencia intermitentes de baja intensidad Tipo A se instalan comúnmente sobre dispositivos de canalización como barricadas, cilindros, etc. o en señales preventivas y su propósito es advertir a los conductores el cruce por una zona peligrosa.

Las luces de advertencia intermitentes Tipo B, de alta intensidad, se instalan normalmente en dispositivos de prevención o en soportes independientes. Cuando existen condiciones extremadamente peligrosas dentro del área de trabajo, es necesario poner las luces sobre barricadas o cilindros. Estas luces son necesarias durante el día y la noche por lo que deben utilizarse las 24 horas del día.

Las luces de encendido eléctrico continuo de Tipo C, se usarán para delinear el borde de la calzada en curvas de desvío, cambios de carril, cierre de carriles y en otras condiciones similares.

Tabla 3.3.3_2. LONGITUD TIPOS DE LUCES DE ADVERTENCIA EN BARRICADAS

	TIPO A	TIPO B	TIPO C
	BAJA INTENSIDAD	ALTA INTENSIDAD	LUZ PERMANENTE
Caras de lentes	1 ó 2	1	1 ó 2
Intermitencias por minuto	55 a 75	55 a 75	Constante
Duración de la intermitencia	10%	8%	Constante
Intensidad mínima efectiva	40 candelas	35 candelas	
Potencia mínima del rayo			2 candelas (*)
Horas de operación	Del atardecer al amanecer	24 horas del día	Del atardecer al amanecer

(*) Candela: Unidad de intensidad de iluminación.

El poco peso y la versatilidad de las luces de advertencia son ventajas que hacen que estos dispositivos sean de gran uso como suplemento a la reflectorización de los dispositivos de advertencia de peligros. Las luces intermitentes son efectivas para llamar la atención del conductor y, por lo tanto, otorgar un excelente medio para identificar el peligro. Estas luces no se usarán para delineación, ya que una serie de varias luces tiende a dificultar la visión al paso de los vehículos.

E. SEÑALES DE MENSAJE LUMINOSO

Estos dispositivos están conformados por paneles de unidades luminosas individuales, que en su conjunto producen mensajes. Dichos mensajes pueden ser textos, flechas o símbolos que pueden ser variables en el tiempo. Las luces que en su conjunto forman el mensaje pueden ser fijas o intermitentes. Ver Figuras 3.3.3_8 y 3.3.3_9.

Este tipo de dispositivos se mantendrán en unidades portátiles, permitiéndose su ubicación en sitios estratégicos, para mantener bien informado al usuario.

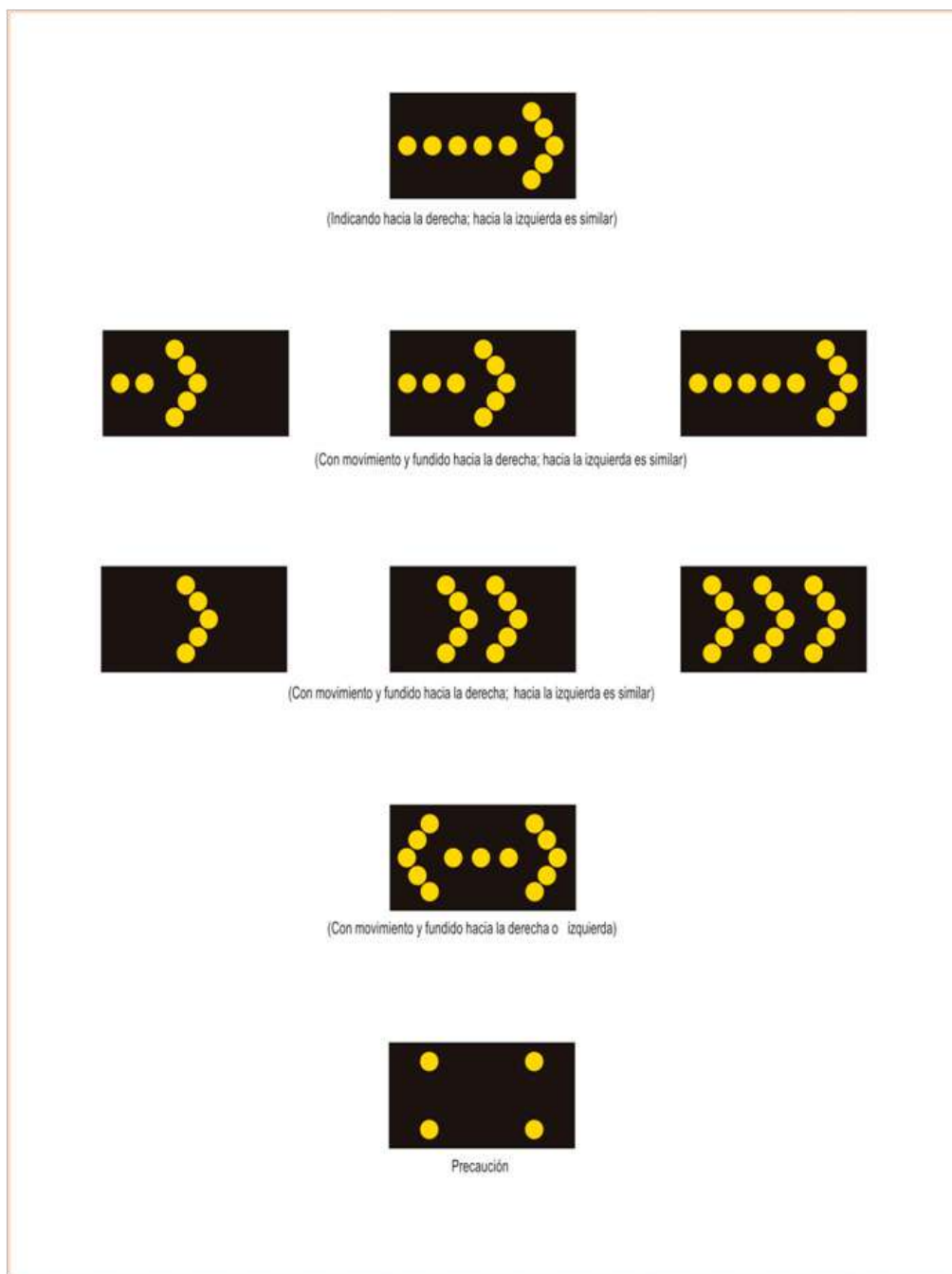


Figura 3.3.3_8. FLECHAS DIRECCIONALES LUMINOSAS

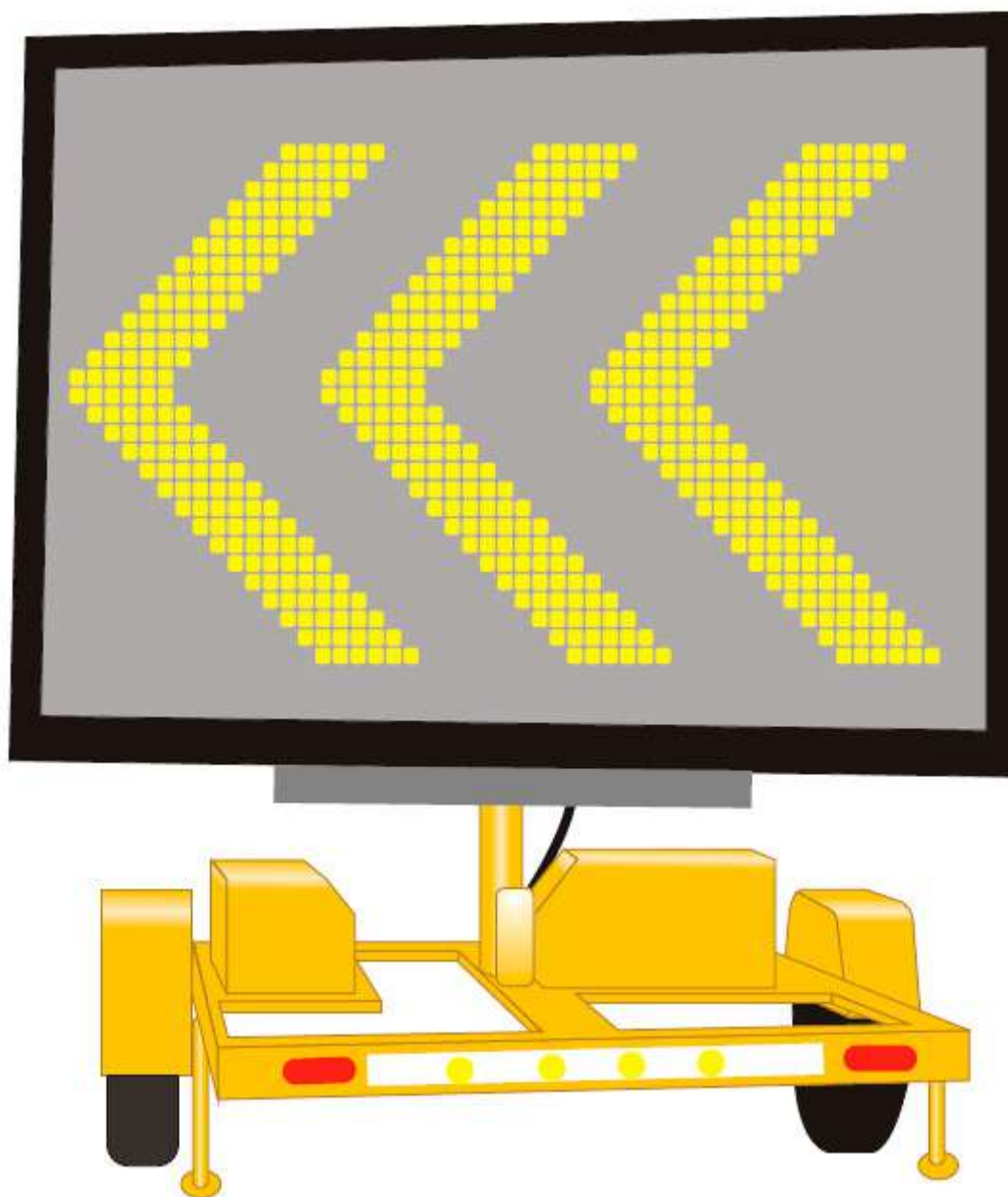


Figura 3.3.3_9. SEÑALES DE MENSAJE LUMINOSO

3.3.3.1.4. DISPOSITIVOS MANUALES

Cuando las circunstancias en una obra generan que se habilite un solo carril para el tránsito en dos sentidos, a través de una distancia limitada, se tomarán las precauciones necesarias para que el paso de los vehículos sea alternado. Dicha situación puede presentarse en un tramo corto, de bajo volumen de vehículos y de buena visibilidad, que permita que la circulación se pueda autorregular.

Sin embargo, en tramos de cierta longitud, deberá regularse la circulación con una coordinación correcta para evitar que se produzcan accidentes y excesivos retrasos.

Los controles de cada extremo del tramo deben determinarse en forma tal que permitan la fácil circulación de filas opuestas de vehículos. La regulación del tránsito alternado se realizará a través de los siguientes medios:

- Semáforos.
- Regulación mediante banderero.

➤ Uso de vehículo piloto.

Los semáforos se usarán en forma preferente para regular la circulación de los vehículos en los tramos con un solo carril en uso. Deberán emplearse en los tramos donde por su extensión, condiciones de la vía u otro motivo, no exista contacto visual de los extremos del sector. Su empleo incluirá las intersecciones de una calle o carretera con vías de trabajo temporal, por donde cruce maquinaria pesada. Estos semáforos deben cumplir con las normas y especificaciones generales contenidas en la sección 3.3.3.3. de esta Guía.

Las operaciones en zonas con un solo carril en uso, requieren de un intervalo “rojo” de duración suficiente para el despeje del tramo, de forma tal que los vehículos puedan salir del área a la velocidad promedio estimada para el sector. No obstante lo anterior, se requiere de la comunicación oportuna de bandereros, que deben actuar en funciones de control, coordinación y operación del semáforo.

Cuando la longitud del sector con un solo carril en uso es inferior a 150 m y permite buena visibilidad entre los extremos de circulación, podrá ser controlada por medio de bandereros situados en los extremos de cada tramo. Uno de los dos debe ser designado como banderero principal, con la misión de coordinar los movimientos y será responsable de la operación general. Deben comunicarse entre ellos, tanto de día como de noche, usando elementos de radio comunicación o telefonía que aseguren una suficiente operación y eviten las interferencias.

Cuando no hay visibilidad entre los extremos opuestos o la distancia supera los 150 m, se usarán semáforos y bandereros. Estos últimos con la función de regular el tránsito vehicular en la zona de trabajos.

Con el fin de que el banderero conozca cuándo permitir el tránsito por el acceso que controla, empleará algunos de los siguientes sistemas:

- Identificar por medio de la placa de la matrícula o describir el último vehículo al banderero del otro extremo.
- Entregar al conductor del último vehículo que entra al tramo una bandera roja u otro dispositivo, con la instrucción de hacer entrega al banderero ubicado en el otro extremo.

Vehículo piloto (carro guía). Es particularmente efectivo cuando la vía es peligrosa o tiene condiciones que impiden colocar o mantener la señalización adecuada. Se usa para guiar el paso de una fila de vehículos a través de la zona de trabajo o por su alrededor. Su operación deberá ser coordinada por un banderero. El vehículo que se emplee como piloto debe ser liviano, fácil de manejar y estar identificado como “vehículo guía o vehículo piloto”.

A. BANDERAS Y PALETAS

Las banderas son franjas de tela de color rojo, de 60 x 60 cm, sujetas a un asta de 100 cm de longitud. Son dispositivos que se usan comúnmente en las horas del día para efectos de regulación del tránsito en vías afectadas por la ejecución de obras.

Las paletas son elementos fabricados en madera, plástico u otros materiales semirrígidos livianos, que tienen la misma forma y características de la señal R-01 Pare y que contiene los mensajes de “PARE” por una cara y de “SIGA” o “LENTO” en la otra cara. El tamaño mínimo de la paleta corresponderá a la inscripción de un octágono dentro de un círculo mínimo de 45 cm de diámetro.

El fondo de la cara de “PARE”, será de color rojo con letras y bordes blancos y el fondo de la cara “SIGA” será de color verde con letras y bordes blancos, todos ellos fabricados en lámina reflectiva Tipo I. El soporte de la paleta tendrá como mínimo 1,20 m de longitud y será de color blanco.

Es necesario escoger personal capacitado para las funciones de banderero, ya que son los responsables de la seguridad de conductores y empleados y tienen el mayor contacto con el público. Por tales razones un banderero deberá cumplir con los siguientes requisitos:

- Buenas condiciones físicas, incluidas visión, audición y estatura.
- Tener buenos modales.
- Buena presentación personal.
- Sentido de responsabilidad, particularmente para la prevención de riesgos de accidentes al público y trabajadores.
- Conocer las normas básicas de tránsito.

La indumentaria del banderero constará de:

- Un casco de color naranja con franjas horizontales de 10 cm de largo por 5 cm de ancho, fabricadas en lámina reflectiva Tipo III, de color blanco en el frente y rojo en la parte posterior.
- Chaleco color naranja con un mínimo de dos franjas (horizontales, verticales u oblicuas), de 5 cm cada una, en cinta reflectiva que cumpla con los coeficientes de retrorreflección especificados en la norma técnica vigente para la lámina reflectiva Tipo I. Las franjas serán en color blanco, rojo o amarillo.
- Cuando las condiciones climáticas lo requieran, el banderero usará un impermeable de color amarillo, con una franja blanca en cinta reflectiva de 15 cm de ancho, colocada horizontalmente en el tercio superior, a la altura del tórax.

El banderero deberá estar visible para los conductores que se acercan, desde una distancia suficiente que permita una respuesta oportuna en el cumplimiento de las instrucciones que se impartan. Esta distancia está relacionada con las velocidades de aproximación. Ver Figura 3.3.3_10.

Cuando se utilicen banderas se seguirán las siguientes instrucciones para dar las señales a los conductores (Ver Figura 3.3.3_10):

- a) Detención del tránsito: El banderero estará de frente al tránsito y extenderá la bandera horizontalmente a través del canal de tránsito en una posición estacionaria, de tal forma que toda la bandera sea visible. Para dar un énfasis mayor la mano libre se puede levantar con la palma de frente al tránsito que se aproxima.
- b) Circulación del tránsito: El banderero estará parado en dirección paralela al movimiento de tránsito, y con la bandera y el brazo debajo de la línea visual del conductor, indicará a los conductores que prosigan, moviendo su mano libre. No se usarán las banderas para indicar al tránsito que prosiga.
- c) Aproximación lenta: El banderero estará parado de frente al tránsito y moverá la bandera despacio, en un movimiento hacia arriba y hacia abajo sin levantar el brazo sobre la posición horizontal.

Siempre que sea posible, el banderero le indicará a los conductores la razón de la demora y el período aproximado de tiempo de detención del tránsito. Es necesario hacer entender a los bandereros y operadores de equipo que debe concederse el derecho de paso al público y evitar demoras excesivas.

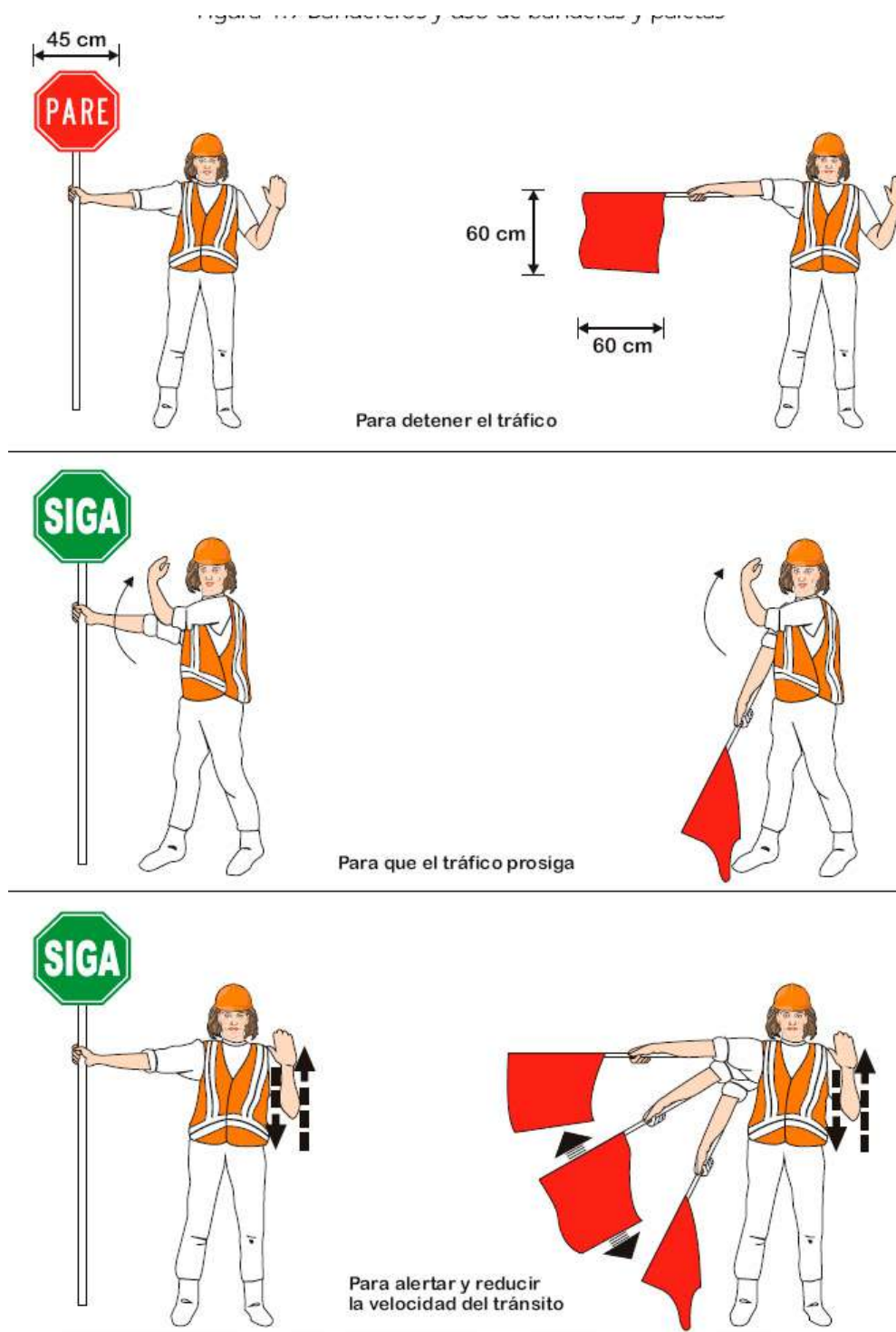


Figura 3.3.3_10. USO DE BANDERAS Y PALETAS

B. LINTERNAS

Durante la noche o cuando las condiciones de visibilidad disminuyan, es necesario que los bandereros dispongan de dispositivos luminosos que hagan visibles sus mensajes a los conductores. Para tal efecto se usarán linternas que emitan un haz luminoso de color rojo, las cuales deberán ser de forma alargada para facilitar las indicaciones manuales de los operadores. El diseño de las linternas deberá ser similar al mostrado en la Figura 3.3.3_11.

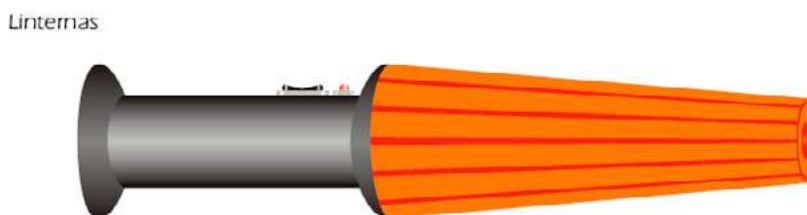


Figura 3.3.3_11. LINTERNAS

3.3.3.1.5. ELEMENTOS PARA AUMENTAR LA VISIBILIDAD DE TRABAJADORES Y VEHÍCULOS QUE REALIZAN OBRAS EN LA VÍA

En toda zona de trabajos es necesario que el accionar de los trabajadores y vehículos de la obra sea percibido por los conductores con anticipación, especialmente en la noche y en períodos de visibilidad reducida. Esto exige la utilización de elementos luminosos o que retroreflejen la luz proyectada por los focos de los vehículos y que garanticen un alto grado de contraste con el entorno.

En este acápite se detallan los estándares mínimos requeridos para los materiales de alta visibilidad que se deben usar en la indumentaria de todo el personal y vehículos presentes en la obra.

A. VESTIMENTA DE TRABAJO DE ALTA VISIBILIDAD

La vestimenta de trabajo de alta visibilidad está destinada a destacar visualmente la presencia de un trabajador, con el fin de que éste, en cualquier circunstancia, sea oportunamente percibido.

Dicha vestimenta está compuesta por una parte fluorescente, o fondo, y otra de material retroreflectivo (Ver Figura 3.3.3_12). La porción fluorescente de la prenda tiene la función de destacarla durante el día, cuando existe baja luminosidad y los vehículos pueden llevar sus focos apagados, como ocurre al amanecer, al atardecer, cuando llueve o nieva. La parte retroreflectiva destaca la prenda cuando los vehículos llevan sus focos encendidos durante la noche y otros períodos de oscuridad.

B. CLASIFICACIÓN

Según el grado de visibilidad que otorga y el área que cubre, la vestimenta de trabajo que debe utilizar el personal que labora o permanece en la obra se clasifica en:

- a. Clase I: Corresponde a las vestimentas que se pueden utilizar en:

- zonas de trabajos donde el entorno no sea complejo; esto es, que la visibilidad de la persona no se encuentre comprometida por otros elementos;
 - donde exista una separación amplia entre el lugar donde se realizan los trabajos y el tránsito vehicular, o haya segregación física continua entre ellos;
 - donde la velocidad máxima permitida en la zona de trabajos no supere los 40 km/h, por ejemplo, trabajos en la acera.
- b. Clase II: Esta clase de vestimenta se debe utilizar en:
- situaciones en las cuales el entorno de la zona de trabajos sea complejo, como ocurre en regiones de clima lluvioso o con frecuente neblina;
 - sectores de trabajos donde la velocidad máxima permitida sea superior a 40 km/h e inferior a 80 km/h;
 - en trabajos que tengan lugar en o muy cerca del tránsito vehicular y no exista segregación física continua entre ellos.
- c. Clase III: Esta vestimenta se debe utilizar en:
- zonas de trabajos con velocidades máximas permitidas superiores a 80 km/h;
 - donde los vehículos que operan en la obra sean de tal dimensión y peso que constituyan un riesgo para el resto de los trabajadores de la obra;
 - labores de control de tránsito en la obra, vale decir por los Bandereros.

Según su clase, la indumentaria de alta visibilidad debe tener incorporadas a la prenda las superficies mínimas de material de fondo y retrorreflectivo que se indican en la Tabla 3.3.3_3. Alternativamente, se puede optar, en vestimentas Clase I, por la superficie exigida de material combinado, entendiendo éste como aquel que es fluorescente y retrorreflectante a la vez.



Figura 3.3.3_12. DEFINICIÓN BÁSICA DE LOS COMPONENTES DE LA VESTIMENTA DE TRABAJO

Tabla 3.3.3_3. SUPERFICIES MÍNIMAS DE CADA MATERIAL VISIBLE (EN m²)

MATERIAL	CLASE III	CLASE II	CLASE I
De fondo	0,80	0,50	0,14
Retroreflec- tivo	0,20	0,13	0,10
Combinado			0,20

Estas superficies mínimas deben estar distribuidas uniformemente en la prenda.

C. CARACTERÍSTICAS

C.1. Color

Se han definido sólo tres colores de fondo para la vestimenta: verde limón, naranja y rojo. Los tres confieren, durante el día, visibilidad en la mayor parte de los ambientes rurales y urbanos. Sin embargo, se debe tener en cuenta el entorno específico en el que se desarrolla la obra para determinar la protección requerida y así seleccionar el color que proporcione el mejor contraste con el medio. Por ejemplo, en lugares con abundante vegetación el color naranja es más apropiado que el verde.

No obstante, los Bandereros deben usar siempre prendas cuyo color de fondo sea naranja. Los colores deben corresponder a los especificados en la sección 3.3.2.3.5.

C.2. Retroreflexión

Niveles más altos de retroreflexión aseguran mayor contraste y mejor visibilidad de la vestimenta de trabajo en la oscuridad, bajo las luces de un vehículo. Por lo tanto, cuando se requiera mayor visibilidad se deben utilizar materiales con mayores coeficientes de retroreflexión.

Por lo anterior, se han definido dos niveles mínimos para el material retroreflectante o combinado que se debe utilizar en la vestimenta de trabajo de alta visibilidad, los que se detallan en las Tablas 3.3.3_4 y 3.3.3_5.

Tabla 3.3.3_4. VALORES MÍNIMOS DEL COEFICIENTE DE RETRORREFLEXIÓN (CD/LUX) PARA NIVEL 1

ÁNGULO DE OBSERVACIÓN	ÁNGULO DE ILUMINACIÓN (O DE ENTRADA)			
	5°	20°	30°	40°
12'	250	220	135	50
20'	120	100	75	30
1°	25	15	12	10
1° 30'	10	7	5	4

Tabla 3.3.3_5. VALORES MÍNIMOS DEL COEFICIENTE DE RETRORREFLEXIÓN (CD/LUX) PARA NIVEL 2

ÁNGULO DE OBSERVACIÓN	ÁNGULO DE ILUMINACIÓN (O DE ENTRADA)			
	5°	20°	30°	40°
12'	330	290	180	65
20'	250	200	170	60
1°	25	15	12	10
1° 30'	10	7	5	4

C.3. Diseño

La vestimenta de trabajo de alta visibilidad incluye, entre otras prendas, arneses, pecheras, petos, chalecos, chaquetas, overoles y pantalones

C.4. Material de fondo

Con excepción de los arneses, pecheras y petos, el material de fondo debe rodear horizontal y totalmente el torso, las mangas y la parte inferior del pantalón.

C.5. Material retrorreflectante

El material retrorreflectante se debe disponer en bandas de ancho no menor a 50 mm, excepto para los arneses, en los que no será menor que 30 mm.

a. Chaquetas, chalecos, pecheras y petos

Estas prendas deben presentar alguna de las siguientes configuraciones de material retrorreflectante:

1. Configuración 1

- dos bandas horizontales de material retrorreflectante alrededor del torso, espaciadas como mínimo 50 mm una de otra;
- dos bandas verticales del mismo material, que unan la parte frontal (pecho) y posterior (espalda) de la banda horizontal superior, pasando por encima de cada hombro y cruzándose en la espalda.

La parte baja de la banda horizontal inferior no debe estar a menos de 50 mm del borde inferior de la prenda.

2. Configuración 2

- una banda horizontal de material retrorreflectante alrededor del torso;
- dos bandas del mismo material, que unan la parte frontal (pecho) y posterior (espalda) de la banda horizontal, pasando por encima de cada hombro y cruzándose en la espalda.

La parte baja de la banda horizontal no debe estar a menos de 50 mm del borde inferior de la prenda.

3. Configuración 3

- dos bandas horizontales de material retrorreflectante alrededor del torso, espaciadas como mínimo 50 mm.

La parte baja de la banda horizontal inferior no debe estar a menos de 50 mm del borde inferior de la prenda.

Las pecheras y petos deben ser confeccionados de forma tal que una persona de la talla para la que están diseñados, pueda usarlos con aberturas laterales no mayores a 50 mm medidas horizontalmente.

b. Overol y chaquetas de manga larga

Estas prendas deben considerar:

- dos bandas de material retrorreflectante en las mangas, situadas a la misma altura y alineadas con las del torso;

- que la banda superior debe rodear la parte superior de las mangas, entre el codo y el hombro;
- que la parte baja de la banda inferior no deberá estar a menos de 50 mm del borde inferior de la manga.

c. Overol y pantalones con o sin pechera

Esta vestimenta debe considerar:

- dos bandas de material retrorreflectante espaciadas 50 mm como mínimo, rodeando horizontalmente cada pierna;
- que la parte alta de la banda superior debe estar a menos de 350 mm del borde inferior del pantalón;
- que la parte baja de la banda inferior debe estar a más de 50 mm del borde inferior del pantalón;
- que cuando se trate de pantalón con pechera, ésta debe tener una banda de material retrorreflectante alrededor del torso.

d. Arnese

Estas prendas deben considerar:

- una banda retrorreflectante o de material combinado rodeando la cintura;
- dos bandas retrorreflectante o de material combinado uniendo la banda de la cintura desde atrás (la espalda) al frente pasando sobre los hombros;
- que el ancho de las bandas debe ser superior a 30 mm.

e. Sistema de cierre

Este no debe tener aberturas horizontales mayores a 50 mm.

D. UNIFORME DEL BANDERERO

Los trabajadores que desempeñen labores de Banderero deben usar vestimenta Clase III, con materiales retrorreflectantes al menos iguales al Nivel 2, más las siguientes prendas:

- Casco de color naranja, con una franja horizontal retrorreflectante roja en la parte trasera y blanca en la parte delantera. Estas franjas serán de 10 cm de largo por 5 cm de ancho.
- Capa impermeable de color naranja, la que se utiliza en caso de lluvia o cuando las condiciones climáticas lo requieran. Ésta debe llevar una franja retrorreflectante blanca, de 15 cm de ancho, colocada horizontalmente en el tercio superior a la altura del tórax.

En las Figuras 3.3.3_13 y 3.3.3_14 se presentan ejemplos típicos de vestimentas de trabajo de alta visibilidad.

E. ELEMENTOS RETRORREFLECTANTES PARA VEHÍCULOS

En este punto se abordan los elementos retrorreflectantes con que deben contar todos los vehículos, livianos y pesados, que participen en los trabajos. Con esto se busca asegurar que en toda condición, incluso cuando dichos vehículos no hacen uso de sus luces, sean percibidos oportunamente por los usuarios de la vía y por otros vehículos que participan en la obra.

E.1. Forma y color

Los elementos retrorreflectantes utilizados en los vehículos de obras son cintas de color rojo y blanco alternadas, de las dimensiones indicadas en la Tabla 3.3.3_6 a continuación.

Tabla 3.3.3_6. DIMENSIONES DE CINTAS REFLECTIVAS EN LOS VEHÍCULOS

CINTA	LARGO RETRORREFLECTANTE	ANCHO MÍNIMO RETRORREFLECTANTE
Color Blanco	280 mm ± 20 mm	50 mm
Color Rojo	180 mm ± 20 mm	

E.2. Ubicación

Las cintas se ubican en la parte posterior y en los costados de los vehículos, de acuerdo a los siguientes criterios:

1. Parte Posterior

La cinta retrorreflectiva de colores rojo y blanco alternados se debe ubicar en forma horizontal a todo lo ancho del vehículo, a una altura sobre el suelo de 1,25 m, como se muestra a modo de ejemplo en la Figura 3.3.3_15. Cuando por las características del vehículo ello no sea posible, se debe ubicar a una altura lo más cercana posible a la indicada.

En los vértices superiores traseros de la carrocería, se deben ubicar dos pares de cintas retrorreflectivas de color blanco, de 300 mm. de largo y 50 mm. de ancho mínimo cada una, formando un ángulo recto cuando sea posible para indicar la forma del vehículo, como lo muestra la Figura 3.3.3_15.

2. Costados

A cada costado del vehículo se deben ubicar cintas retrorreflectantes de color rojo y blanco alternado, cubriendo al menos la mitad de cada costado. Estas cintas deben originarse en los extremos delanteros y posteriores del vehículo, y se deben distribuir lo más equitativamente posible, como lo muestra la Figura 3.3.3_15. Su altura sobre el suelo debe ser lo más cercana posible a 1,25 m.

E.3. Retrorreflexión

Las referidas cintas retro reflectantes deben cumplir con lo detallado en la Tabla 3.3.3_7 a continuación.

Tabla 3.3.3_7. NIVELES MÍNIMOS DE RETRORREFLEXIÓN

ÁNGULO DE ENTRADA	ÁNGULO DE OBSERVACIÓN			
	0,2°		0,5°	
	BLANCO	ROJO	BLANCO	ROJO
-4°	250	60	65	15
30°	250	60	65	15
45°	60	15	15	4

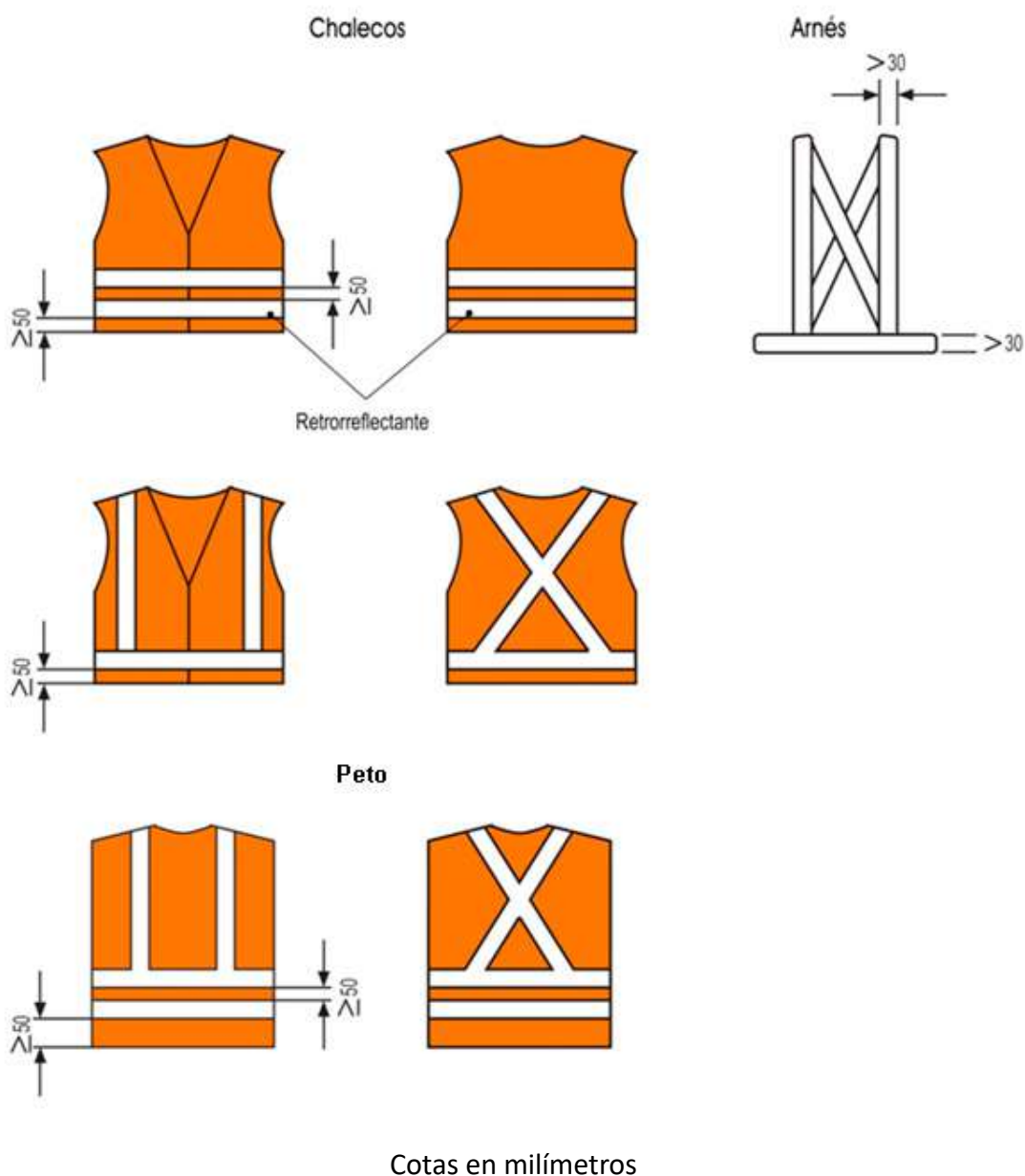
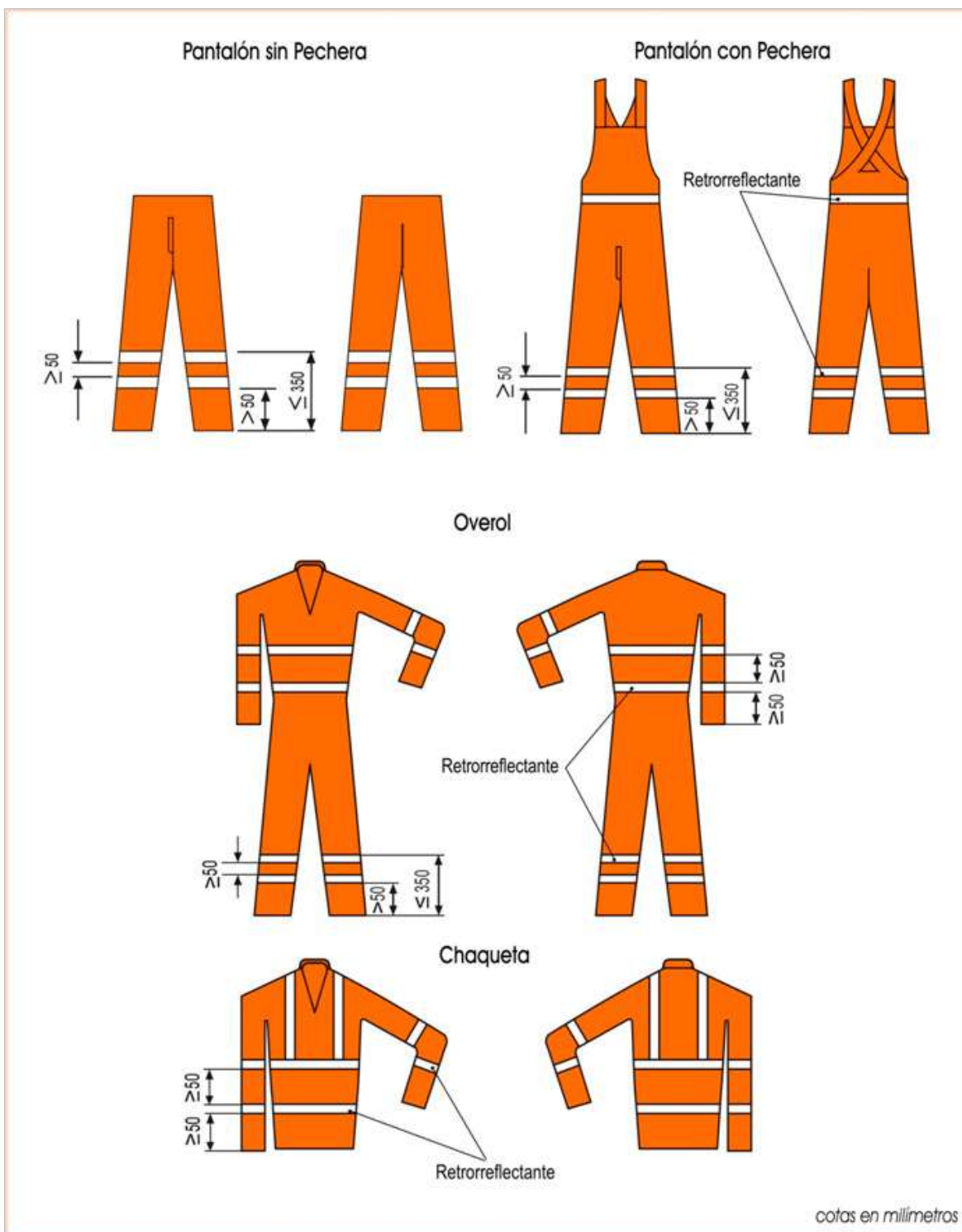


Figura 3.3.3_13. EJEMPLOS DE VESTIMENTAS



Cotas en milímetros

Figura 3.3.3_14. EJEMPLOS DE VESTIMENTAS

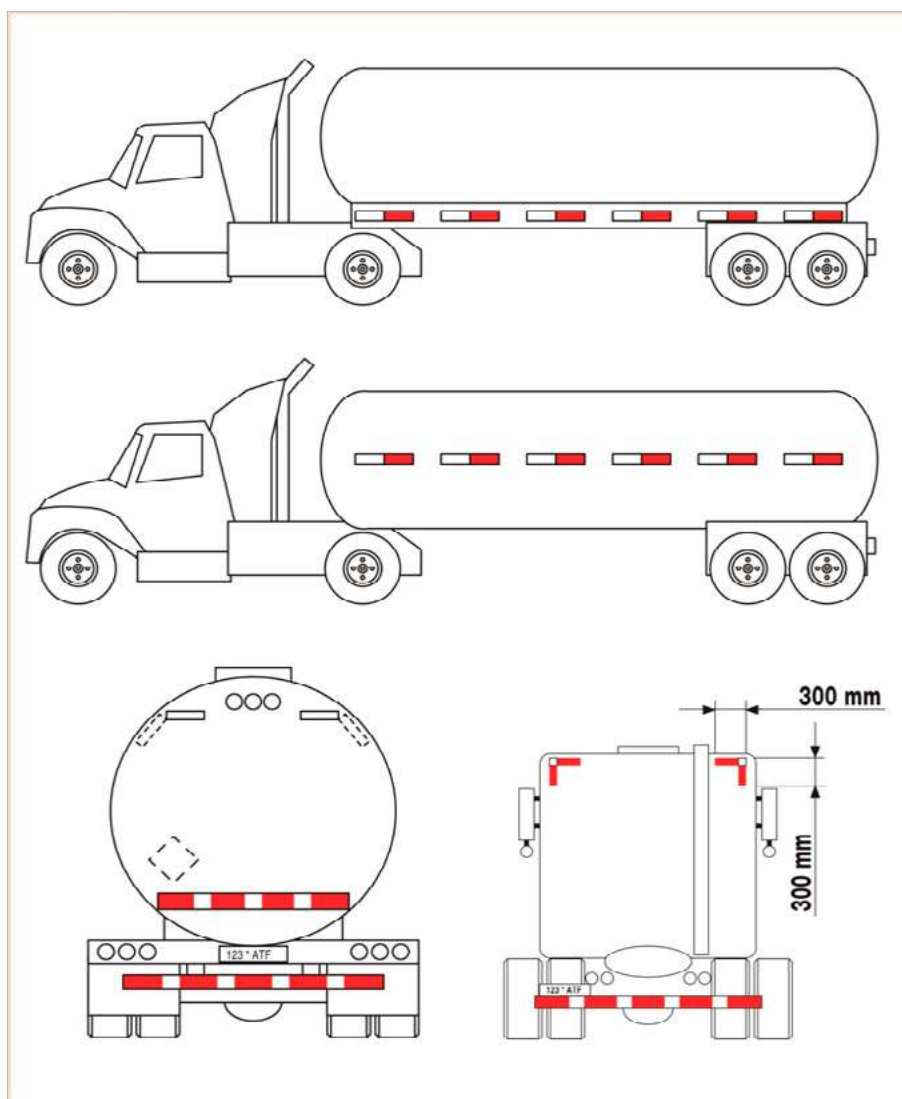


Figura 3.3.3_15. UBICACIÓN DE CINTAS RETRORREFLECTANTES

3.3.3.1.6. REGULACIÓN DEL TRÁNSITO EN VÍAS MULTICARRIL

Debido a que las carreteras multicarril son vías de alta velocidad y elevados volúmenes de tránsito, es necesario darles consideración especial para regular el tránsito en forma segura y eficiente y para brindar una protección adecuada en las zonas donde se realicen trabajos. Los procedimientos para la regulación del tránsito se harán con suficiente antelación al punto crítico, para que las confluencias se efectúen con la menor fricción posible. Las mismas consideraciones básicas se aplican en este caso.

Las señales colocadas en vías multicarril, deberán colocarse en los sitios donde sean observadas por todos los conductores que se aproximan a la zona de trabajo, especialmente en los accesos a la vía anteriores a la obra. Generalmente será necesario colocar una serie completa de señales de prevención en ambos lados de la calzada, para el cierre de carriles u otras restricciones de flujo de tránsito que se puedan encontrar.

El tránsito en autopista a través de las áreas de trabajo y alrededor de ellas, requiere el uso de barreras bien colocadas y dispositivos de canalización para establecer transiciones en el cierre de carriles y otras situaciones donde el tránsito tenga que desviarse, las cuales deberán ser suficientemente largas para darle oportunidad al conductor de adaptar su velocidad o cambiar de carril con comodidad.

Estos dispositivos deberán ser visibles tanto de día como de noche, y será necesario utilizar iluminación, además del uso de dispositivos reflectivos.

Los dispositivos de iluminación son esenciales en las carreteras multicarril para procurar la seguridad en el flujo del tránsito. Deberá considerarse el uso de luces intermitentes y la iluminación de toda el área de trabajo durante las horas de la noche.

3.3.3.1.7. PLANES DE MANEJO DE TRÁNSITO

A. OBJETIVO GENERAL

Mitigar el impacto generado por las obras que se desarrollan en las vías públicas o en las zonas aledañas a éstas, con el propósito de brindar un ambiente seguro, limpio, ágil y cómodo a los conductores, pasajeros, peatones, personal de la obra y vecinos del lugar, bajo el cumplimiento de las normas establecidas para la regulación del tránsito.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Procurar la seguridad e integridad de los usuarios, peatones y trabajadores.
- Evitar en lo posible la restricción u obstrucción de los flujos vehiculares y peatonales.
- Ofrecer a los usuarios una señalización clara y de fácil interpretación, que les facilite la toma de decisiones en forma oportuna, ágil y segura.
- Implementar rutas alternativas con elementos de control y operación del tránsito, para permitir al transporte público y particular la optimización de distancias y tiempos de recorrido de acuerdo con los desvíos requeridos para la ejecución de las obras.
- Prestar atención continua a la seguridad en las vías dentro del área de influencia de la obra en ejecución.

C. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

Las estrategias para el manejo temporal del tránsito en zonas donde se desarrollan obras civiles deben apoyarse en los siguientes principios fundamentales:

- La seguridad de los usuarios en áreas de control temporal del tránsito debe ser un objetivo integral y de alta prioridad de todo proyecto.
- La circulación vial deberá ser restringida u obstruida lo menos posible.
- Los conductores y los peatones deben ser guiados de manera clara mediante dispositivos mientras se aproximan y atraviesan la zona de las obras.
- Con el propósito de asegurar niveles de operación aceptables, se deben realizar inspecciones rutinarias de los elementos de regulación del tránsito.
- Debido al incremento potencial de riesgos durante la regulación temporal del tránsito, la seguridad en la zona debe tener constante atención.
- Para la toma de decisiones de trabajo, cada persona cuyas acciones afectan el control temporal del tránsito, debe recibir entrenamiento adecuado, desde el nivel superior del personal administrativo hasta el personal de campo.

- La regulación del tránsito a través de las áreas de trabajo es una parte esencial en la ejecución de obras.

Es importante considerar la difusión de los trabajos por desarrollar, con el propósito de que se tenga un conocimiento por parte de los usuarios de las vías y los habitantes de la zona.

D. METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL PLAN DE MANEJO DEL TRÁNSITO EN ZONA DE INFLUENCIA DE OBRAS

El desarrollo del plan de manejo del tránsito en la zona de influencia de las obras, comprende las etapas siguientes:

1. Conocimiento de las características de las obras.
2. Identificación de las características generales de la zona de influencia de la obra.
3. Toma de información básica requerida para elaborar el plan de manejo del tránsito.
4. Diseño del plan de manejo del tránsito.
5. Puesta en marcha del plan de manejo del tránsito.
6. Supervisión del plan de manejo del tránsito.

La Figura 3.3.3_16 ilustra un diagrama de flujo sobre las etapas que comprende la metodología para la elaboración del plan de manejo del tránsito en las obras civiles sobre las infraestructuras viales urbanas.

D.1. Conocimiento de las características de las obras

El impacto al tránsito vehicular y peatonal en la zona de influencia está directamente relacionado con las características de la obra. El ingeniero de tránsito debe conocer los aspectos más relevantes de la obra para elaborar el plan de manejo del tránsito, pues el desconocimiento del proyecto puede dejar de lado aspectos que afectan significativamente el comportamiento del flujo vehicular y peatonal en la zona de influencia.

Para elaborar el plan de manejo del tránsito en la zona de influencia, se considera de fundamental importancia conocer los siguientes aspectos de las obras:

- El tipo de obra.
- Los equipos y maquinarias que serán utilizados.
- Procesos de instalación, manejo y retiro de los equipos y maquinarias.
- Duración y etapas de ejecución de las obras.
- Forma operativa recomendable (por ejemplo, durante las noches, fines de semana, etc.).
- Aspectos adicionales del lugar de las obras, tales como: estado del pavimento, estado del drenaje superficial, ubicación y condiciones de puentes vehiculares y peatonales en la zona de influencia.
- Manejo de escombros.

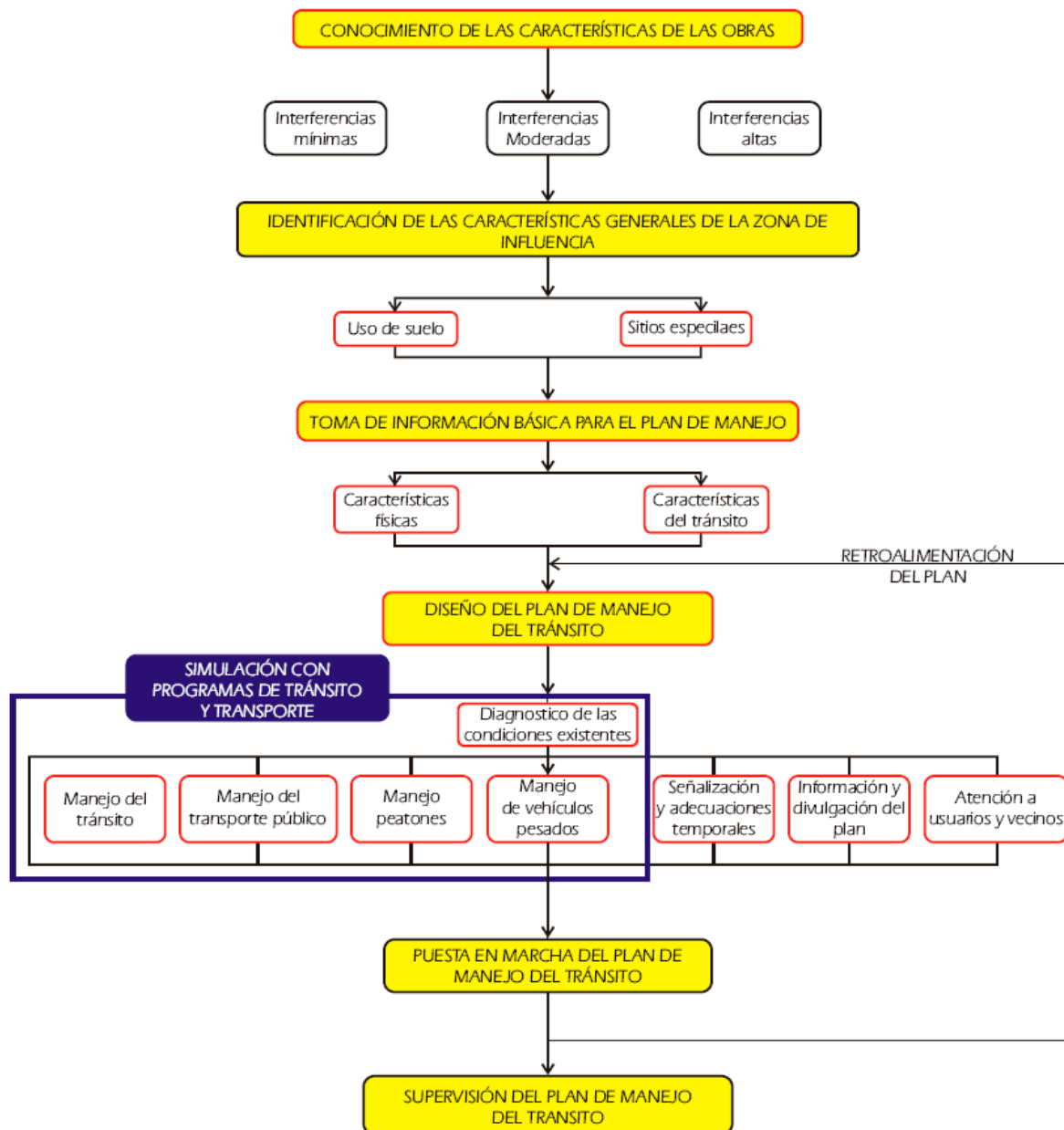


Figura 3.3.3_16. ETAPAS PARA EL DESARROLLO DEL PLAN DE MANEJO DEL TRÁNSITO

D.2. Identificación de las características generales en la zona de influencia de la obra

El área de influencia de una obra dependerá de la magnitud de la misma, del tipo de vía y del grado de interferencia que se cause sobre ésta. Se debe entender que el área de influencia de las obras para el plan de manejo del tránsito se identificará con la ubicación del primer elemento que permite informar y orientar a los usuarios de las vías intervenidas.

Identificado el tipo de obra y clasificada según las interferencias (mínimas, moderadas y altas) se puede definir el área de influencia que debe comprender el plan de manejo del tránsito, así:

- a) Obras de interferencia mínima: Comprende la zona adjunta a la obra, es decir, los espacios de circulación afectados. Dado que normalmente se intervienen espacios de circulación peatonal o de bajos volúmenes vehiculares, el plan de manejo deberá cubrir una distancia de aproximación en zona urbana hasta de 100 metros alrededor de la obra (o una cuadra alrededor de la obra) y de 500 m en carreteras.

- b) Obras de interferencia moderada: Este tipo de obras comprende la zona adjunta y una zona de influencia indirecta, dado que tendrá tránsito vehicular y peatonal junto a las obras y por las restricciones de espacio utilizará vías alternas para los desvíos. La zona de influencia para la elaboración de los planes de manejo del tránsito comprende el área de las obras y el área que cubren las vías alternas que serán utilizadas para los desvíos del tránsito. Considerando la estructura de la malla vial de una ciudad se recomienda que para este tipo de obras el plan de manejo de tránsito debe cubrir un área alrededor de las obras de por lo menos un kilómetro en carreteras y de 500 metros en áreas urbanas (cinco cuadras alrededor o hasta donde se encuentren las vías colectoras o principales de los desvíos alternos).
- c) Obras de interferencia alta o de gran impacto: Dado que este tipo de obras normalmente implica cierres para el tránsito vehicular y/o peatonal, se considera que el área de influencia del plan de manejo del tránsito comprende distancias superiores a las indicadas en los puntos anteriores.

Una vez definida la zona de influencia de la obra para el plan de manejo del tránsito se deben identificar características referentes al uso del suelo y la ubicación de sitios especiales.

D.3. Toma de información básica requerida para elaborar el plan de manejo de tránsito

Para elaborar el plan de manejo del tránsito se tendrán en cuenta las condiciones del tránsito vehicular y peatonal que prevalecen en la zona de influencia de las obras, especialmente en lo relacionado con las características físicas y de movilización.

La cantidad y detalle de los datos físicos y de tránsito que se tomen depende, en parte, de la información disponible y de la magnitud de las interferencias previstas (mínimas, moderadas y altas). Para casos de obras con interferencias altas donde se requiera análisis detallados de los impactos y estimación de indicadores de operación, la toma de datos estará directamente relacionada con las herramientas y modelos de apoyo que se utilicen para evaluar el plan de manejo del tránsito.

Como ejercicio mínimo el profesional que elabora los planes de manejo de tránsito deberá revisar la información existente en estudios y proyectos y en especial para la zona de influencia de las obras.

D.4. Diseño del plan de manejo del tránsito

Para el diseño del plan del manejo del tránsito en la zona de influencia de las obras se deberá tomar en cuenta que se presentarán situaciones como las siguientes:

- Mayor congestión en la zona de influencia de la obra, generada por nuevos y mayores conflictos en el tránsito vehicular.
- Mayores riesgos de accidentes, tanto para los vecinos como para los usuarios de las vías en la zona de influencia.
- Incomodidades, especialmente para los vecinos del lugar de las obras, situación que se deriva en reclamos por parte de la comunidad.
- Reclamos de los comerciantes por problemas de cargue y descargue de mercancías y por el acceso a estacionamiento de vehículos.

- Reclamos de empresas y usuarios de transporte público por modificaciones en los recorridos de las rutas.

El diseño del plan de manejo del tránsito para las obras comprende como mínimo el desarrollo de los siguientes componentes:

- a) Diagnóstico de las condiciones existentes: En la red vial del área de influencia de las obras se caracterizan las condiciones prevalecientes relacionadas con el inventario físico, el tránsito vehicular, el transporte público, los movimientos peatones y los dispositivos de regulación del tránsito. Con estos elementos se procede a realizar el diagnóstico integral de las condiciones existentes en aspectos como:
 - Estado general del pavimento y drenajes en las vías.
 - Estado de la señalización vertical y horizontal de las vías.
 - Funcionamiento de los dispositivos de regulación del tránsito.
 - Indicadores básicos de operación del tránsito en las vías e intersecciones (relación volumen/capacidad, velocidad media, demoras, riesgos de accidentes, etc.).
 - Restricciones por usos de suelo y sitios especiales.
 - Restricciones especiales al tránsito (programa pico y placa, ciclovías, etc.).
- b) Manejo del tránsito vehicular: Se deberán tomar en cuenta todos los aspectos que involucra la administración y gestión de la circulación vehicular. Se analizarán las características del proyecto y las condiciones de circulación que prevalezcan, de esta manera se podrán prever los conflictos que deberán afrontarse y definir los controles a las interferencias, que son inevitables en el desarrollo de las obras

Las alternativas de manejo del tránsito en la zona de influencia de las obras buscan controlar los impactos negativos para la circulación vehicular que puedan derivarse, especialmente por la reducción en la capacidad, disminución de la velocidad e incomodidades a vecinos y usuarios de las vías.

- c) Manejo del transporte público en zonas urbanas: Por la importancia que tiene el transporte público en la movilización de las personas en la ciudad, en los planes de manejo del tráfico se debe buscar la reducción en el impacto generado a este tipo de servicio. Entre las alternativas relacionadas con el transporte público y que es necesario considerar en el plan de manejo del tránsito están:
 - Uso de carriles o calzadas reversibles y contra flujos para no desviar las rutas.
 - Desvíos menores de las rutas. Se controla con la distancia máxima admitida por los usuarios.
 - Reubicación de paraderos de transporte público. La canalización de peatones y la ubicación de paraderos temporales son convenientes para garantizar la seguridad de las personas.
 - Solicitud a las empresas para reprogramación de los despachos.

La información a las empresas de transporte sobre el plan de manejo del tránsito debe coordinarse con la entidad responsable de la administración del transporte. La informa-

ción a los usuarios por los medios y apoyada con los conductores de los vehículos de transporte público, disminuyen las reclamaciones de los usuarios.

- d) Manejo de peatones: Los peatones son los más vulnerables en la vía, especialmente en la zona adjunta a las obras y en condiciones de tránsito alteradas, por lo tanto, se requiere que en los planes de manejo del tránsito se diseñen los elementos y dispositivos necesarios para proporcionarles la seguridad y accesibilidad necesarias. Así mismo, se debe tomar en cuenta que los peatones son los más difíciles de controlar en la vía. El manejo de peatones en la zona de influencia comprende aspectos como:

- Señalización horizontal y vertical de pasos peatonales claramente establecidos.
- Ajustes en los semáforos peatonales o habilitación de fases especiales para los peatones.
- Implementación de cruces y senderos peatonales temporales debidamente señalizados.

En casos de opciones de manejo del tránsito que involucran carriles o calzadas reversibles, o contra flujos, el plan de manejo de peatones incluye canalizaciones, señalización e información abundante a los usuarios, dado que la experiencia muestra altos índices de accidentalidad para estas situaciones.

- e) Manejo de vehículos pesados: El suministro de los materiales para la obra y el transporte de escombros se deberá programar durante horas no pico del día y preferiblemente en horas nocturnas, con el fin de mitigar el impacto generado por la obra. Las restricciones de circulación a vehículos pesados en la zona y el tránsito de estos por los sitios de mayor conflicto, son de relevante importancia.

Igualmente deberá especificarse las condiciones para la movilización de la maquinaria de construcción, acorde con las normas del Código Nacional de Tránsito.

- f) Señalización y adecuaciones temporales: Es necesario relacionar los aspectos más relevantes de ubicación, diseño, especificaciones y recomendaciones para la señalización en las obras. El uso de señales improvisadas o fuera de las especificaciones no permite controles a las autoridades y puede inducir a conductas equivocadas por parte de los usuarios de las vías. Los componentes más importantes de la señalización son:

- Señalización de los desvíos.
- Señalización en la obra (zona de transición, zona de obras y de final de obras).
- Señalización de seguridad considerando las condiciones de la obra, situaciones durante la noche y en condiciones atmosféricas adversas.

El plan de manejo del tránsito puede apoyarse en adecuaciones geométricas menores, tales como intercambiadores de calzada, canalizaciones, pasos peatonales y paraderos. Las adecuaciones menores deben cumplir las especificaciones de diseño de los manuales para evitar situaciones de riesgo y maniobras conflictivas y ante todo tener la señalización suficiente para su uso adecuado.

- g) Información y divulgación del plan: La información y divulgación del plan de manejo del tránsito es muy importante, ya que permite que los usuarios tomen las precauciones respectivas y den el apoyo esperado. Esta deberá referirse a las condiciones del tránsito, a la obra y a la necesidad de apoyo y colaboración de la población. La información comprende tres etapas importantes:

- Durante el período de ambientación de las obras: Se refieren a mensajes informativos y de sensibilización hacia la obra y colaboración de la ciudadanía.
- Antes de las obras: Duración y tipo de obra, desvíos y precauciones a tomar.
- Durante las obras: Desvíos y precauciones.

La divulgación del plan de desvíos y apoyo necesario de la población puede realizarse a través de:

- Vallas informativas.
- Pasavías.
- Avisos de prensa.
- Medios de comunicación (radio y televisión).
- Volantes de información de la obra al inicio y finalización de la misma.
- Volantes de desvíos y cortes de servicios.

Para las campañas de divulgación de las obras, podrán utilizarse los medios de comunicación masiva con la debida preparación de los mensajes. Los folletos deben estar dirigidos a conductores de vehículos particulares y de servicio público y a los habitantes de la zona.

- h) Atención a usuarios y habitantes de la zona: El plan de manejo del tránsito debe prever las incomodidades que la obra genera a los habitantes de la zona. La entidad responsable de la obra deberá poner a disposición de la ciudadanía los medios necesarios para recibir las quejas, reclamos y sugerencias como estrategia de veeduría. El plan de manejo del tránsito deberá considerar que suele ser necesario inducir a la población al comportamiento de la situación con la obra.

D.5. Puesta en marcha del plan de manejo del tránsito

El plan de manejo del tránsito necesita la definición de una estrategia para su puesta en marcha. Son varios los aspectos que se deberán considerar para poner en funcionamiento el plan de manejo del tránsito en las obras, destacándose los siguientes:

- a) Disponibilidad e instalación de los elementos para el plan: Actividad fundamental para evitar improvisaciones en campo. Se deberá dar especial atención a la transición necesaria para iniciar los desvíos del tránsito, dado que se pueden presentar situaciones de riesgo de accidentes, tanto para el tránsito vehicular o peatonal, como para personal de la obra. También se podrán generar altos grados de congestión si se improvisa en esta etapa de puesta en marcha del plan.
- b) Coordinación de participantes en el plan: Conviene tener definida la forma de comunicación y el programa detallado de responsabilidades y compromisos de los responsables del plan.
- c) Previsión para ajustes en campo del plan de manejo: Si bien el plan de manejo del tránsito debe implementarse con anticipación al inicio de las obras, este plan debe ser flexible y su evolución deberá estar prevista a través de los distintos estados progresivos de la obra, especialmente cuando ésta ha sido programada para realizarse por etapas. En caso de ajustes significativos se requiere la presencia del ingeniero de tránsito que diseñó el plan inicial.

- d) Seguimiento: Es fundamental hacerle un seguimiento al plan de manejo del tránsito durante las diferentes etapas de avance de la ejecución de la obra, con el fin de monitorear el tránsito vehicular y de acuerdo con ello tomar las medidas correctivas que fuesen necesarias para garantizar un eficaz funcionamiento de éste. Dichos correctivos que deberán ajustarse a los requerimientos y estado de avance de la obra y estarán relacionados con la implementación de señales o desvíos y la eliminación inmediata de aquellas señales o desvíos que ya cumplieron su función y que podrían causar confusión a los usuarios.

D.6. Supervisión del plan de manejo de tránsito

Las autoridades de tránsito son las responsables de la revisión y aprobación de los planes de manejo del tránsito para obras que afecten la infraestructura vial.

Para la aprobación del plan de manejo del tránsito se analizará si han intervenido todos los organismos involucrados en el proyecto. Se debe entender la importancia de la interacción de quien elabora el plan con los diferentes organismos que intervengan o se vean afectados con el proyecto.

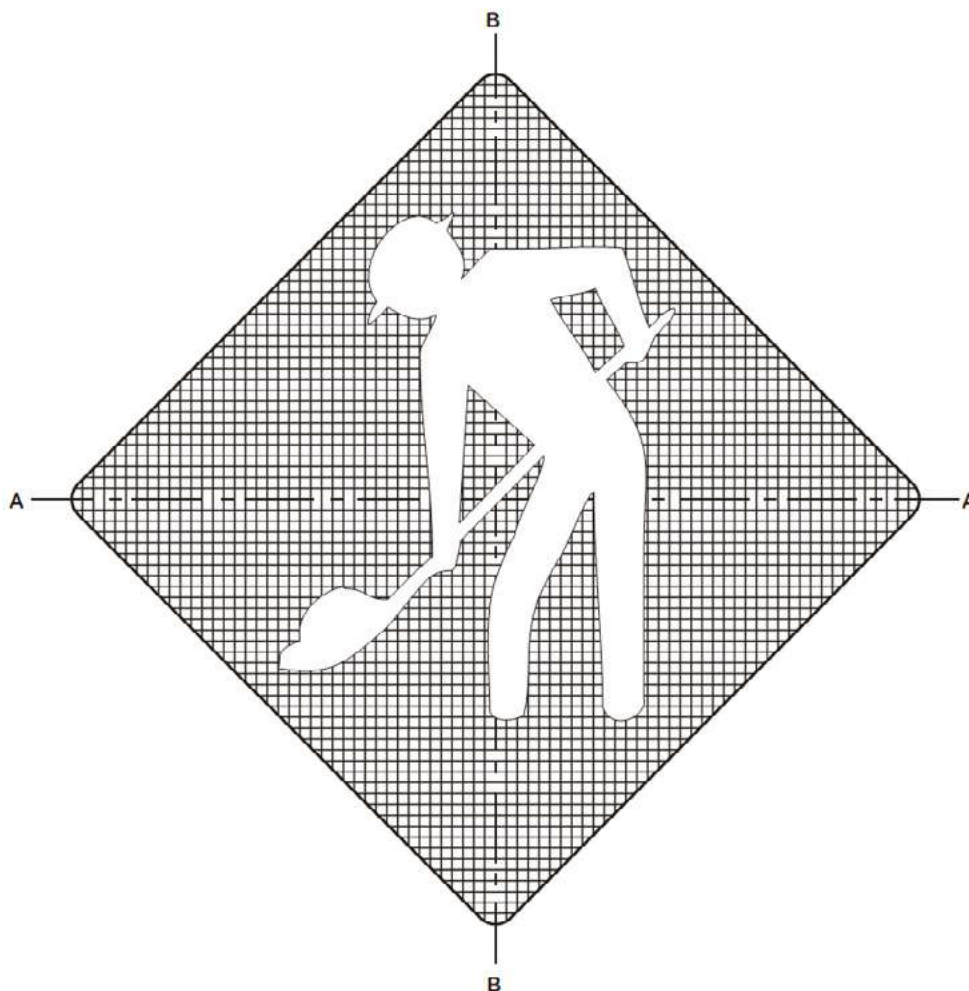
La entidad contratante dueña de la obra es la responsable por los daños físicos y estructurales que se causen a las vías alternas utilizadas como desvíos provisionales durante la ejecución de las obras.

SECCION 3.3.3.2.

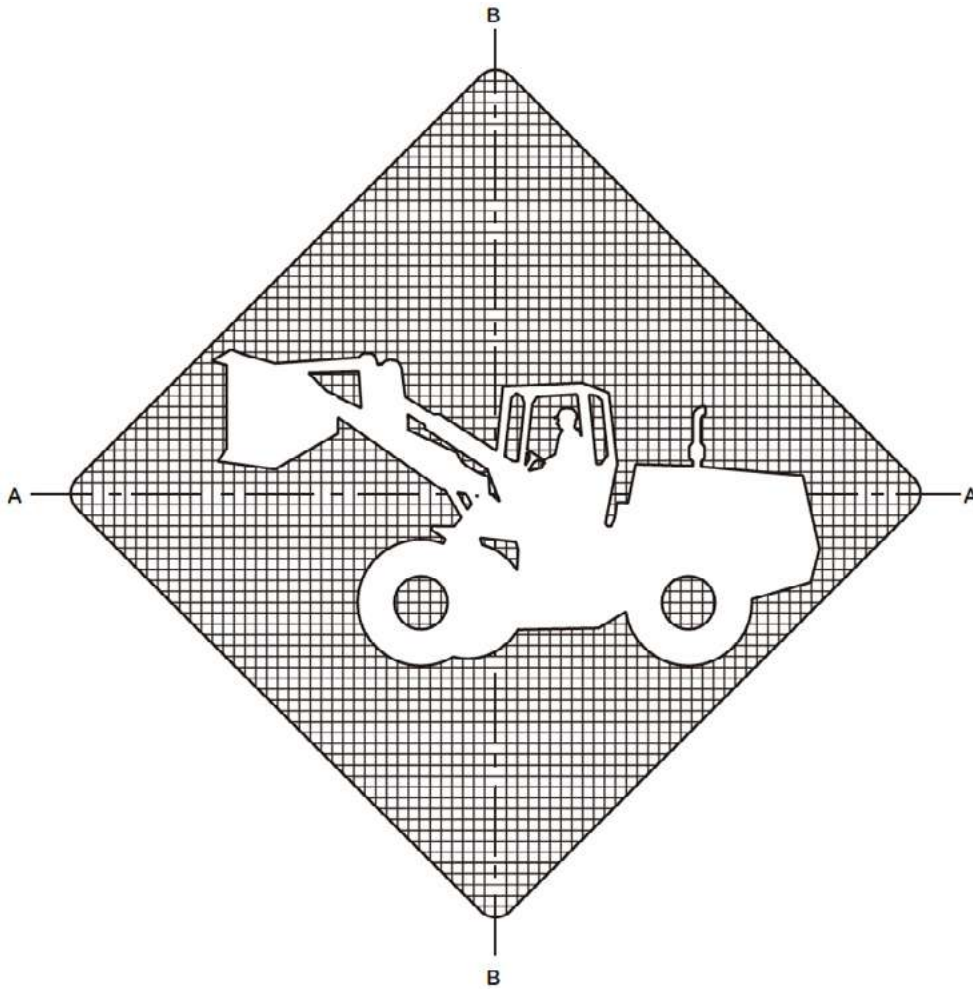
DISEÑO DE LA SEÑALIZACIÓN
TRANSITORIA

3.3.3.2.1. DISEÑO DE SEÑALES VERTICALES TRANSITORIAS PREVENTIVAS

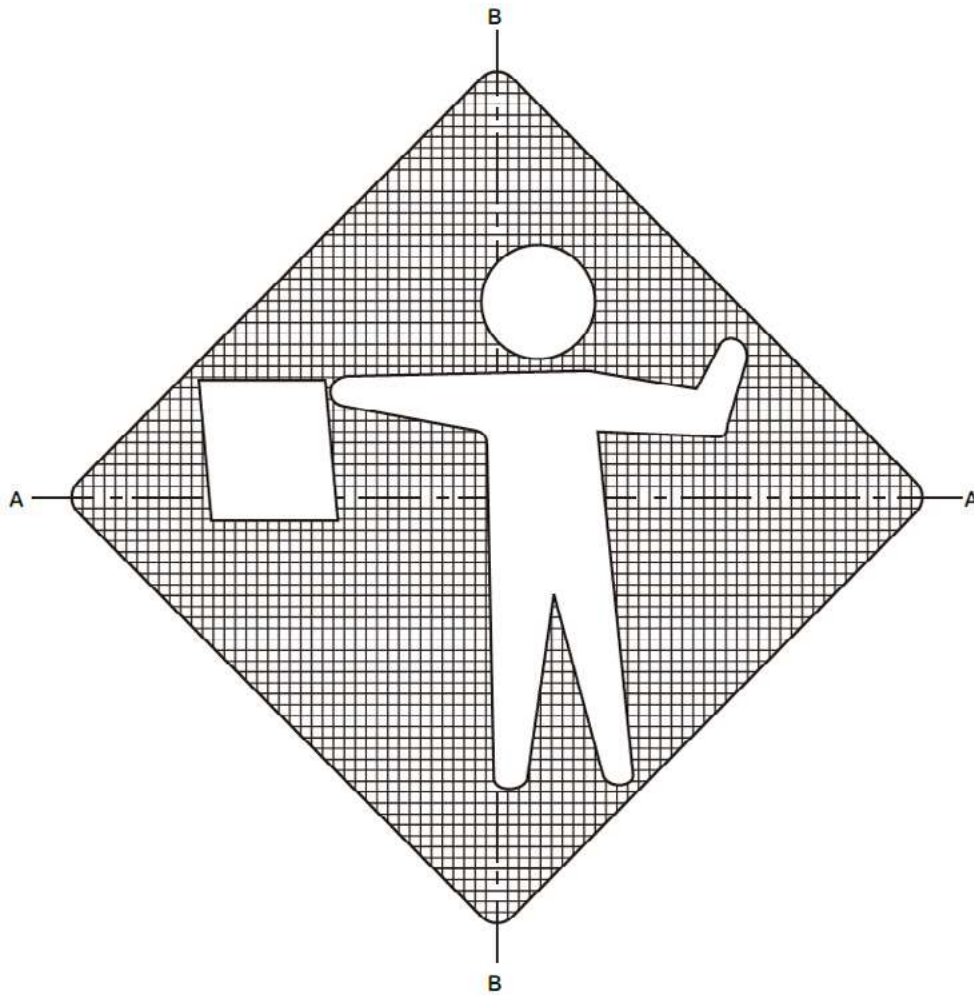
A. PT-01: TRABAJOS EN LA VÍA



B. PT-02: MAQUINARIA EN LA CALZADA

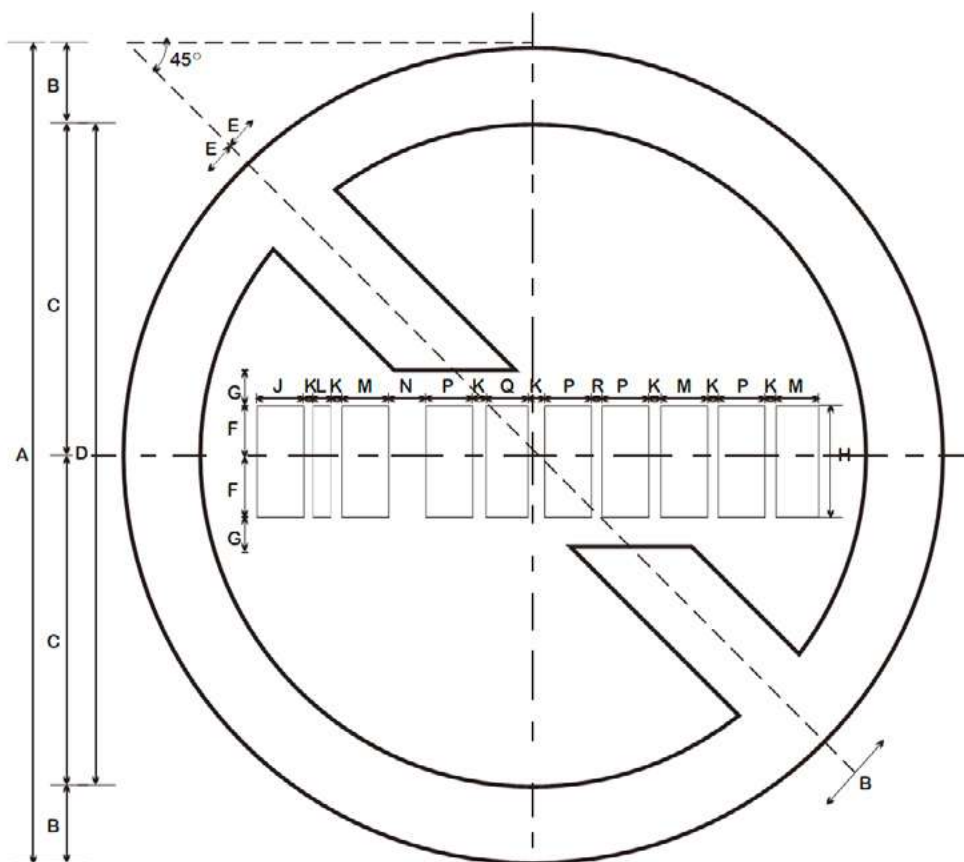


C. PT-03: BANDERERO



3.3.3.2.2. DISEÑO DE SEÑALES VERTICALES TRANITORIAS REGLAMENTARIAS

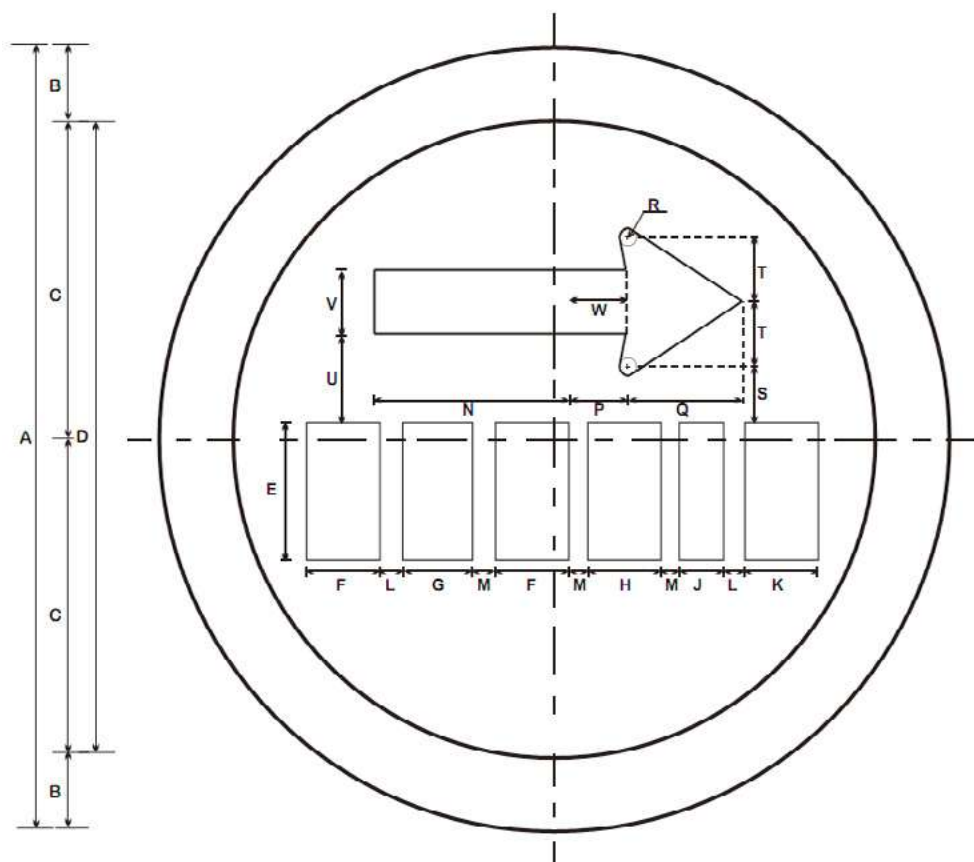
A. RT-01: VÍA CERRADA



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
60,00	60,00	5,00	25,00	50,00	2,50	3,13	1,13	6,25	2,92	0,96
75,00	75,00	6,25	31,25	62,50	3,15	3,90	1,40	7,80	3,65	1,20
90,00	90,00	7,50	37,50	75,00	3,75	4,70	1,70	9,40	4,40	1,45
120,00	120,00	10,00	50,00	100,00	5,00	6,25	2,25	12,50	5,85	1,90

SEÑAL	DIMENSIONES (cm)						
	L	M	N	P	Q	R	ALFABETO
60,00	0,79	3,38	3,32	2,68	2,39	1,20	B-6,5
75,00	1,00	4,20	4,15	3,35	3,00	1,50	B-8
90,00	1,20	5,05	5,00	4,00	3,60	1,80	B-10
120,00	1,60	6,75	6,65	5,35	4,80	2,40	B-12,5

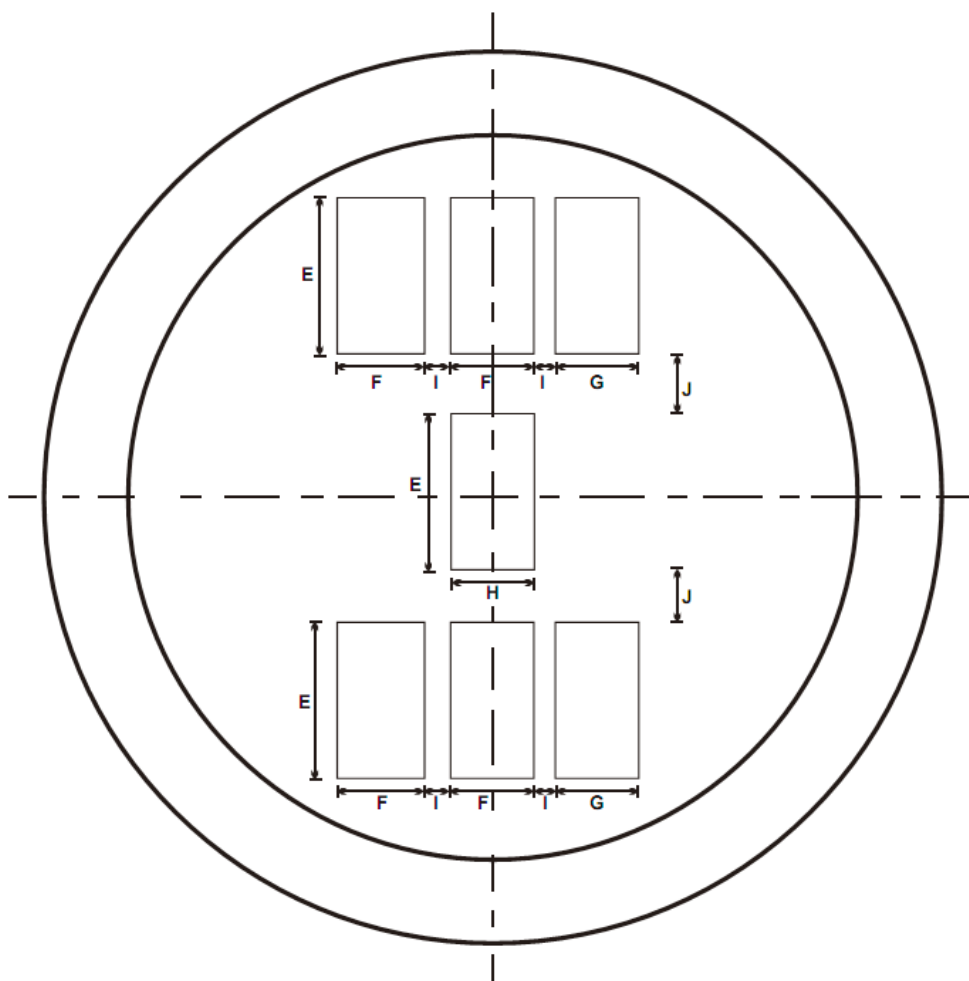
B. RT-02: DESVÍO



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)											
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M
60,00	60,00	5,00	25,00	50,00	10,00	5,55	5,08	6,20	1,43	5,87	2,14	1,70
75,00	75,00	6,25	31,25	62,50	12,50	6,95	6,35	7,75	1,80	7,35	2,65	2,15
90,00	90,00	7,50	37,50	75,00	15,00	8,30	7,60	9,30	2,15	8,80	3,20	2,55
120,00	120,00	10,00	50,00	100,00	20,00	11,10	10,15	12,40	2,85	11,75	4,25	3,40

SEÑAL	DIMENSIONES (cm)										ALFABETO
	N	P	Q	R	S	T	U	V	W		
60,00	15,00	4,75	10,25	0,55	3,75	5,75	7,00	5,50	4,58	B-10	
75,00	18,75	5,95	12,80	0,70	4,70	7,20	8,75	6,90	5,70	B-12,5	
90,00	22,50	7,15	15,40	0,85	5,65	8,65	10,50	8,25	6,85	B-15	
120,00	30,00	9,50	20,50	1,10	7,50	11,50	14,00	11,00	9,15	B-20	

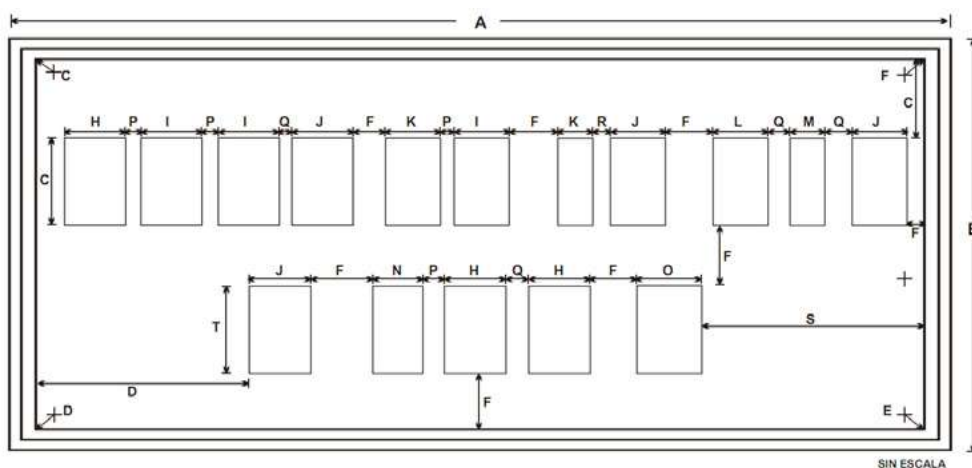
C. RT-03: PASO UNO A UNO



SEÑAL	DIMENSIONES (cm)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
60,00	60,00	5,00	25,00	50,00	10,00	5,55	5,87	6,35	2,14	5,00
75,00	75,00	6,25	31,25	62,50	12,50	6,95	7,35	7,95	2,65	6,25
90,00	90,00	7,50	37,50	75,00	15,00	8,30	8,80	9,50	3,20	7,50
120,00	120,00	10,00	50,00	100,00	20,00	11,10	11,75	12,70	4,25	10,00

3.3.3.2.3. DISEÑO DE SEÑALES VERTICALES TRANSITORIAS INFORMATIVAS

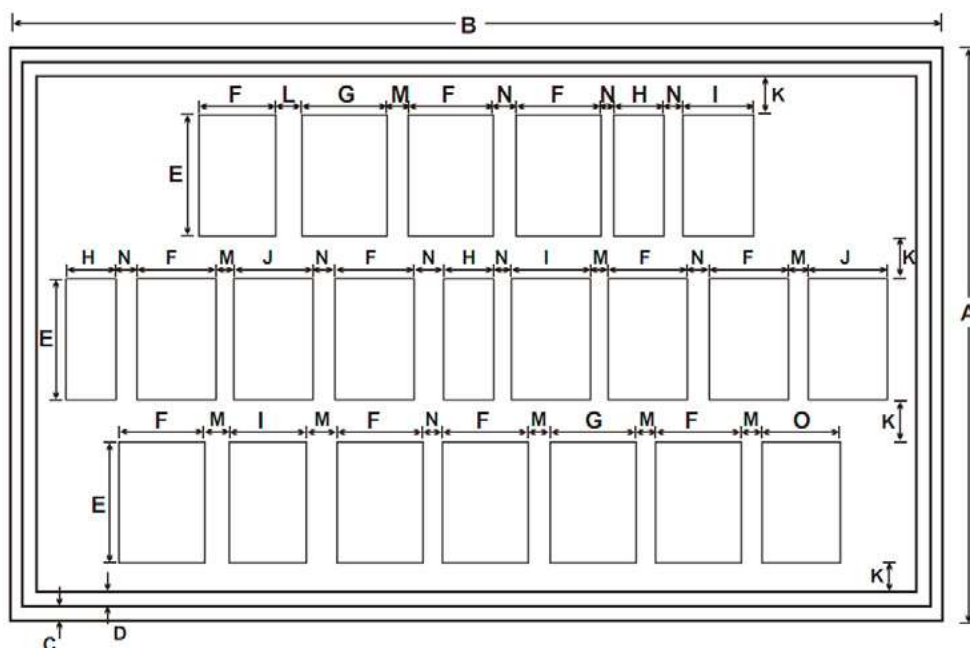
A. APROXIMACIÓN A OBRA EN LA VÍA



DIMENSIONES (cm)										
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
178,81	30,80	5,00	3,75	2,50	7,50	2,00	10,72	10,24	12,75	9,30

DIMENSIONES (cm)									
L	M	N	O	P	Q	R	S	T	ALFABETO
11,43	2,39	3,68	17,80	3,58	2,85	1,91	46,85	15,00	D-15

B. IT-02: CARRIL CERRADO (DERECHO-CENTRO-IZQUIERDO)

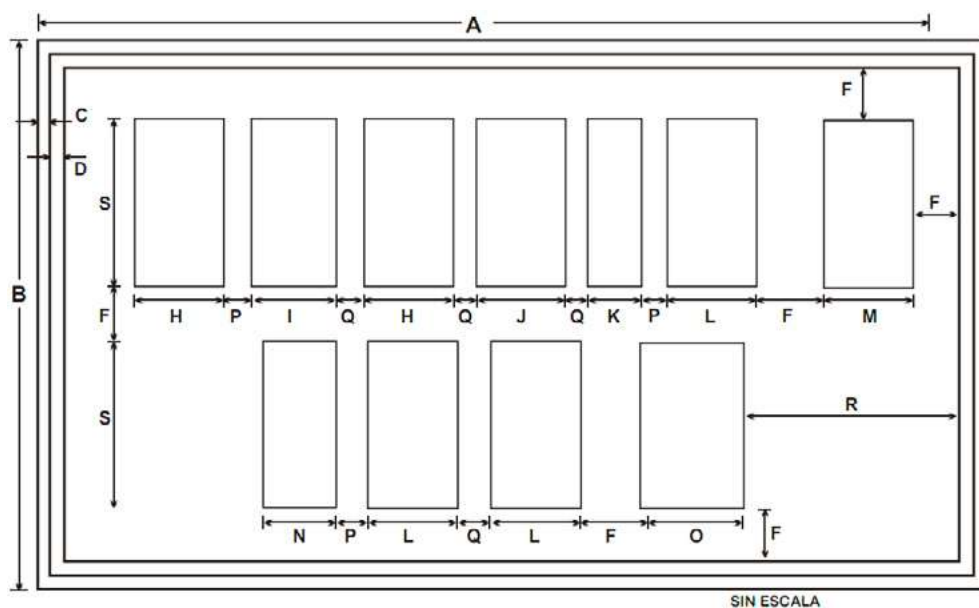


DIMENSIONES (cm)										
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
110,00	170,00	2,00	3,00	20,00	13,87	16,99	3,18	12,40	14,28	10,00

DIMENSIONES (cm)			
L	M	N	ALFABETO
2,54	3,81	4,78	D-20

Nota.- La dimensión "B" de la placa es función del texto que contiene.

C. IT-03: DESVÍO



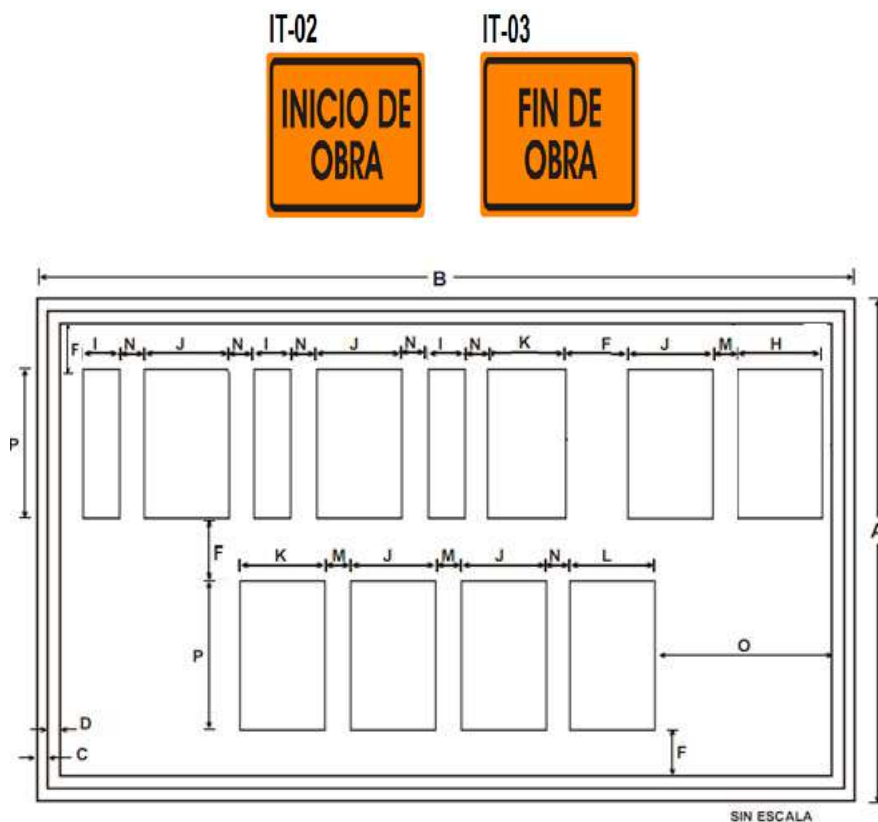
SIN ESCALA

DIMENSIONES (cm)											
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
113,28	30,80	5,00	3,75	2,50	7,50	2,00	10,24	9,30	11,43	2,39	10,72

DIMENSIONES (cm)							
M	N	O	P	Q	R	S	ALFABETO
12,75	3,68	17,80	3,58	2,85	22,71	15,00	D-15

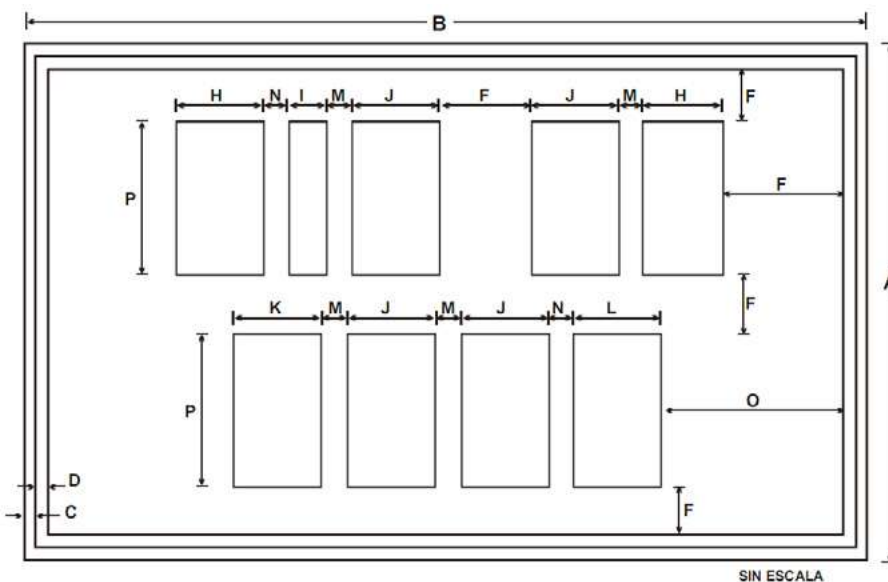
Nota.- La dimensión "A" de la placa es función del texto que contiene.

D. IT-04: INICIO DE OBRA



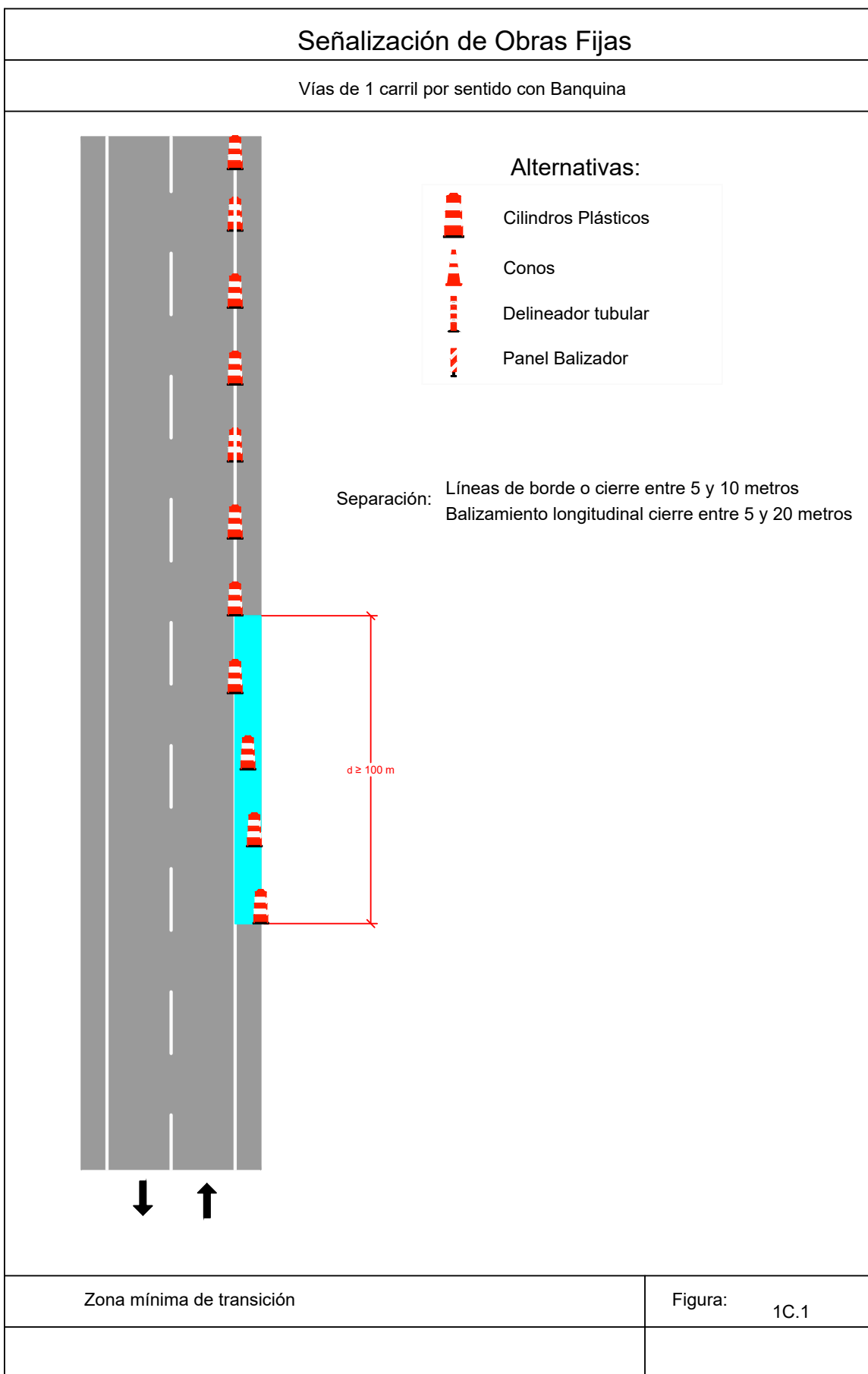
Nota.- La dimensión "A" de la placa es función del texto que contiene.

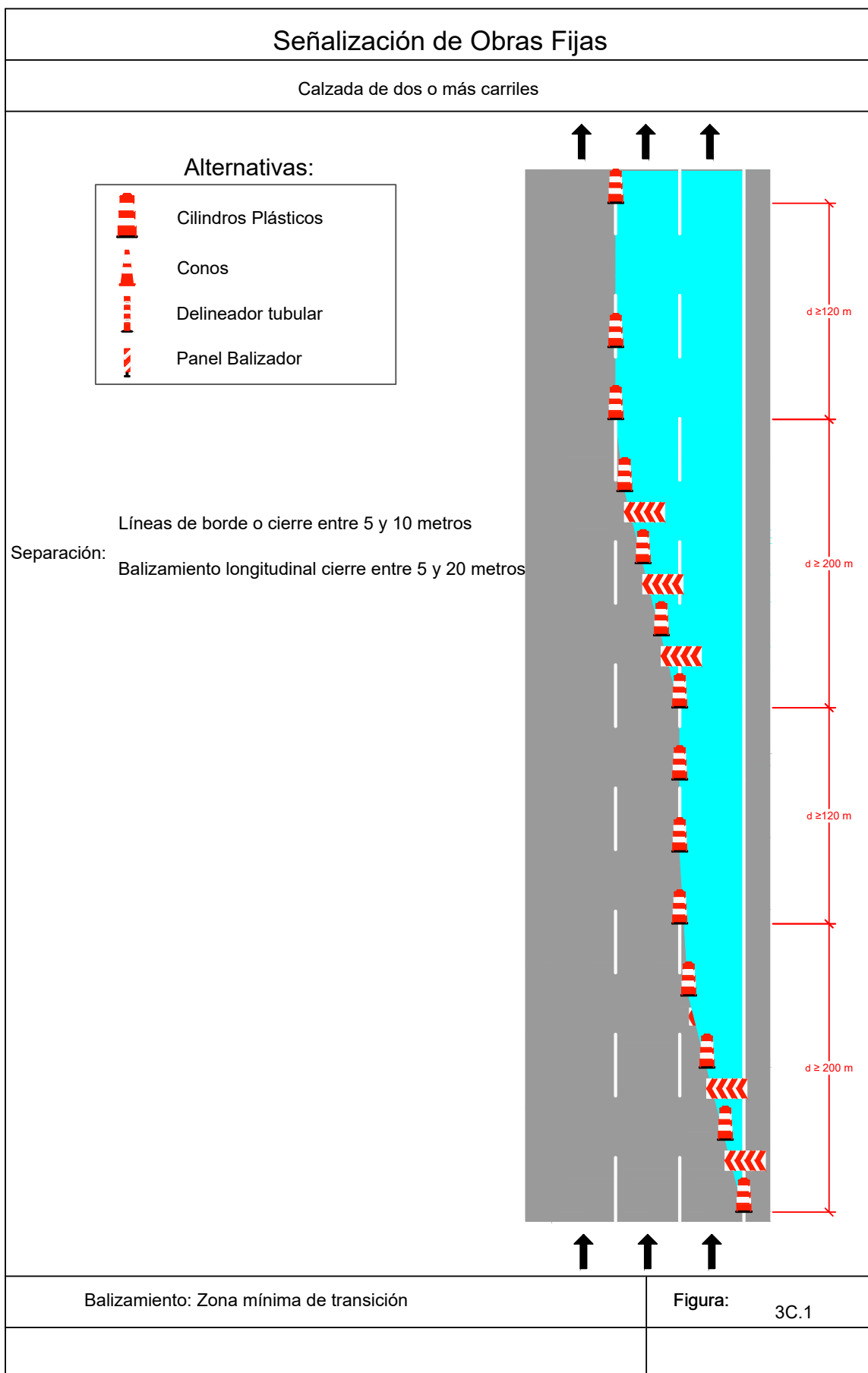
E. IT-05: INFORMACIÓN DE OBRA

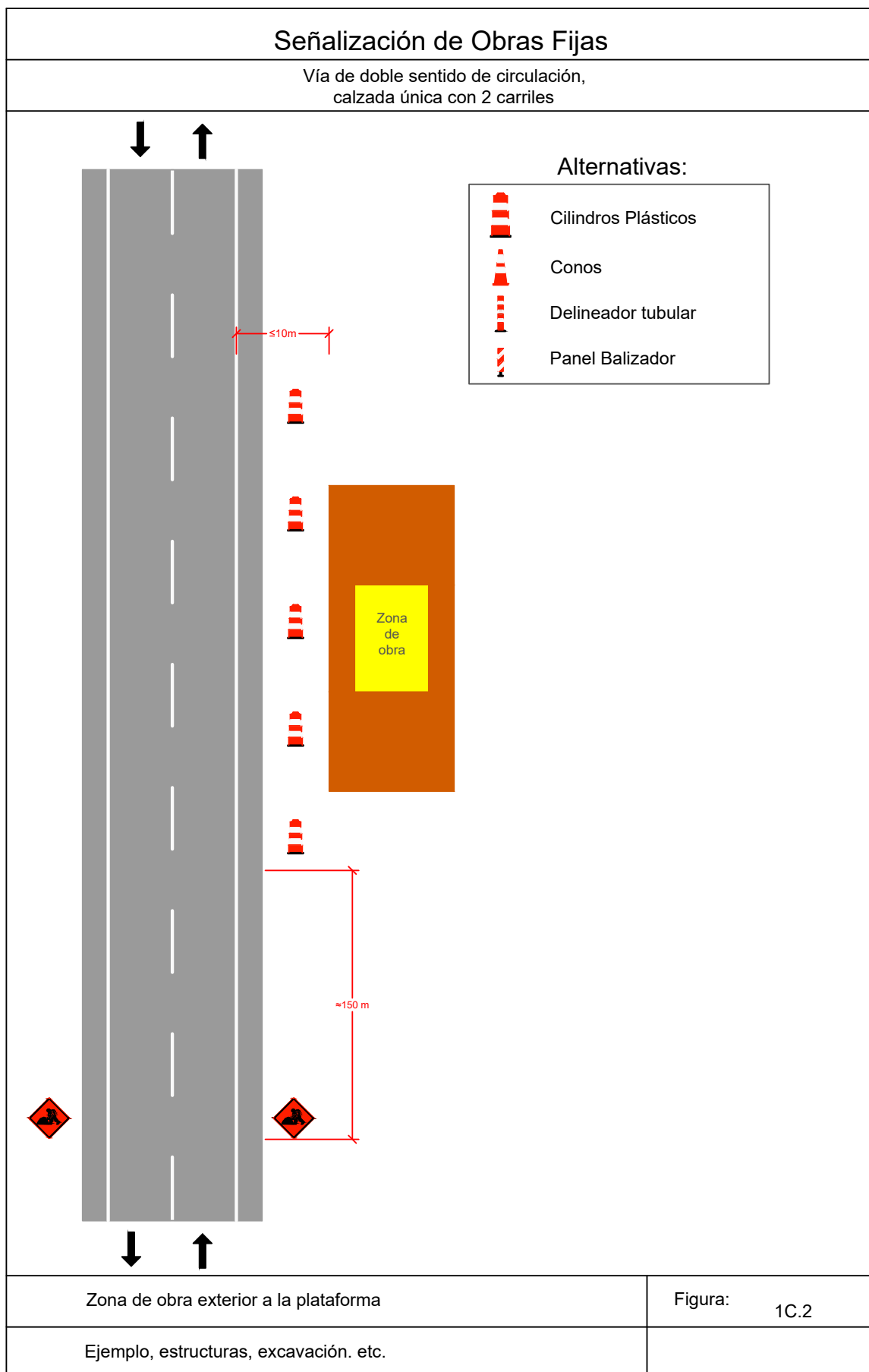


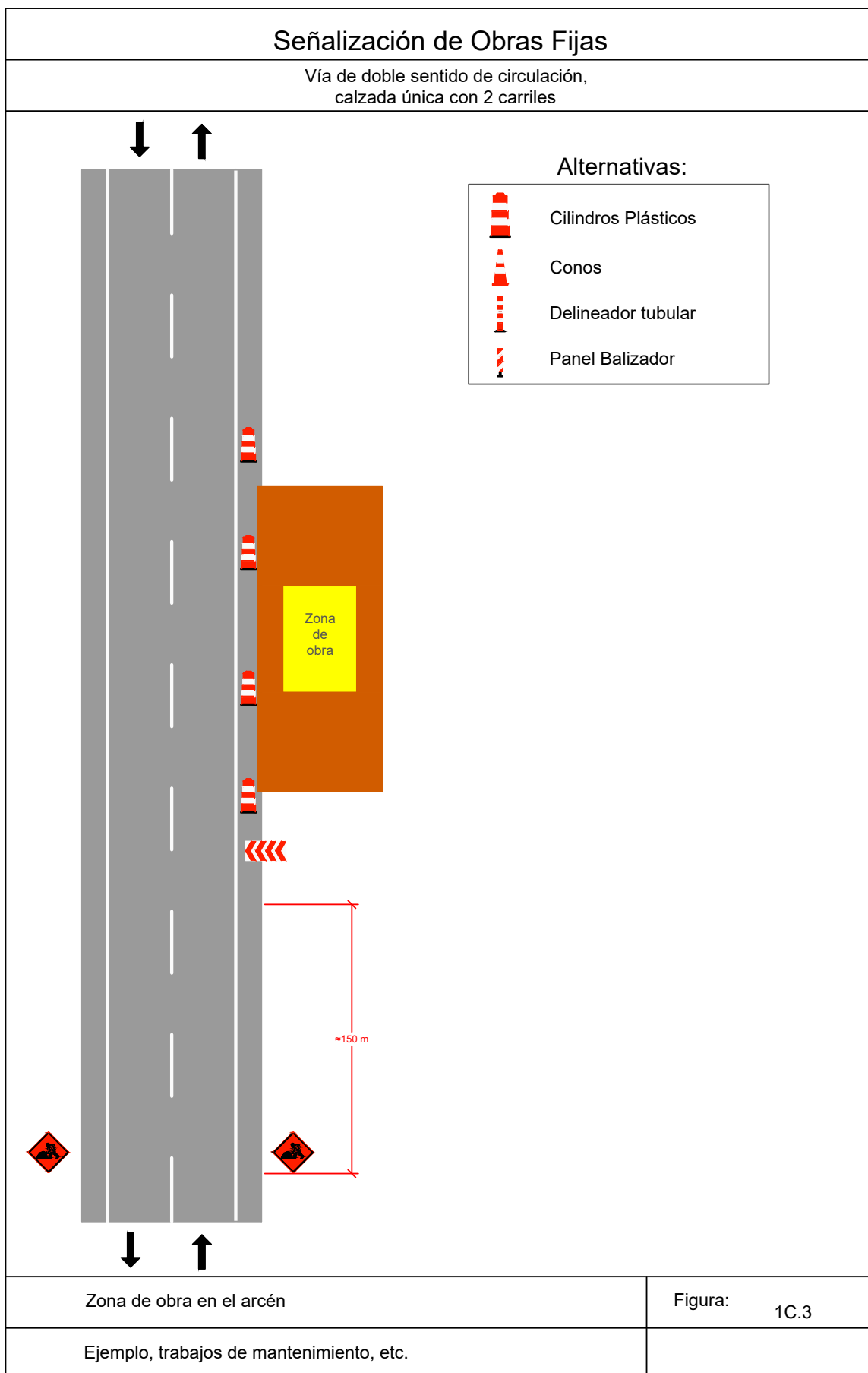
DIMENSIONES (cm)										
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
81,98	30,80	5,00	3,75	2,50	7,50	2,00	9,30	2,39	10,24	10,72

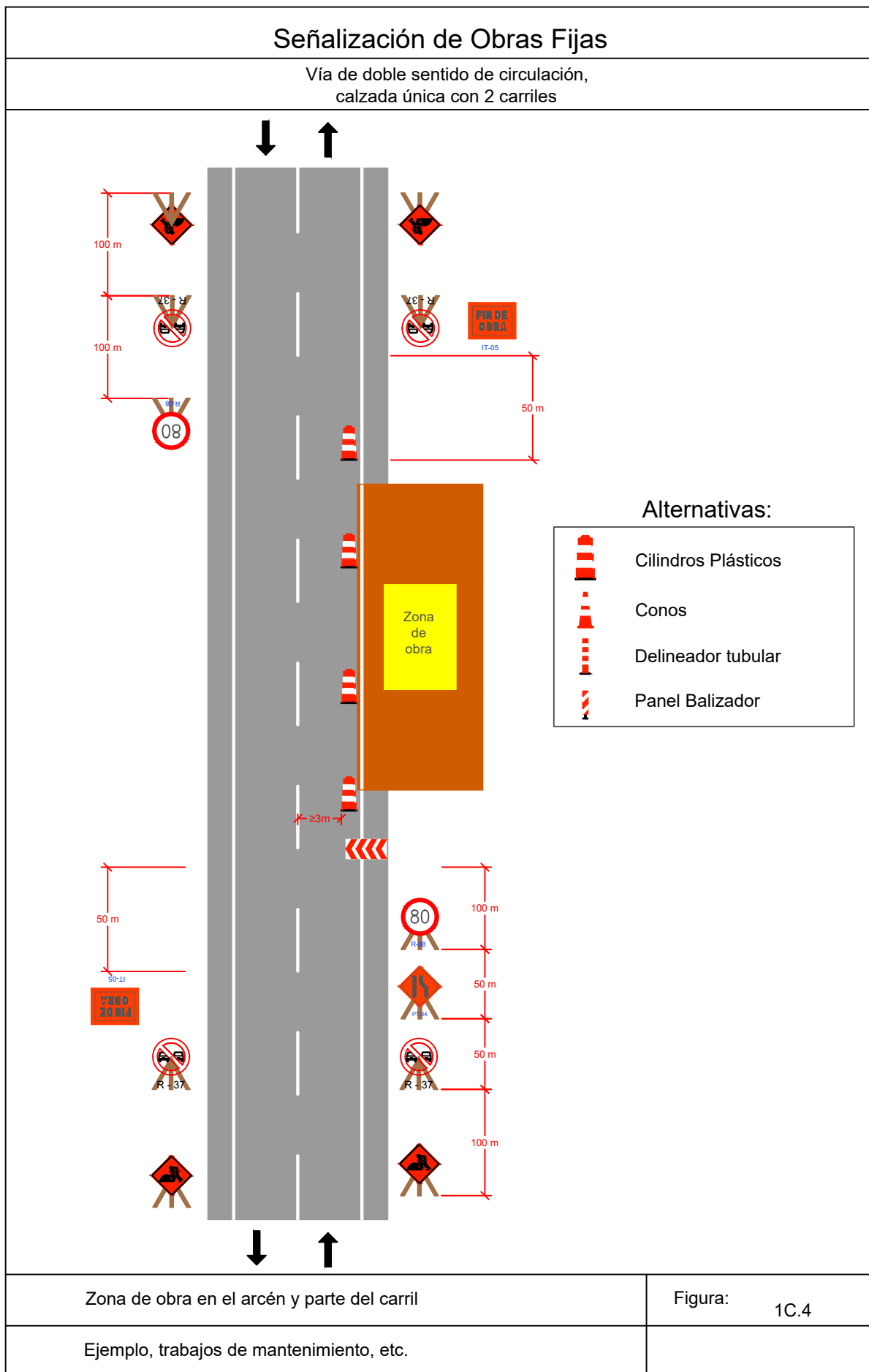
DIMENSIONES (cm)					
L	M	N	O	P	ALFABETO
12,75	3,58	2,85	10,01	15,00	D-15

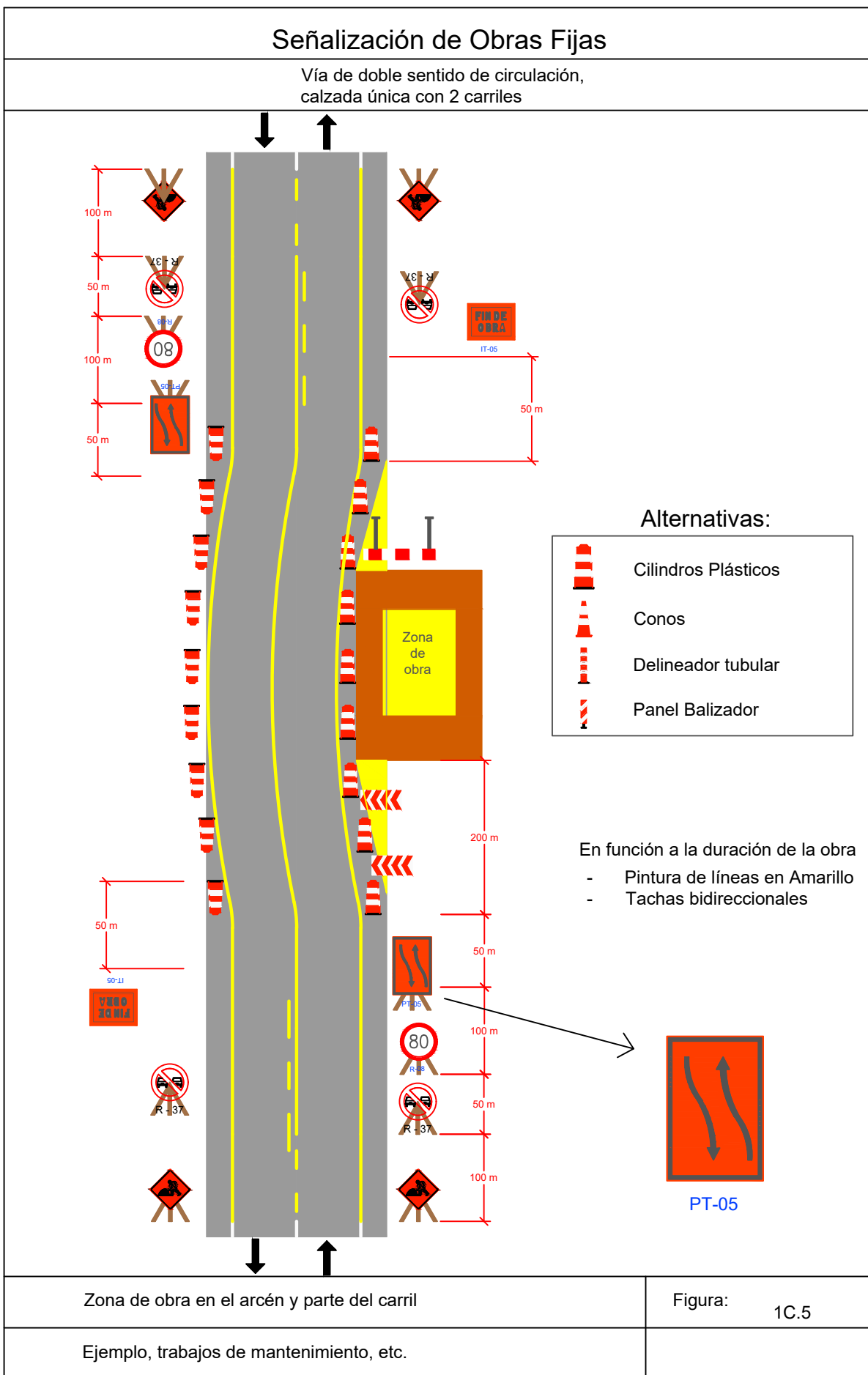


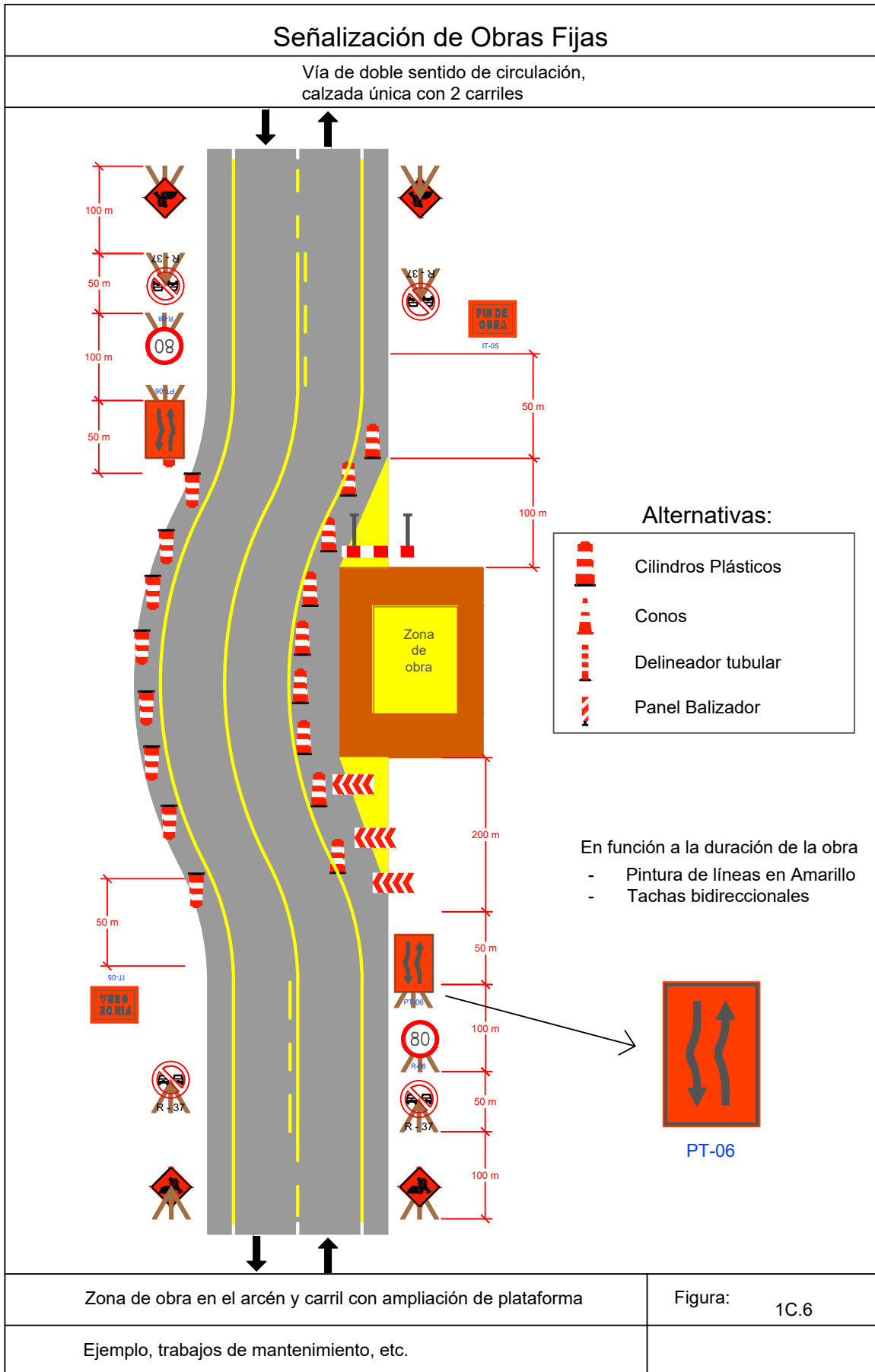


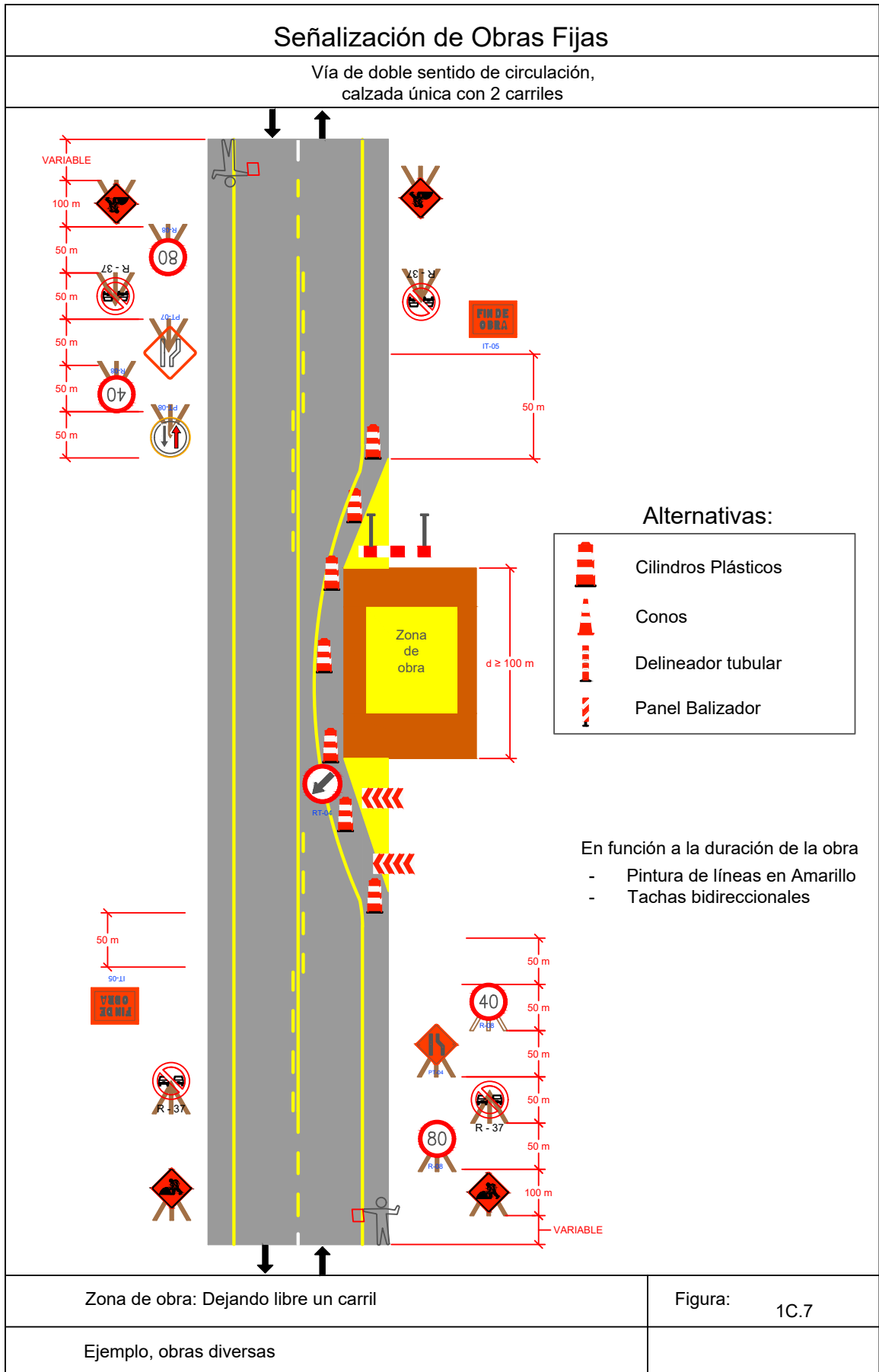


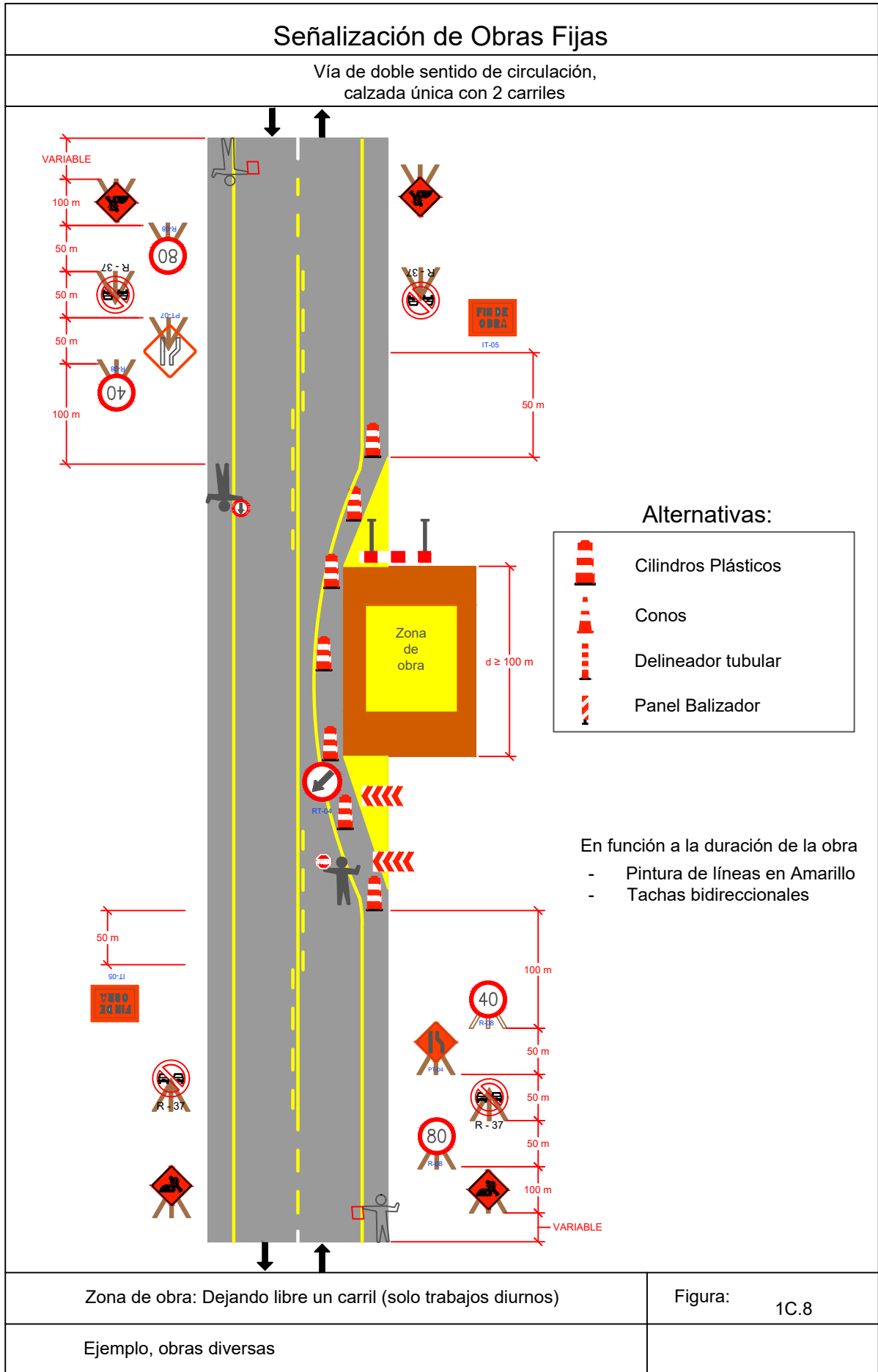


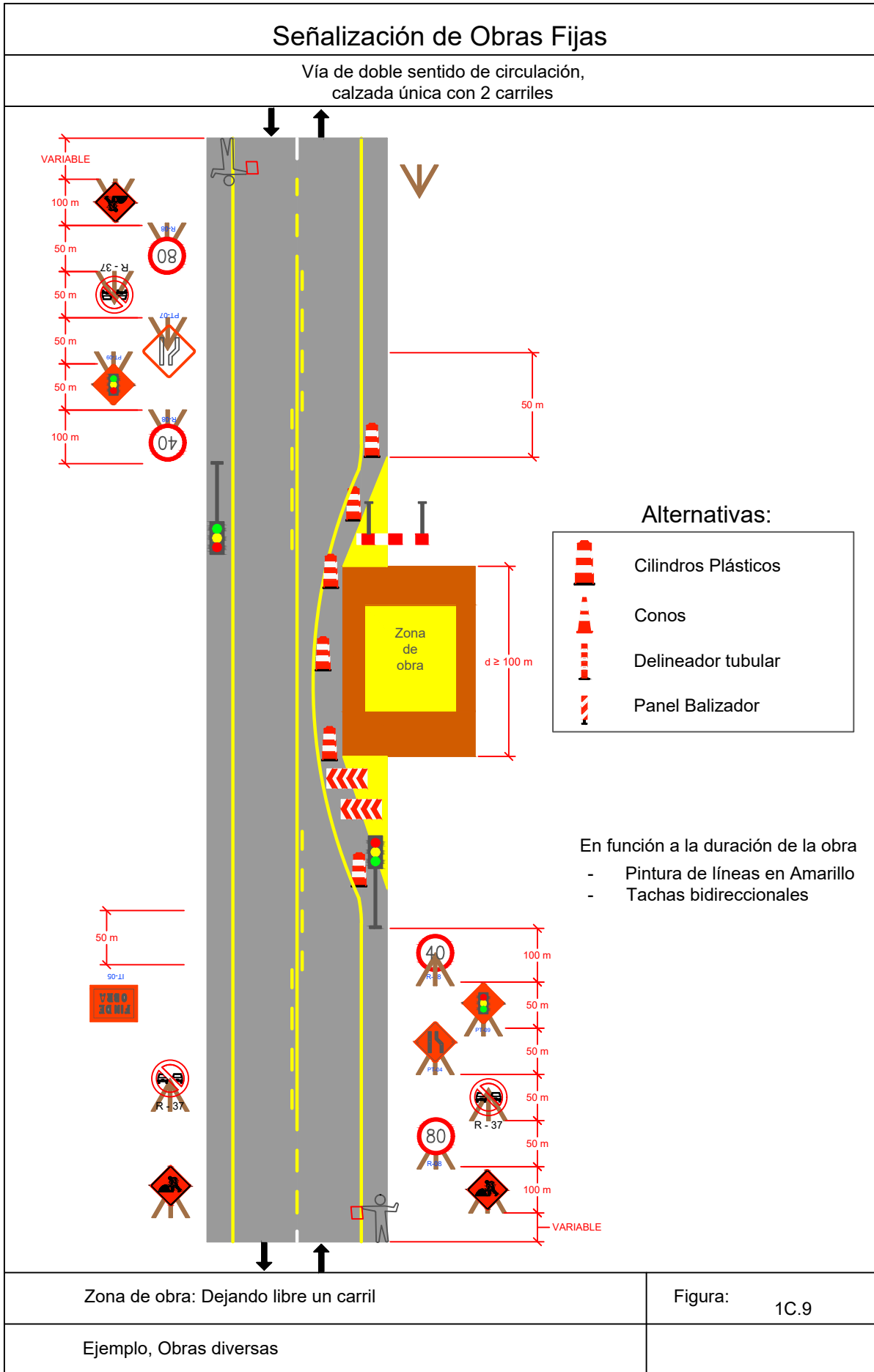


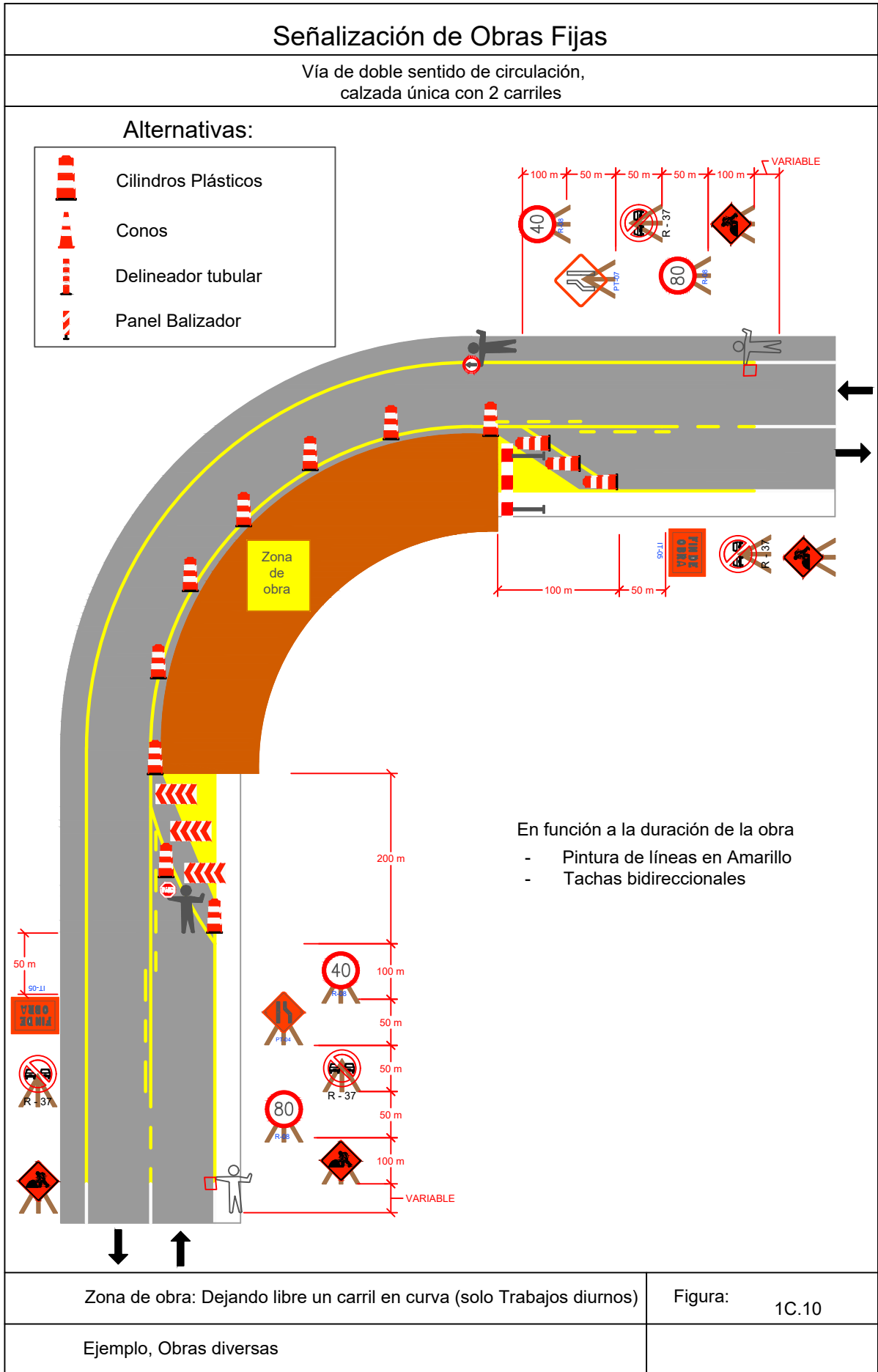


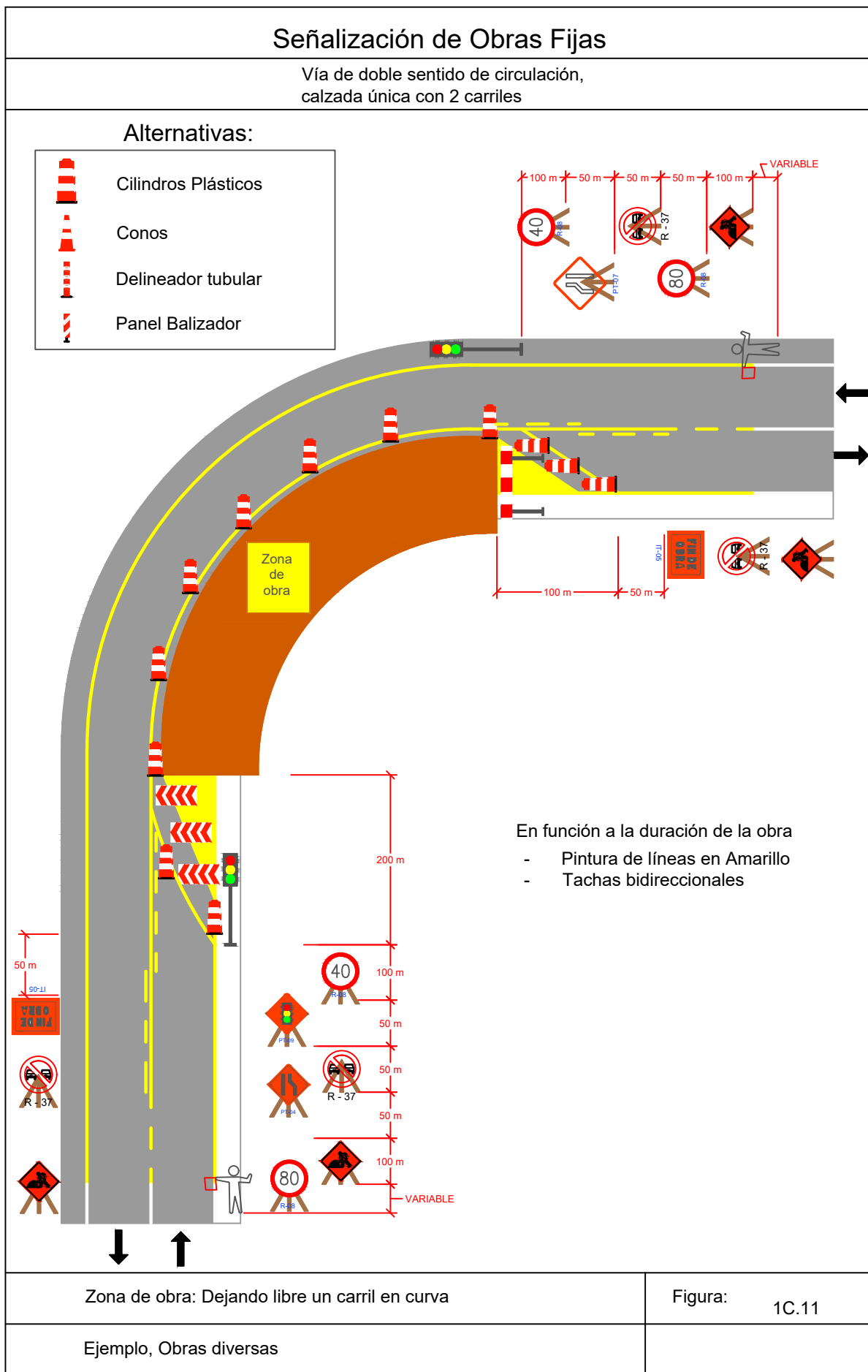


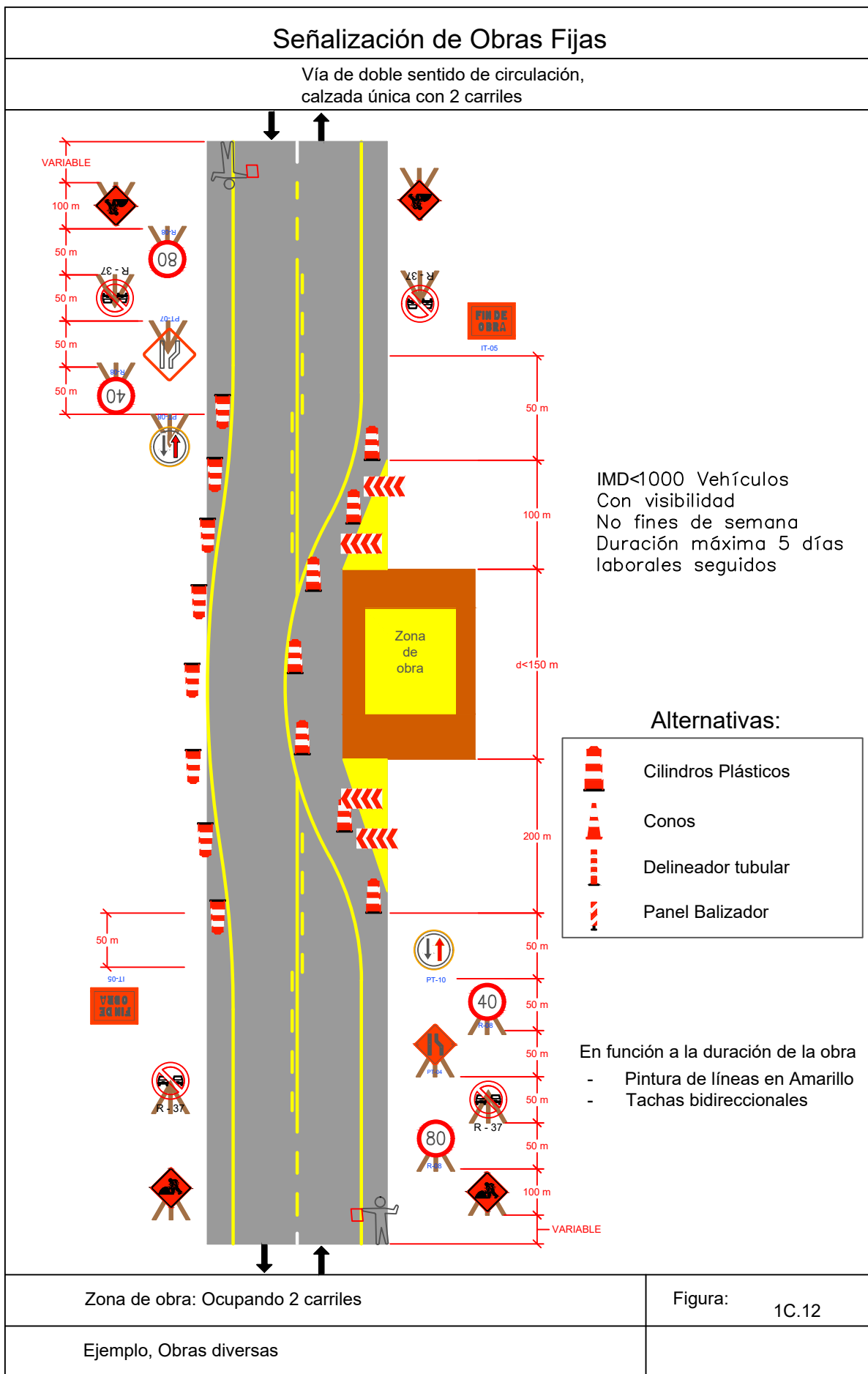


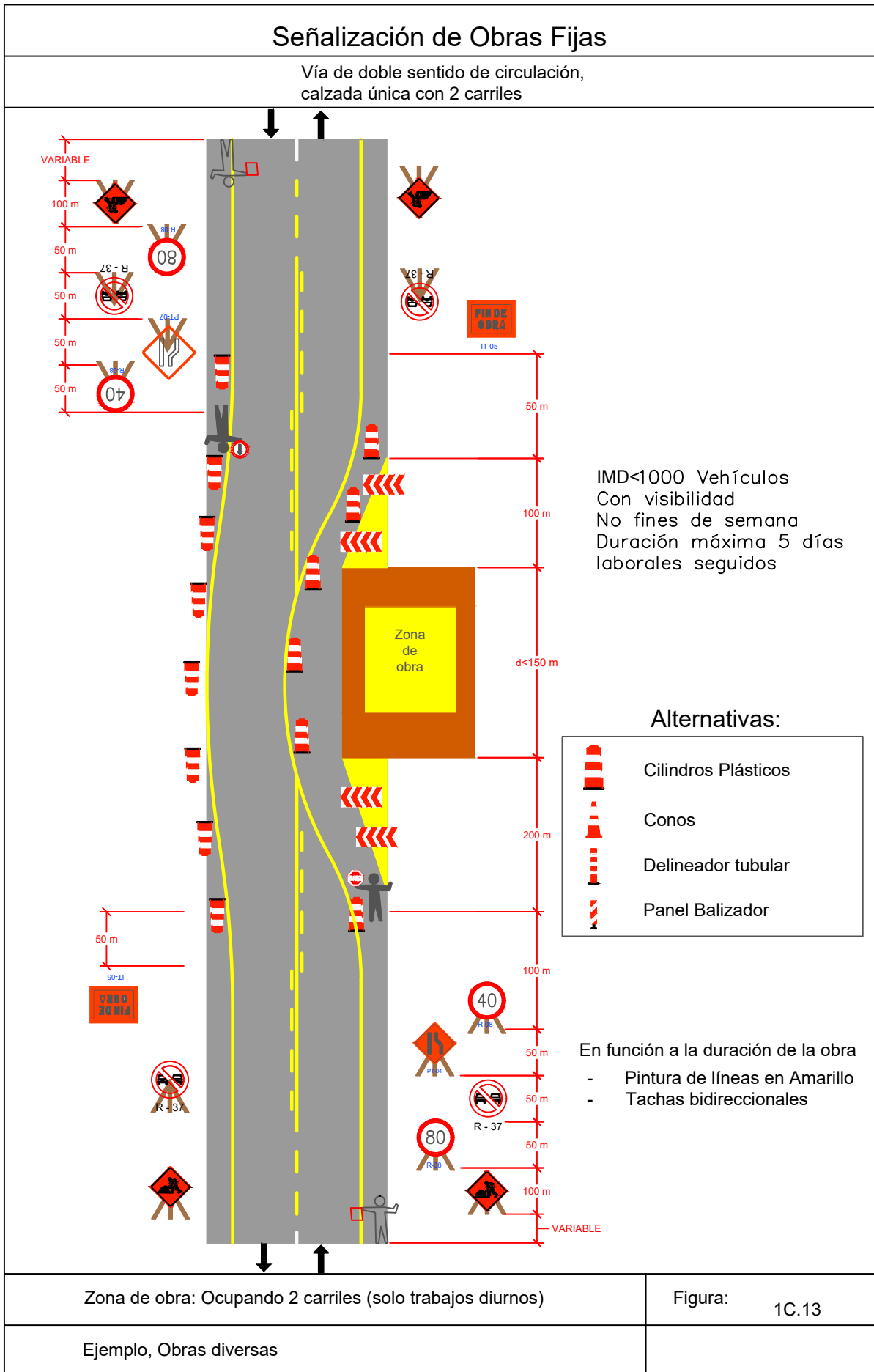


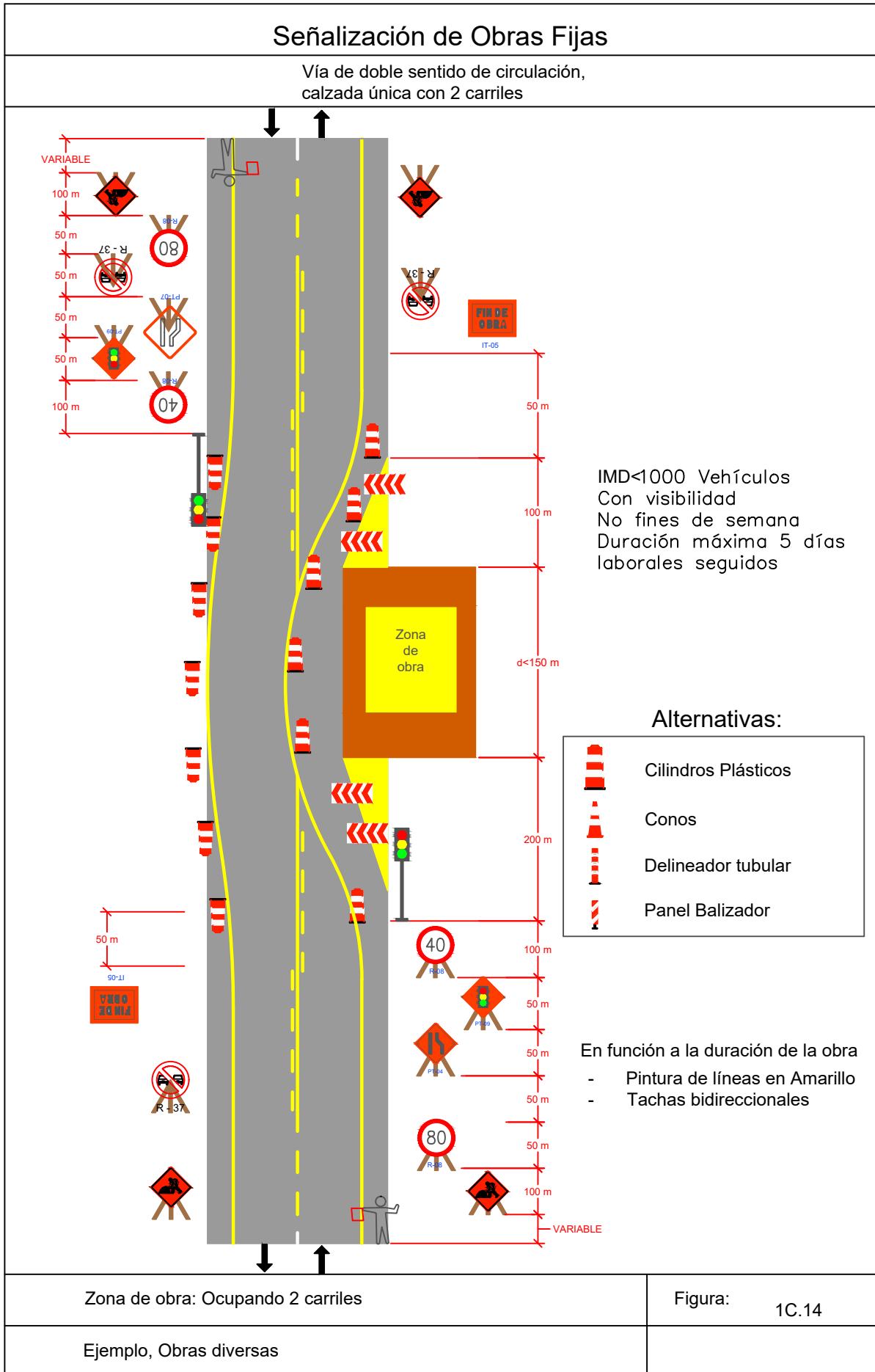


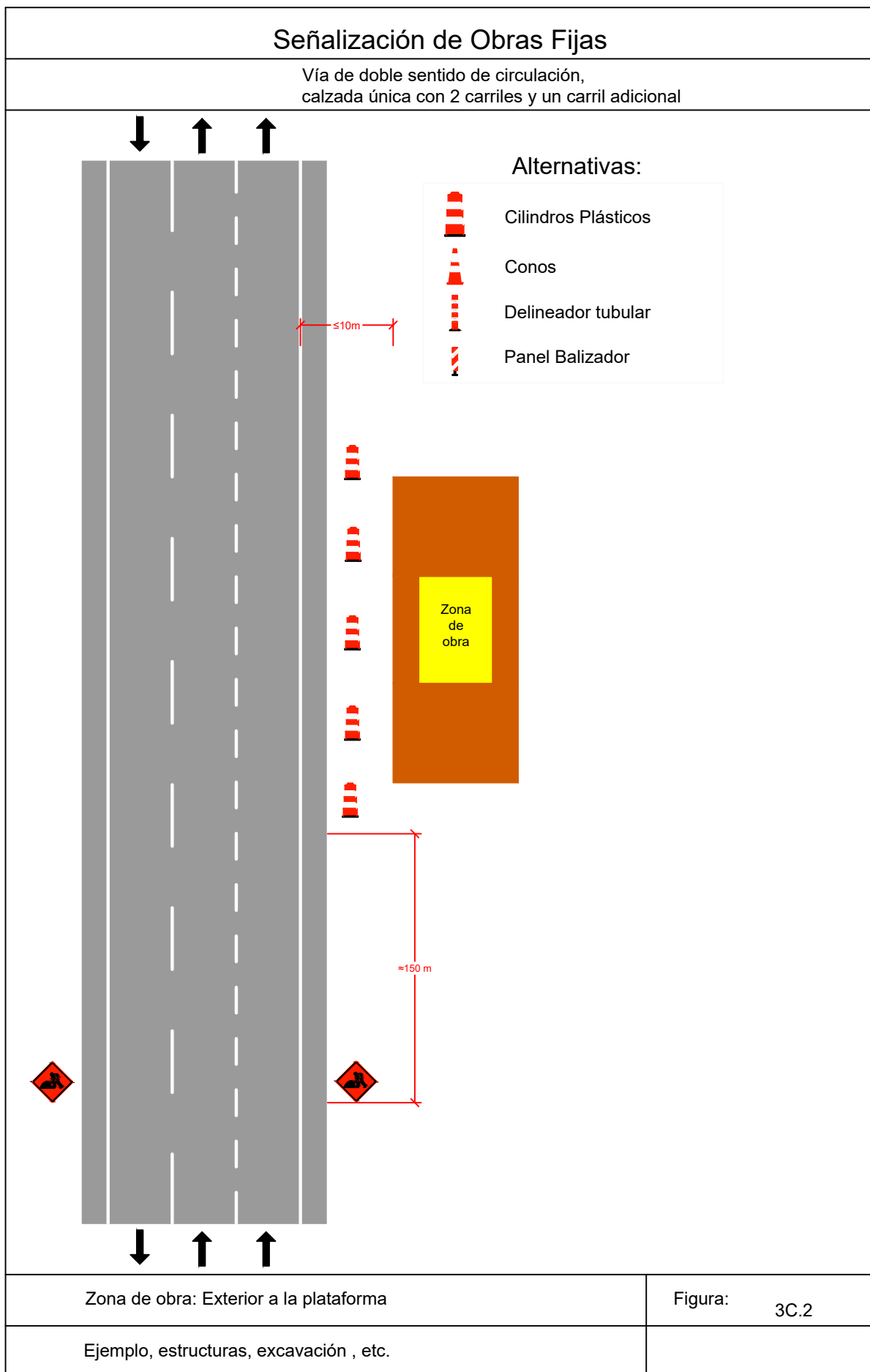


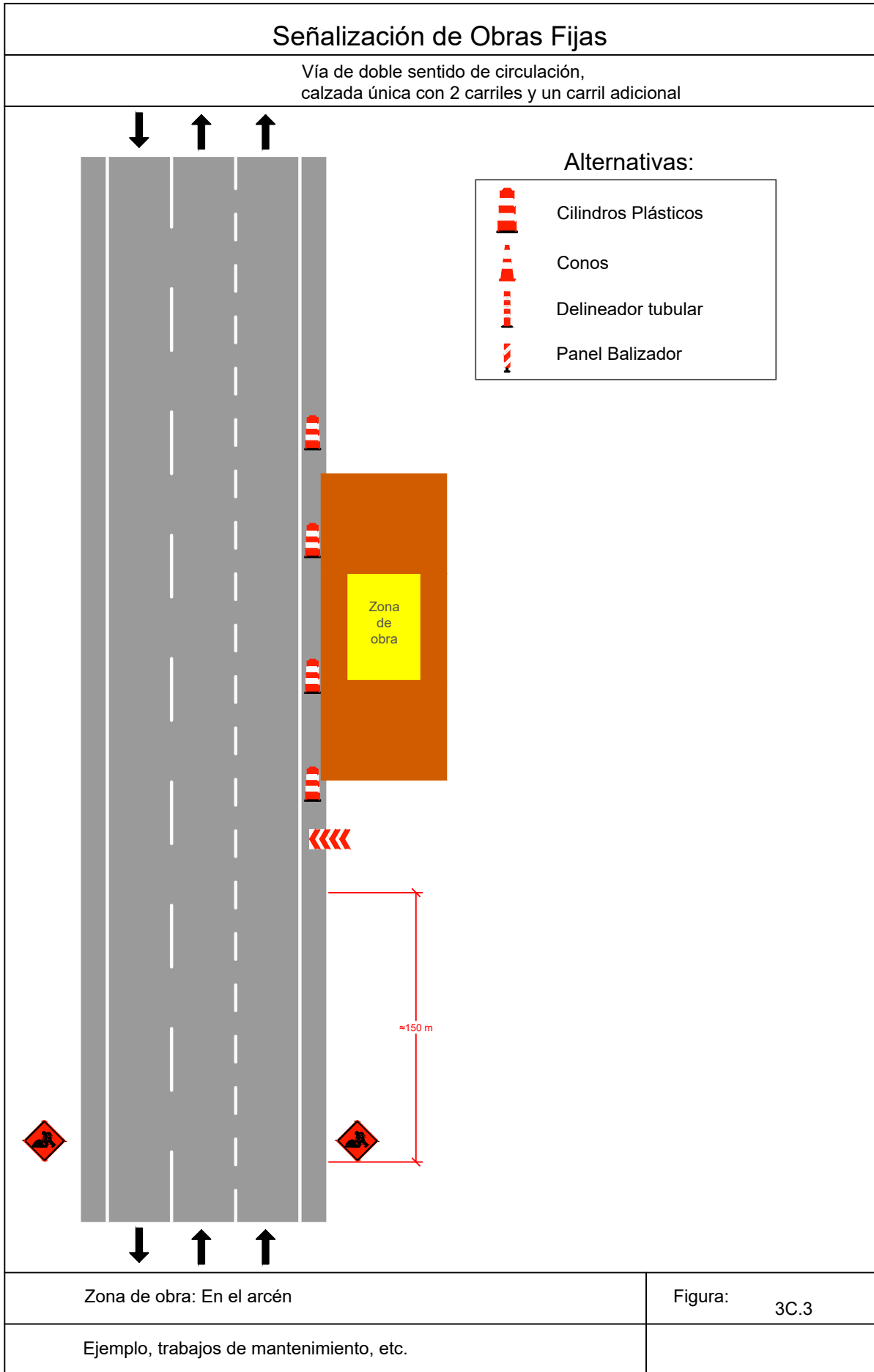


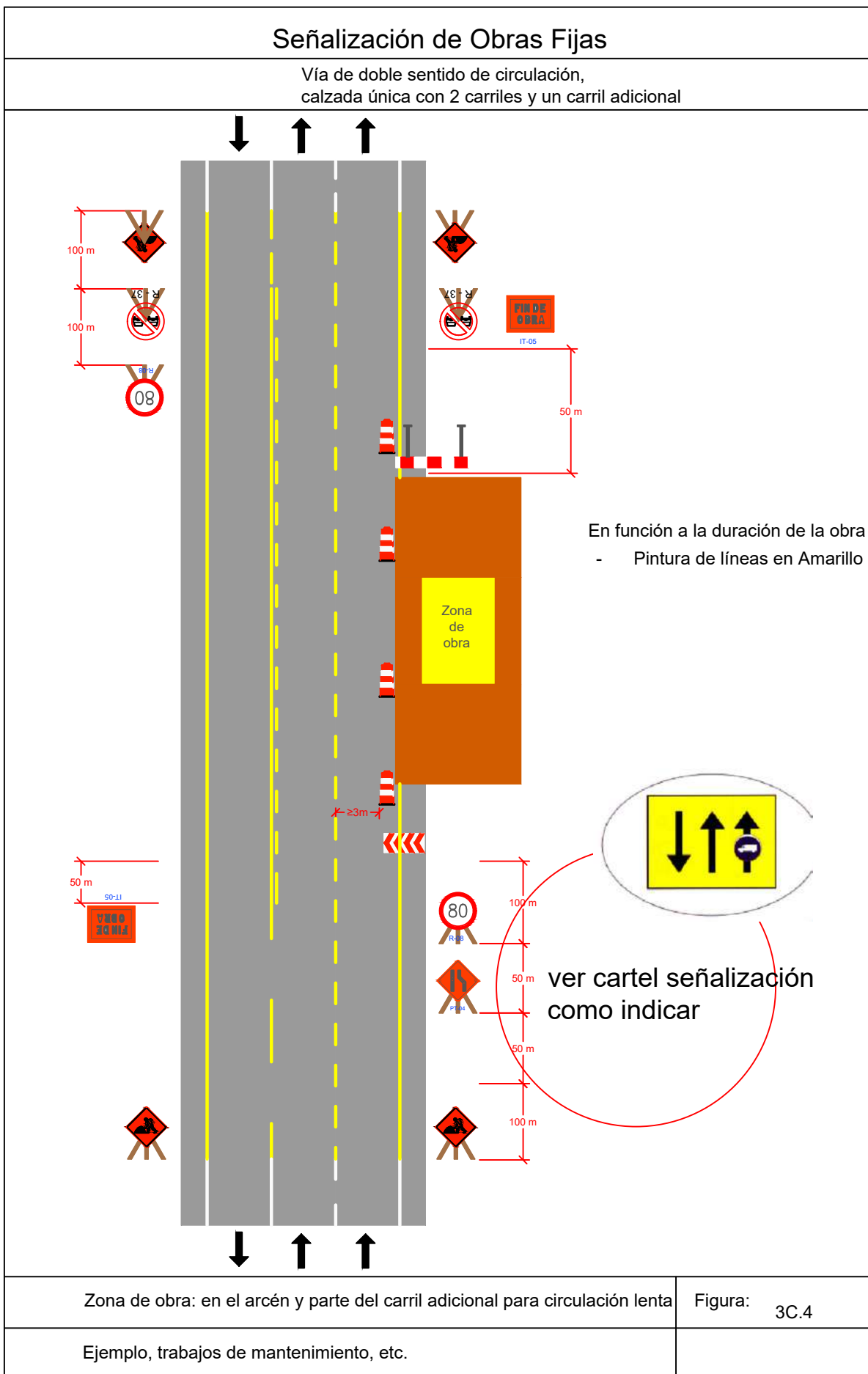


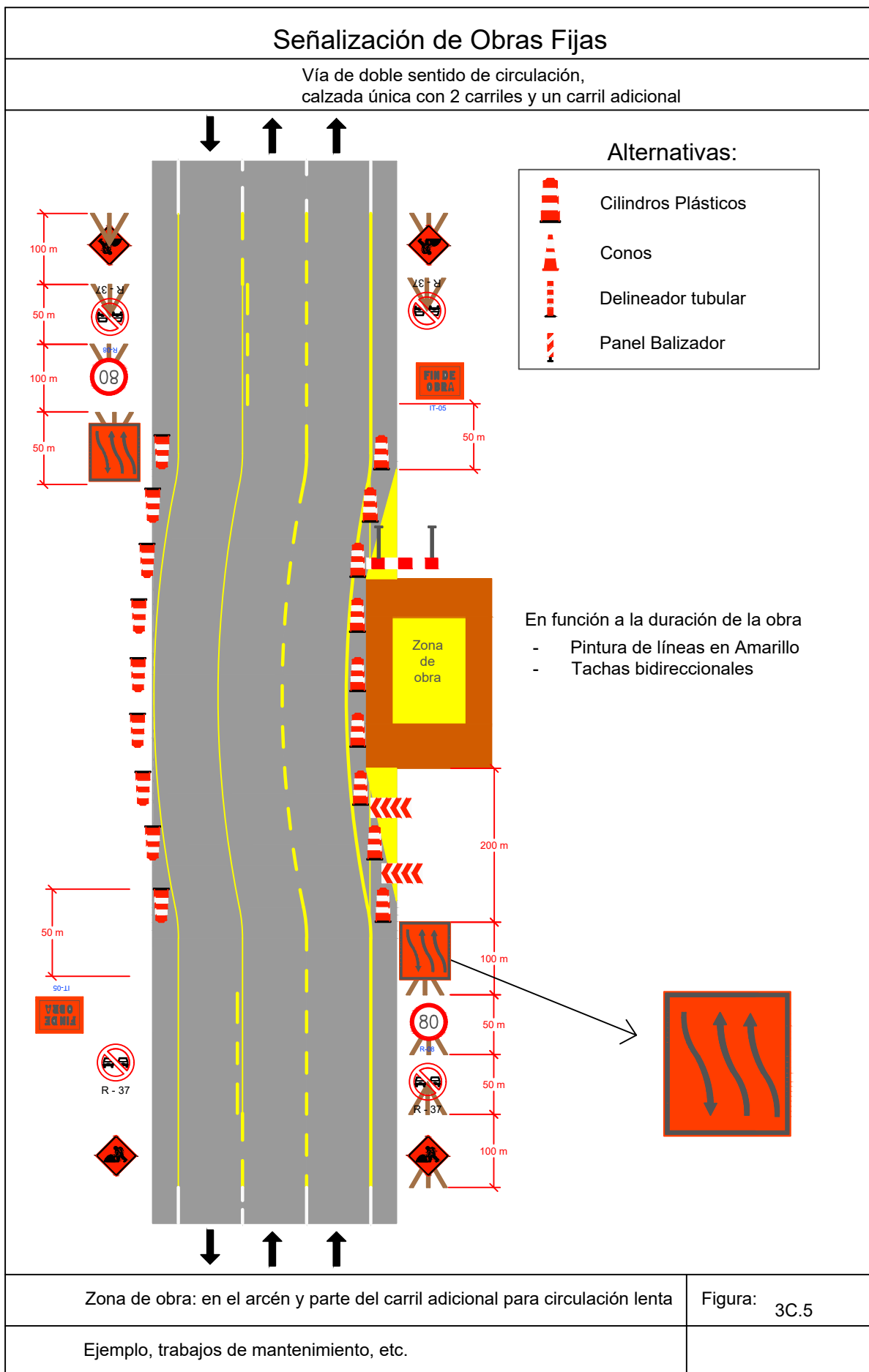


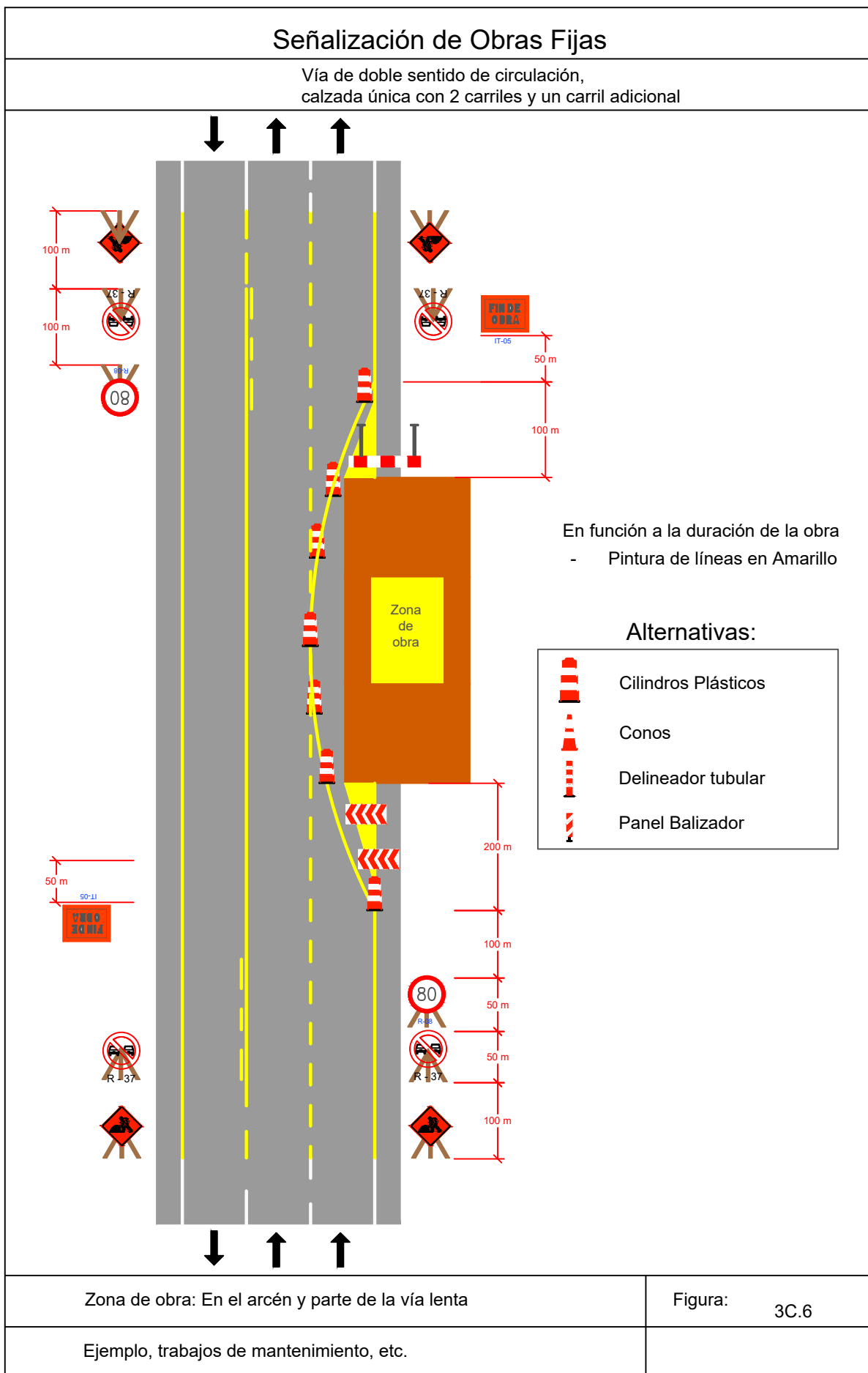


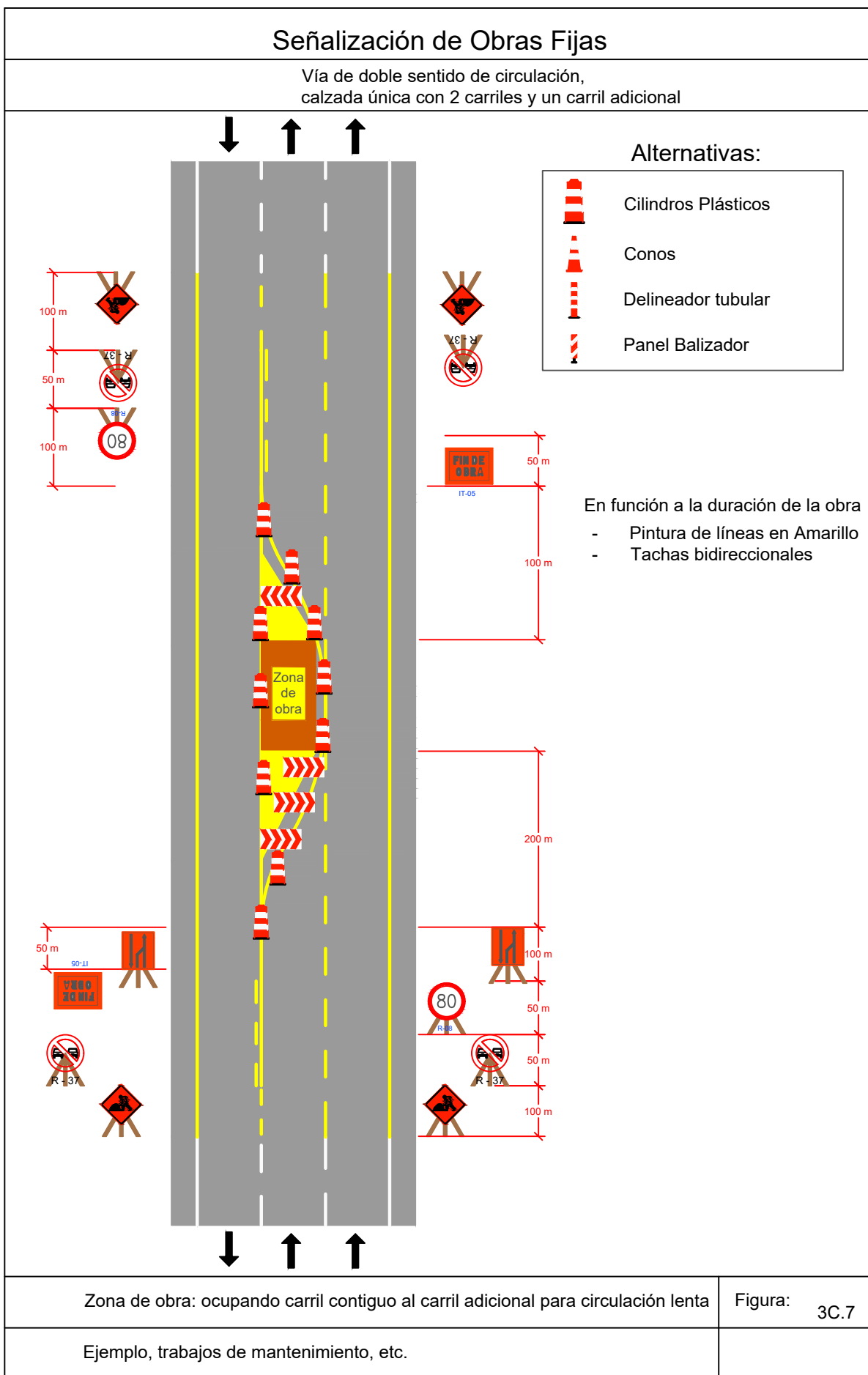


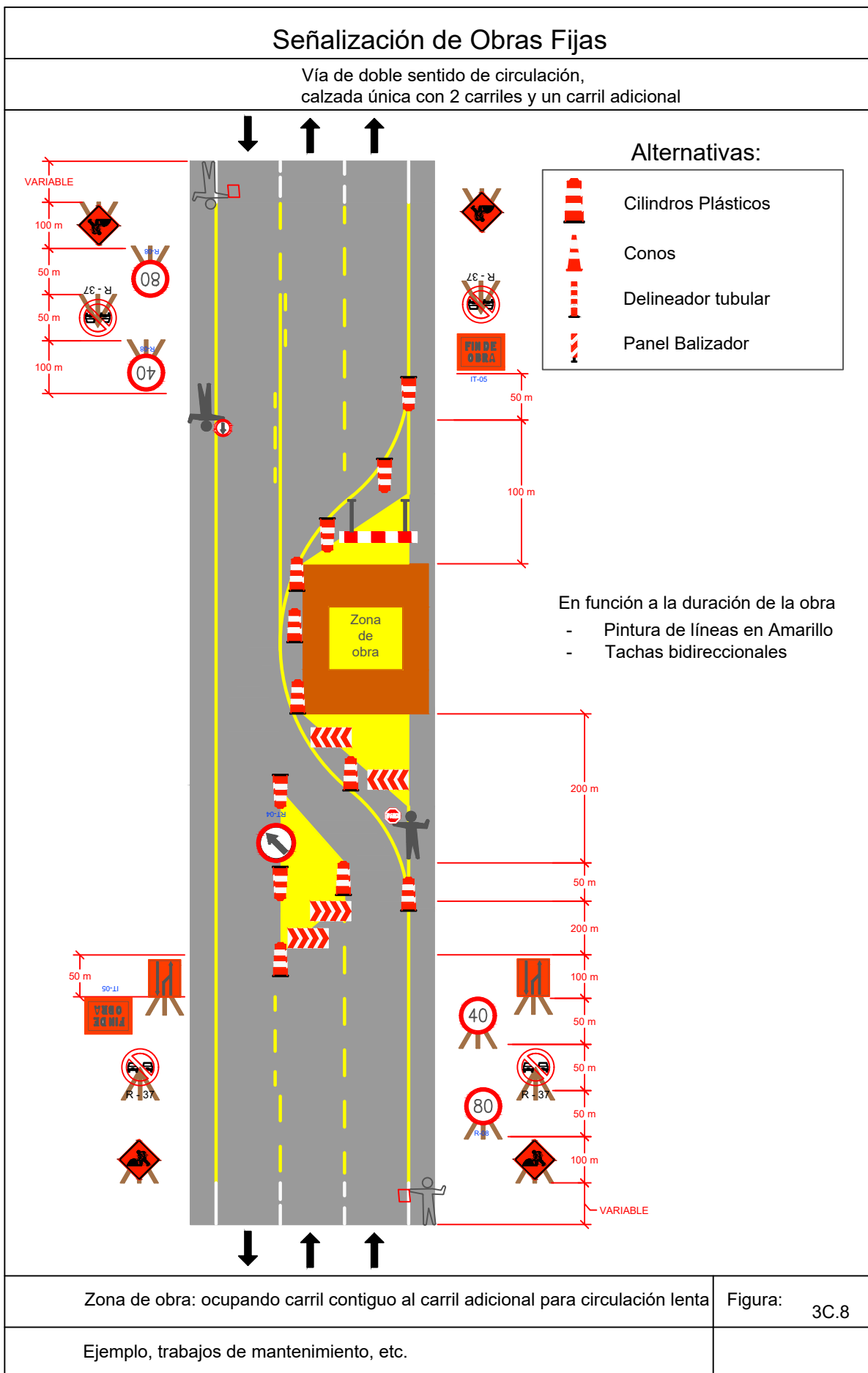


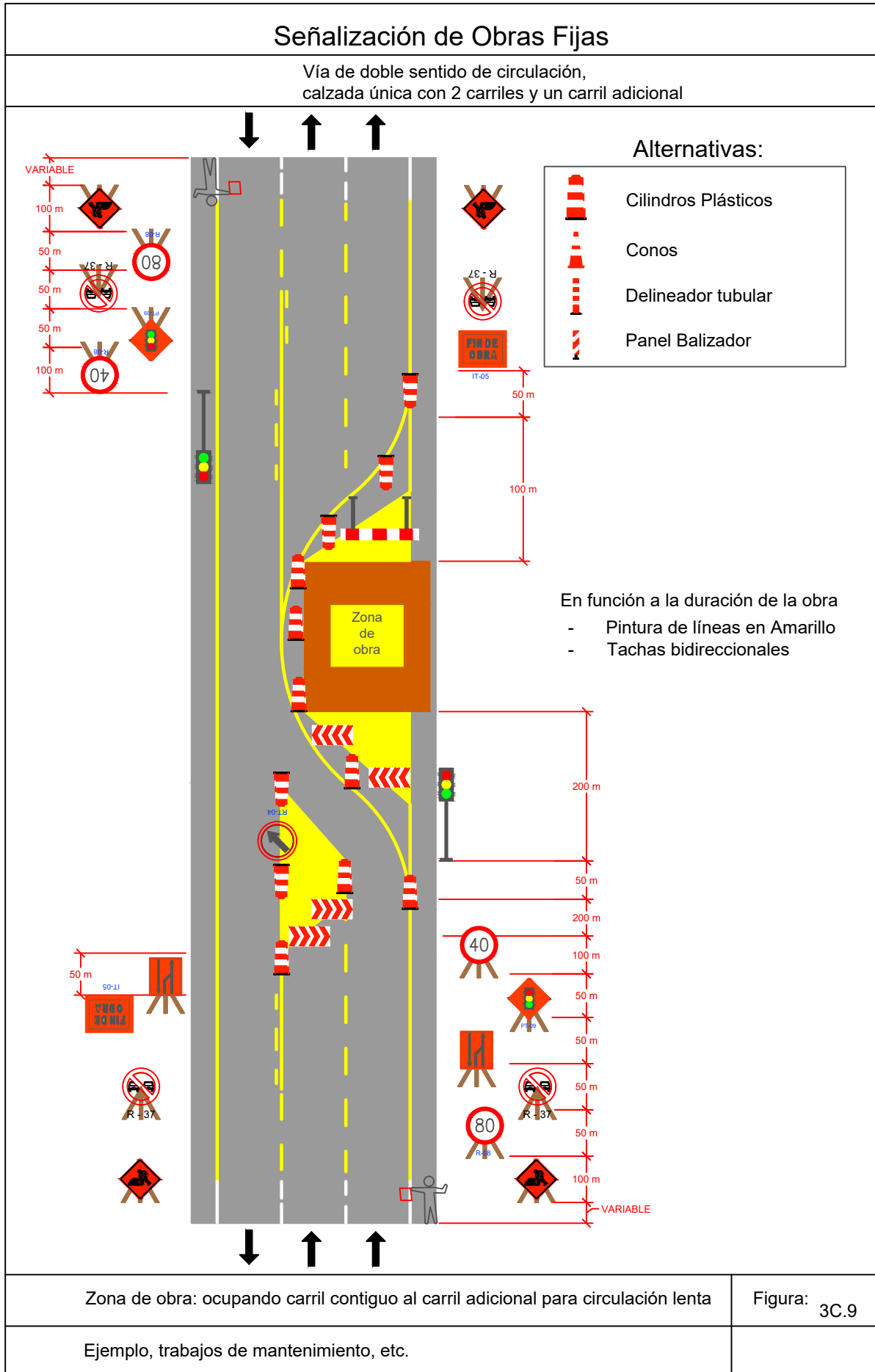


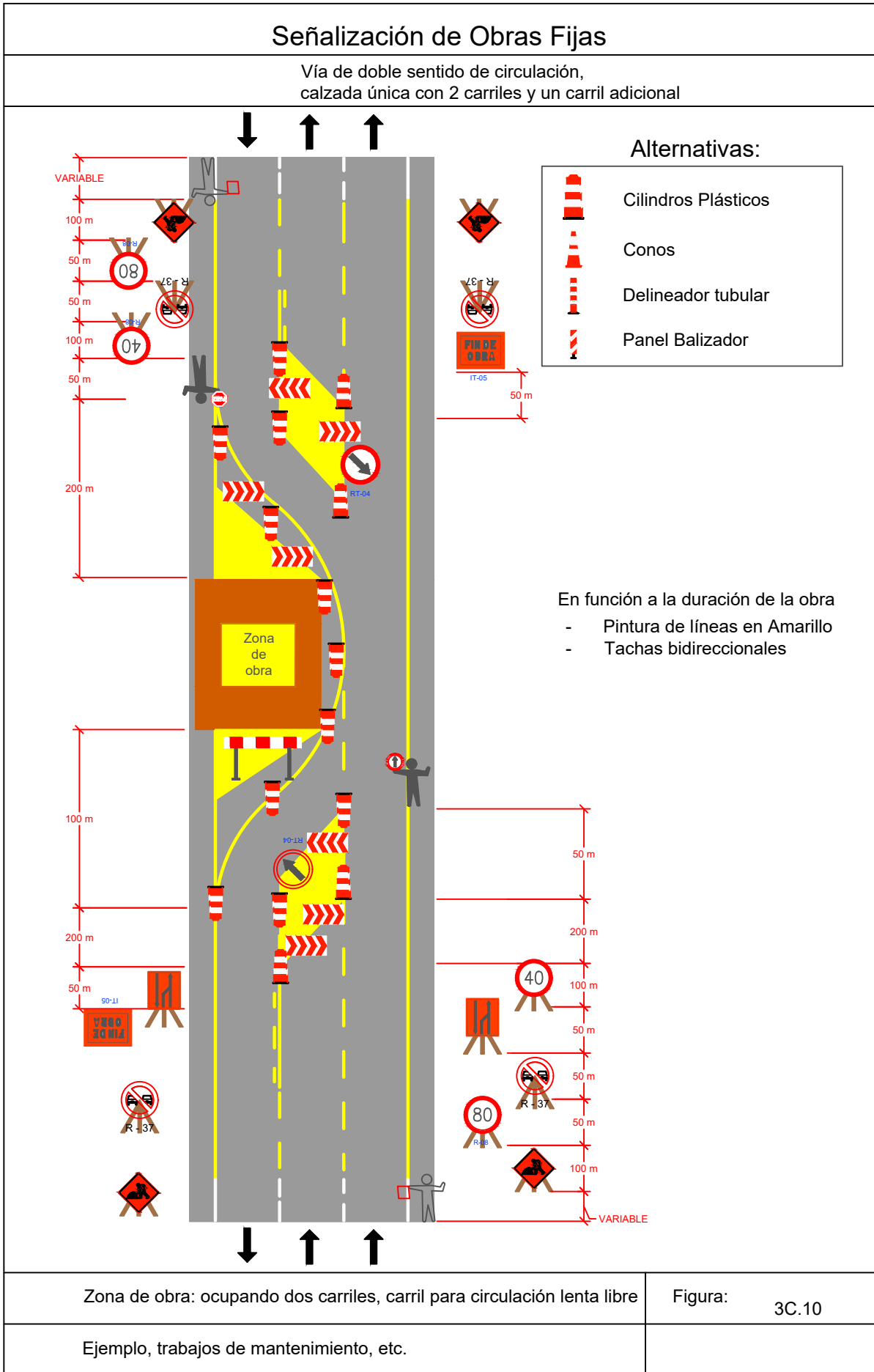


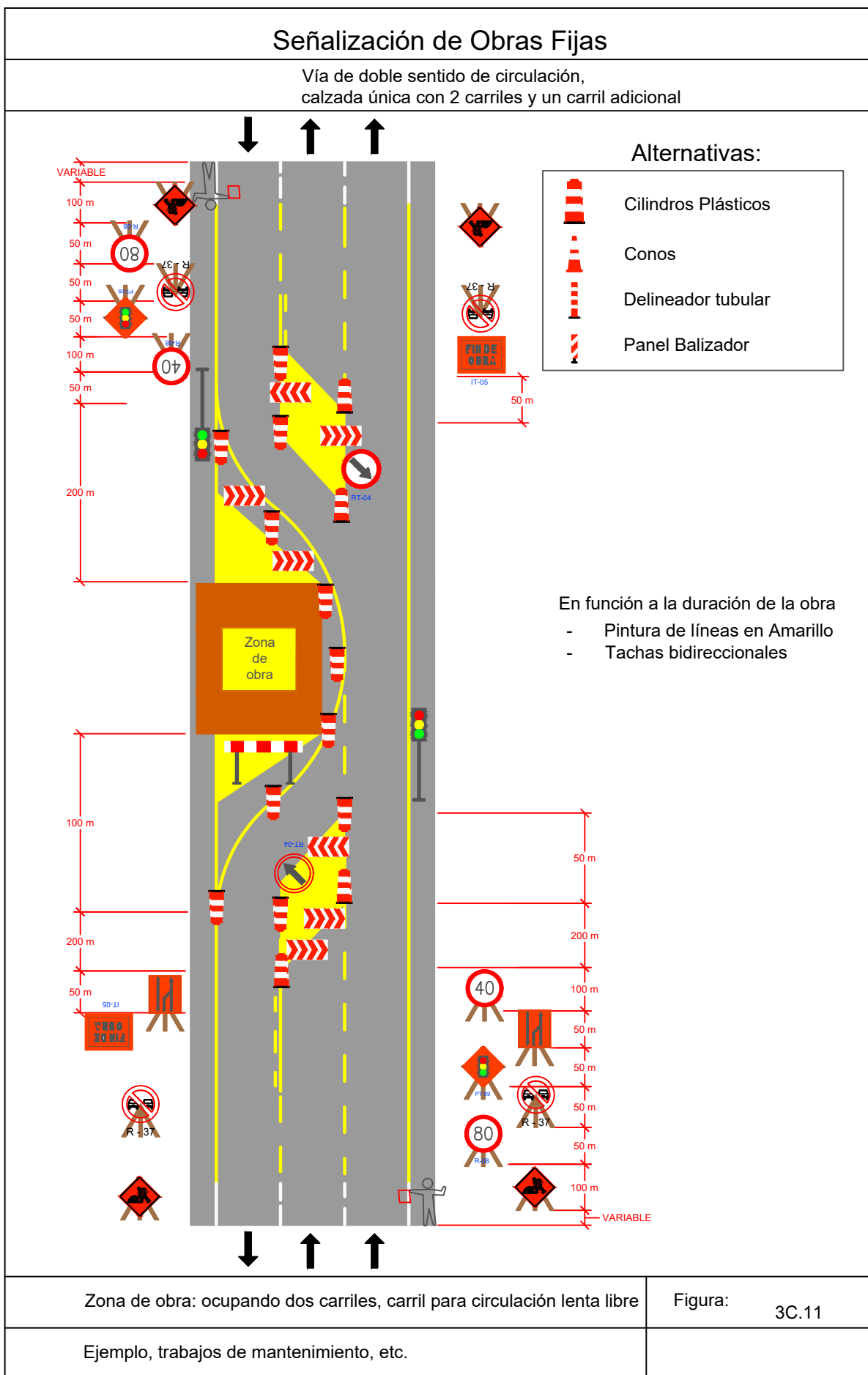


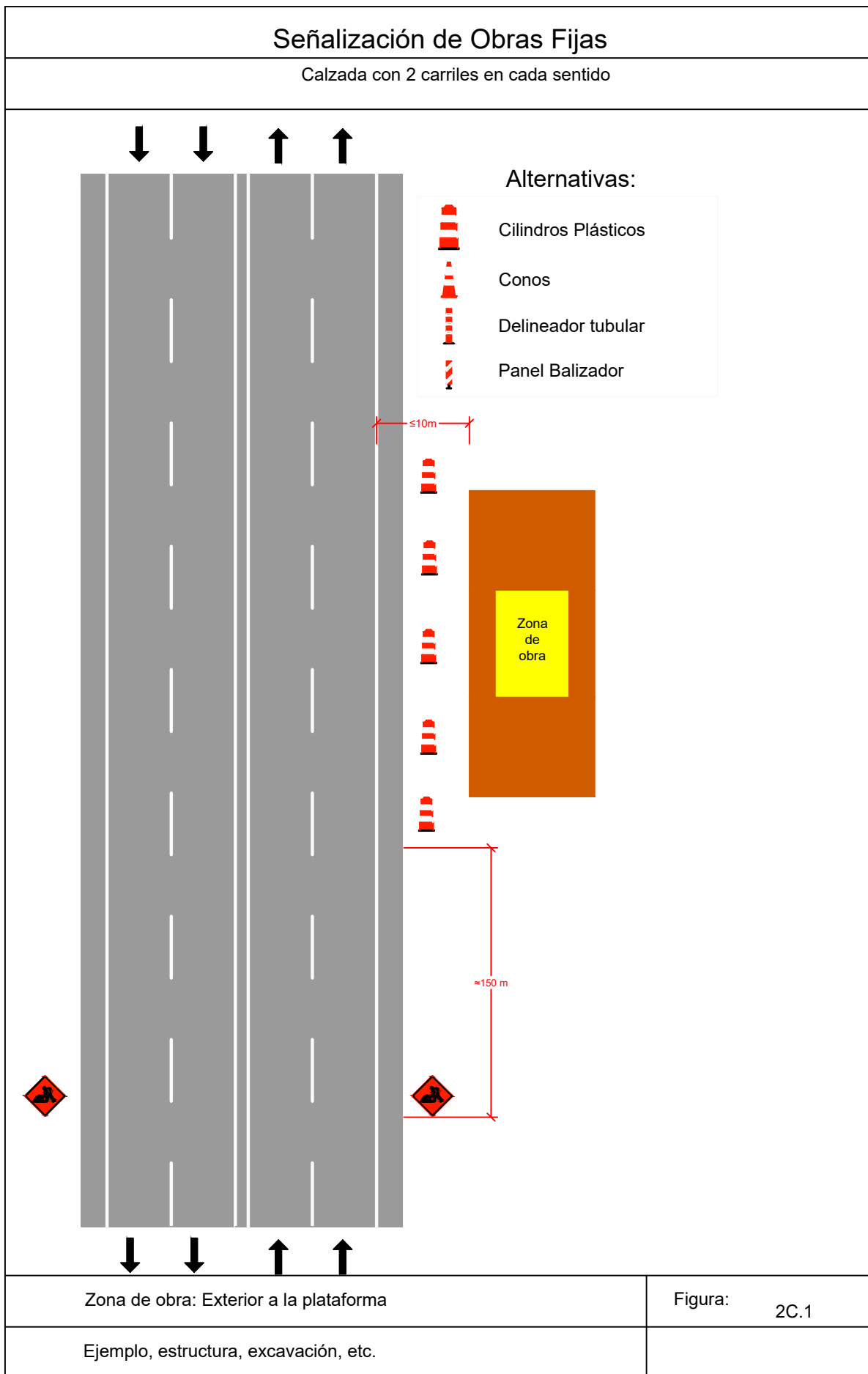






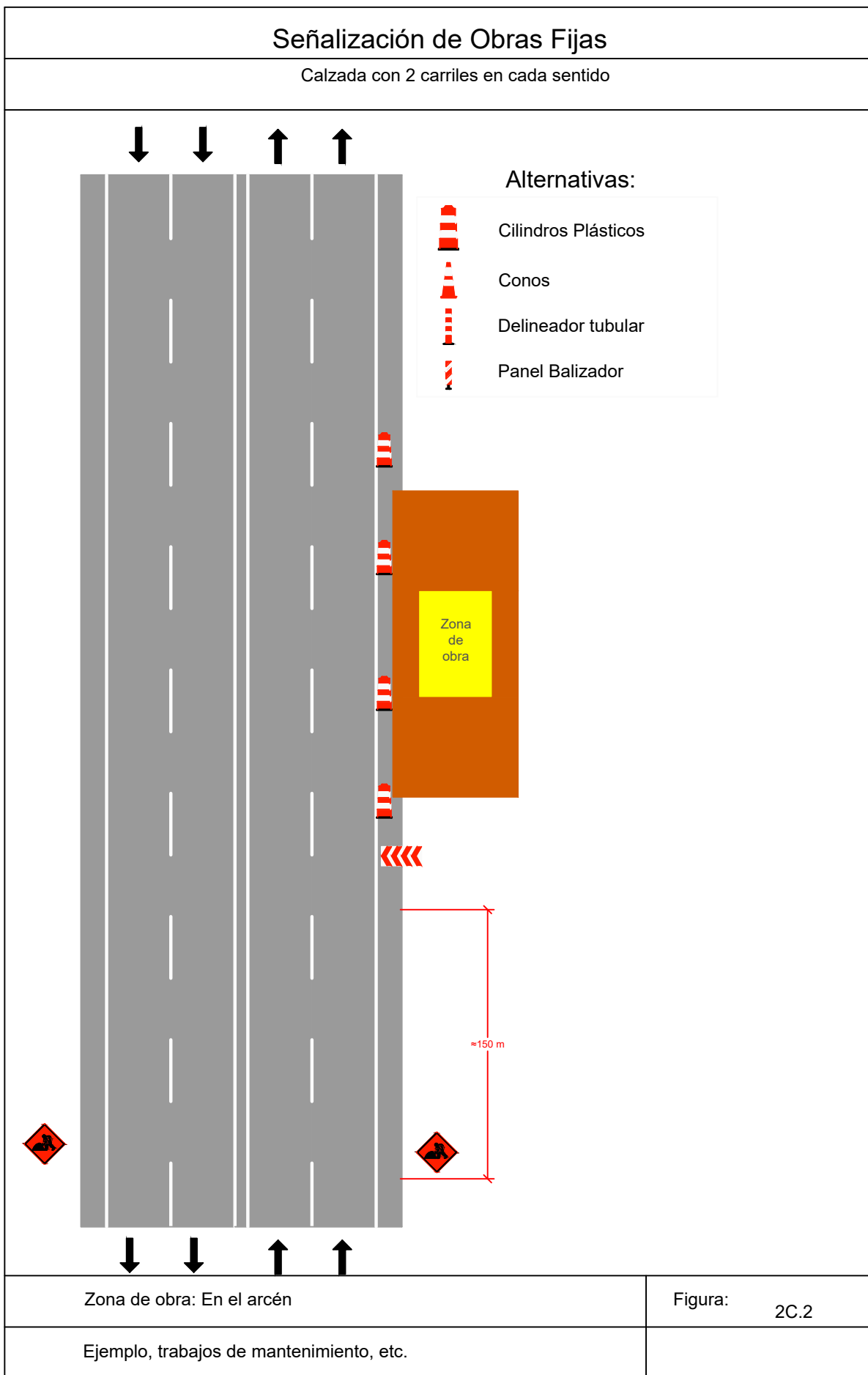


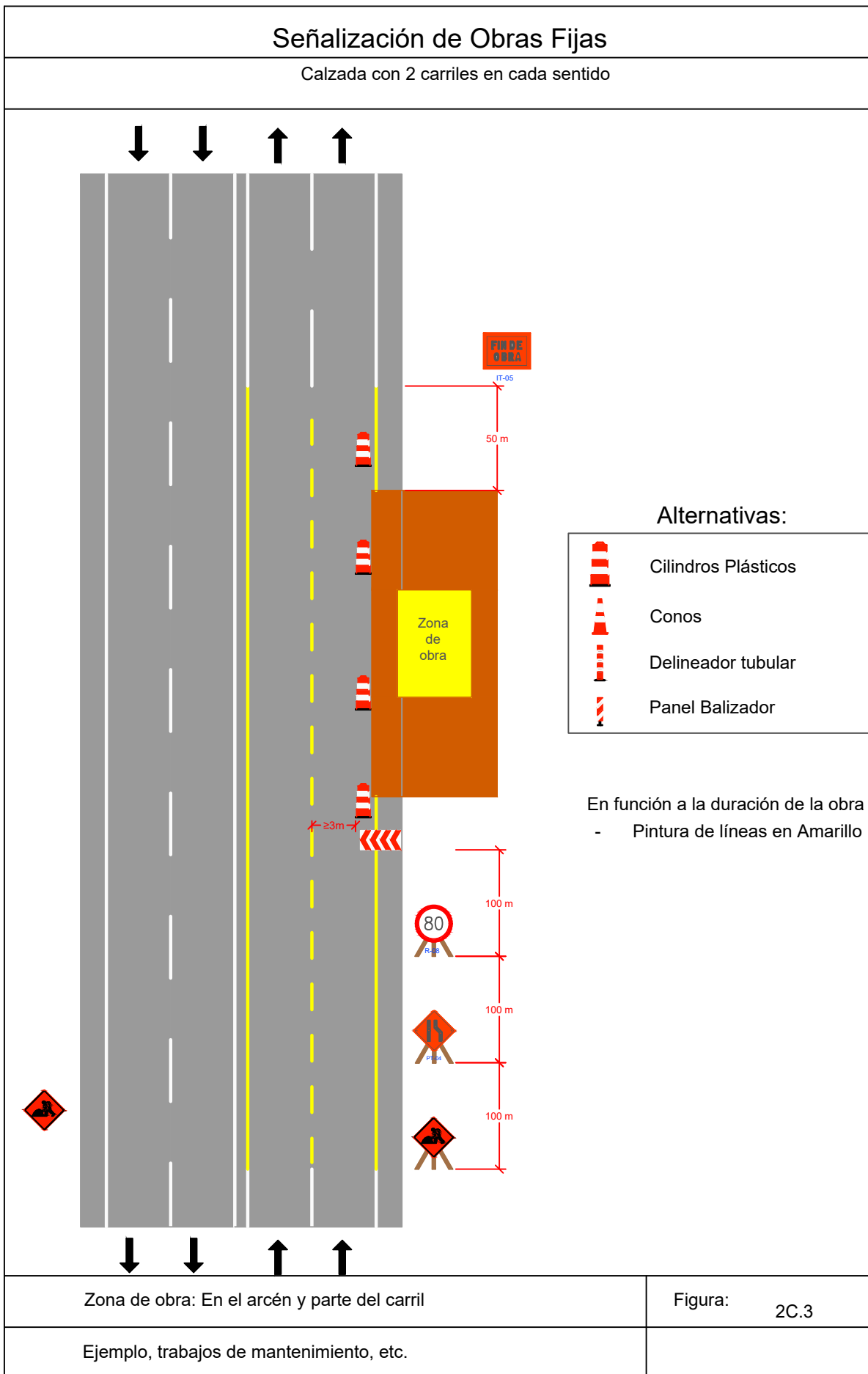


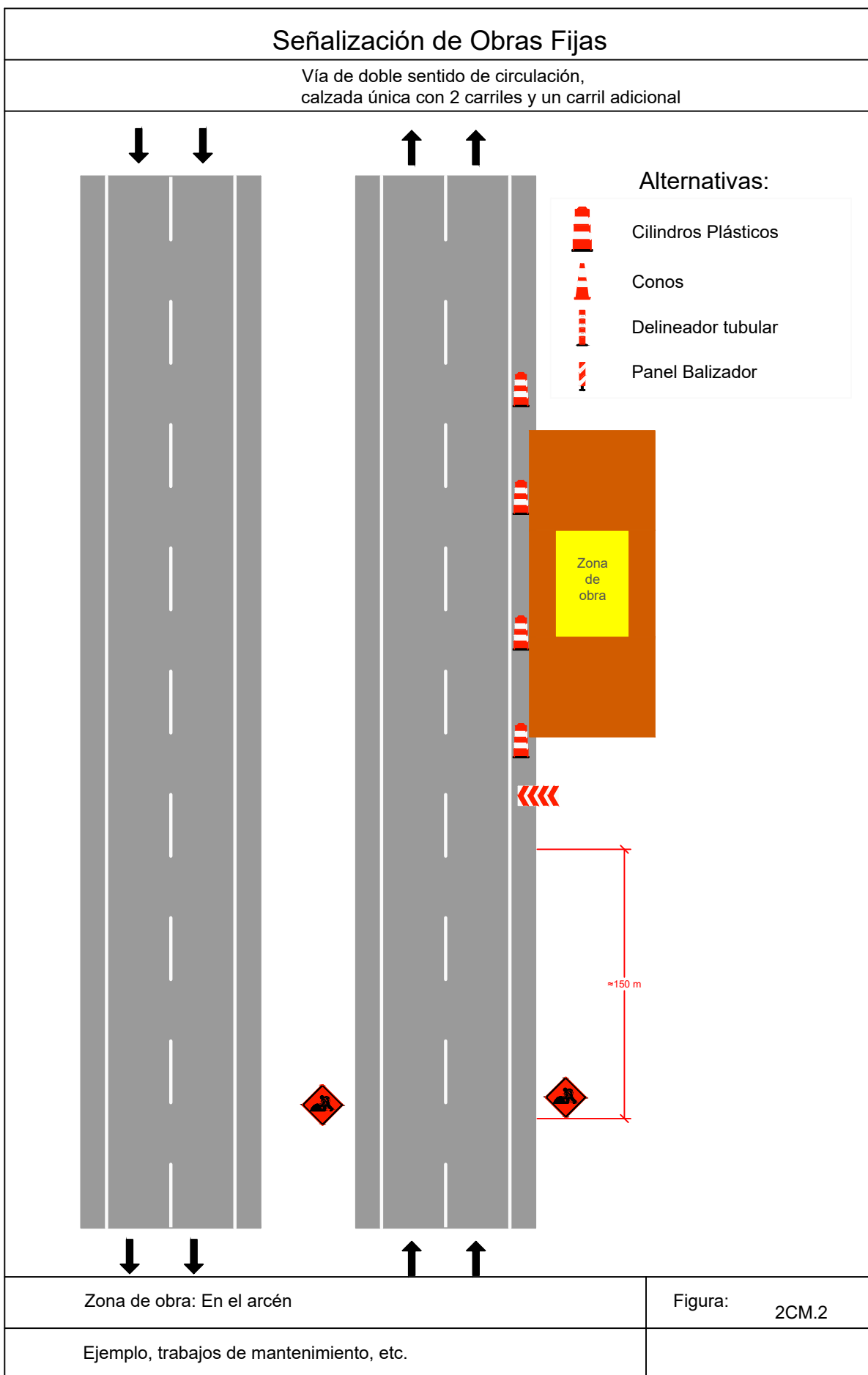


Alternativas:

- Cilindros Plásticos
- Conos
- Delineador tubular
- Panel Balizador







SECCION 3.3.3.3.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES

3.3.3.3.1. GENERALIDADES

Este capítulo tiene por objeto establecer las guías básicas a seguir durante el suministro, almacenamiento, transporte, instalación y/o ejecución de señales verticales y horizontales de tránsito, y sistemas de semaforización, conforme se establezca en los planos del Proyecto o lo indique el Ingeniero. El diseño de las señales, los mensajes y los colores, deberán estar de acuerdo con lo estipulado en la presente Guía y las normas que la complementen o sustituyan.

Los requerimientos y especificaciones indicados en el presente capítulo son de carácter normativo, estableciendo las características mínimas de los elementos a construir, instalar y/o ejecutar.

Del mismo modo, las figuras tipo corresponden a lineamientos generales, siendo deber del proyectista definir y respaldar con las memorias de cálculo respectivas las diferencias entre las estructuras presentadas en las láminas tipo y las estructuras que efectivamente serán construidas. Estas diferencias típicamente corresponderán a modificaciones del diseño debidas a las características del suelo de fundación, cargas de viento y a la geometría de la estructura.

El presente capítulo abarca los temas básicos de una Especificación Técnica General, es decir:

- Descripción: Donde se establece el alcance y se realiza una definición de los trabajos incluidos en la especificación técnica, detallando qué ítems de obra están comprendidos en ella.
- Materiales: Se realiza la descripción de los materiales a utilizar, haciendo referencia a las normas aplicables para el control de calidad y aceptación para su uso en la obra.
- Equipo: Se establecen las características generales y condiciones mínimas aceptables de los equipos principales a utilizar para la ejecución de los trabajos incluidos en la especificación técnica.
- Ejecución: Se realiza una descripción detallada de los métodos constructivos que se deberán aplicar para la ejecución de los trabajos incluidos en la especificación técnica.
- Control por el Ingeniero: Es una descripción de las tareas de verificación de calidad de los trabajos en obra, que deben ser cumplidas por el Ingeniero (Fiscal), con el fin de proceder a su aceptación o rechazo.
- Medición: Es una descripción detallada del método de medición a aplicar con el fin de determinar las cantidades aceptadas y las tolerancias mínimas exigibles para cada ítem de obra incluido en la especificación técnica.
- Pago: Se realiza una descripción del método que se aplicará y de todos los rubros incluidos en el precio unitario para el pago de los ítems que comprende la especificación técnica.

Una vez definidas las especificaciones técnicas de señalización horizontal y vertical, y sistemas de semaforización, se recomiendan los ítems de obra a considerar para la ejecución del presupuesto, indicando la unidad de medida a utilizar.

El proyectista podrá incorporar en el presupuesto de ejecución otros ítems de obra que considere necesarios, siempre que se ajusten a las descripciones, materiales, métodos de ejecución, medición y pago establecidos en la presente Guía. En caso necesario, podrá redactar Especificaciones Técnicas Especiales que abarquen aquellos ítems de obra no contenidos en el presente capítulo.

En la última parte de esta sección, se trata el tema de Mantenimiento y Conservación, agrupando estas actividades en Limpieza, Reacondicionamiento y Reemplazo.

3.3.3.3.2. SEÑALES VERTICALES

A. DESCRIPCIÓN

Abarca la provisión e instalación de señalización caminera del tipo vertical lateral, aérea (vertical sobre la calzada) y las señales de canalización y balizamiento, incluyendo los postes de sustentación de las primeras, y todos los elementos accesorios requeridos.

A.1. Señales Verticales Laterales

Son los dispositivos de seguridad instalados a un costado de la vía con el fin de proporcionar, a los conductores, información preventiva, reglamentaria o de interés general (servicios, sitios turísticos, información geográfica y otros).

Estos dispositivos están constituidos por varios elementos, a saber:

- Placa(s).
- Poste(s).
- Pernos.
- Hormigón.

A.2. Señales Verticales Aéreas

Son los dispositivos de seguridad instalados algunos metros encima de la vía con el fin de proporcionar, a los conductores, información preventiva, reglamentaria o de interés general (servicios, sitios turísticos, información geográfica y otros).

Estos dispositivos están constituidos por varios elementos, a saber:

- Placa(s).
- Estructura(s).
- Acero estructural de refuerzo para hormigones.
- Galvanizado y pintura de estructuras.
- Pernos.

A.3. Señales Verticales de Canalización y Balizamiento

Son los dispositivos de seguridad instalados algunos metros encima de la vía con el fin de proporcionar, a los conductores, información preventiva, reglamentaria o de interés general (servicios, sitios turísticos, información geográfica y otros).

Estos dispositivos están constituidos por varios elementos, a saber:

- Placa(s).
- Poste(s).
- Pernos.
- Hormigón.

A.4. Figuras Tipo

A continuación, se presentan Figuras tipo con indicaciones y referencias para la construcción y diseño de señales y Estructuras Tipo Marco y Bandera. Las estructuras presentadas son referenciales y tienen como objetivo servir de guía para el diseño de las estructuras definitivas.

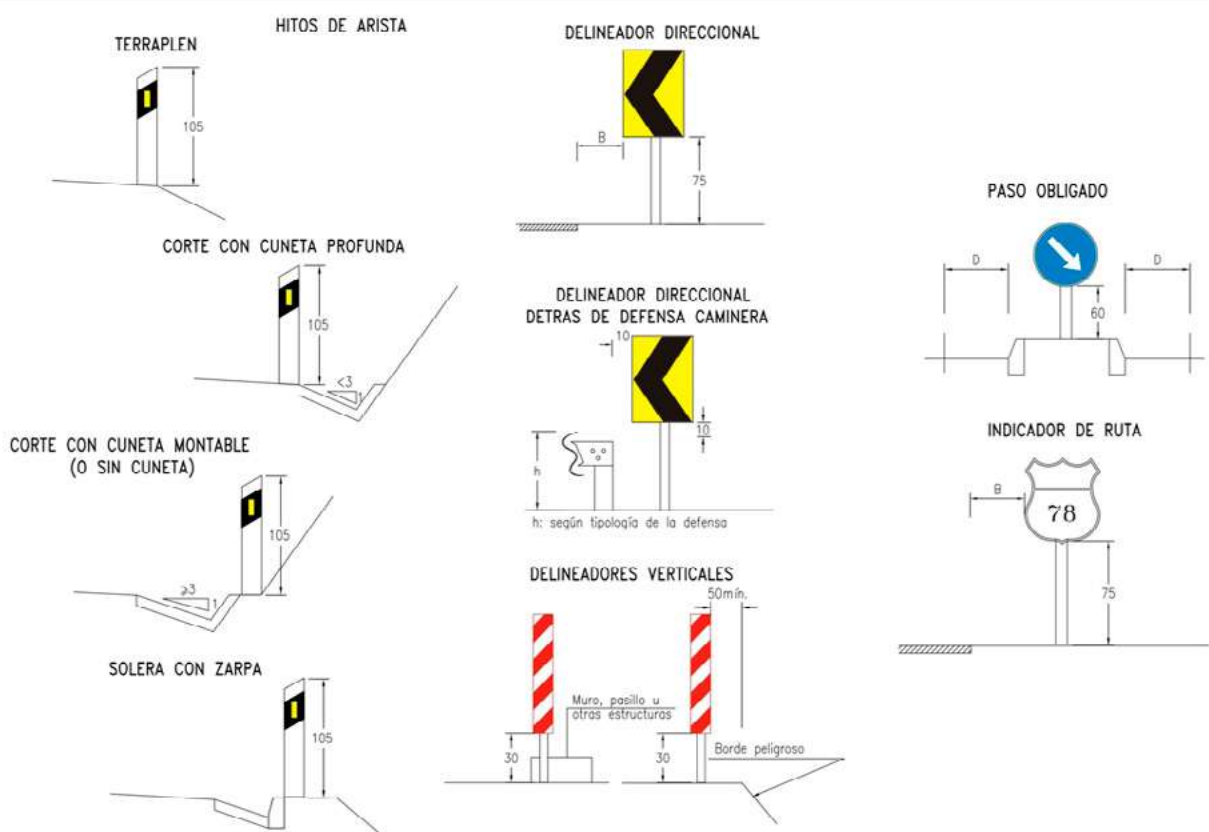


Figura 3.3.3_17. CONSTRUCCIÓN DE SEÑALES VERTICALES

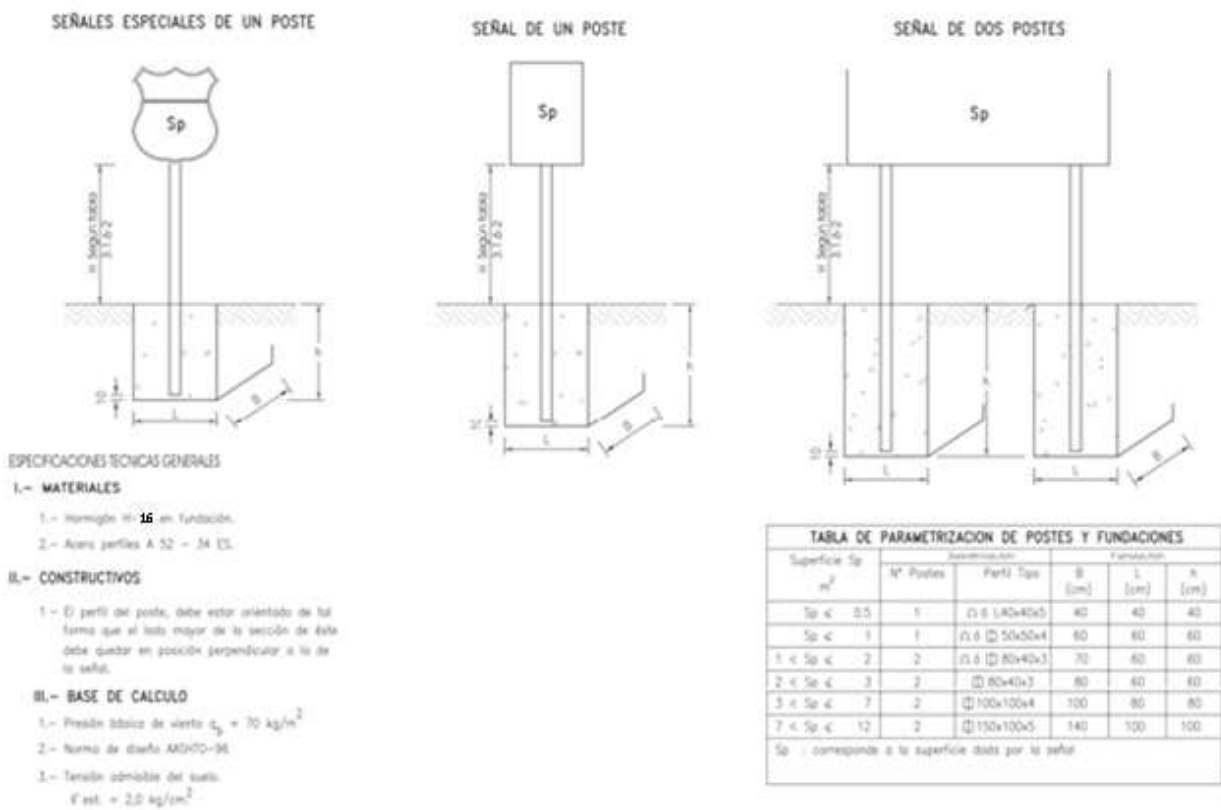


Figura 3.3.3_18. FUNDACIÓN DE SEÑALES VERTICALES

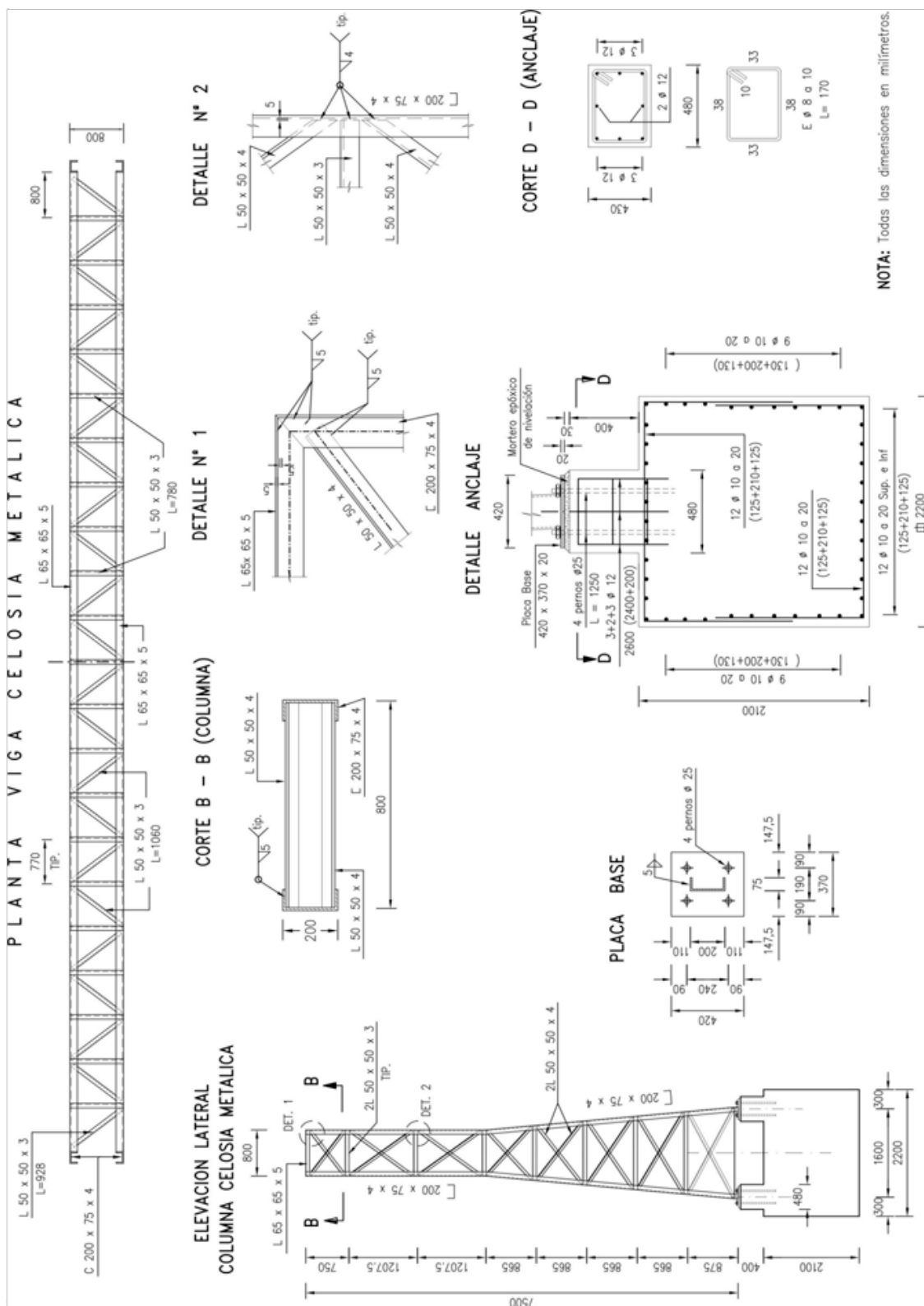
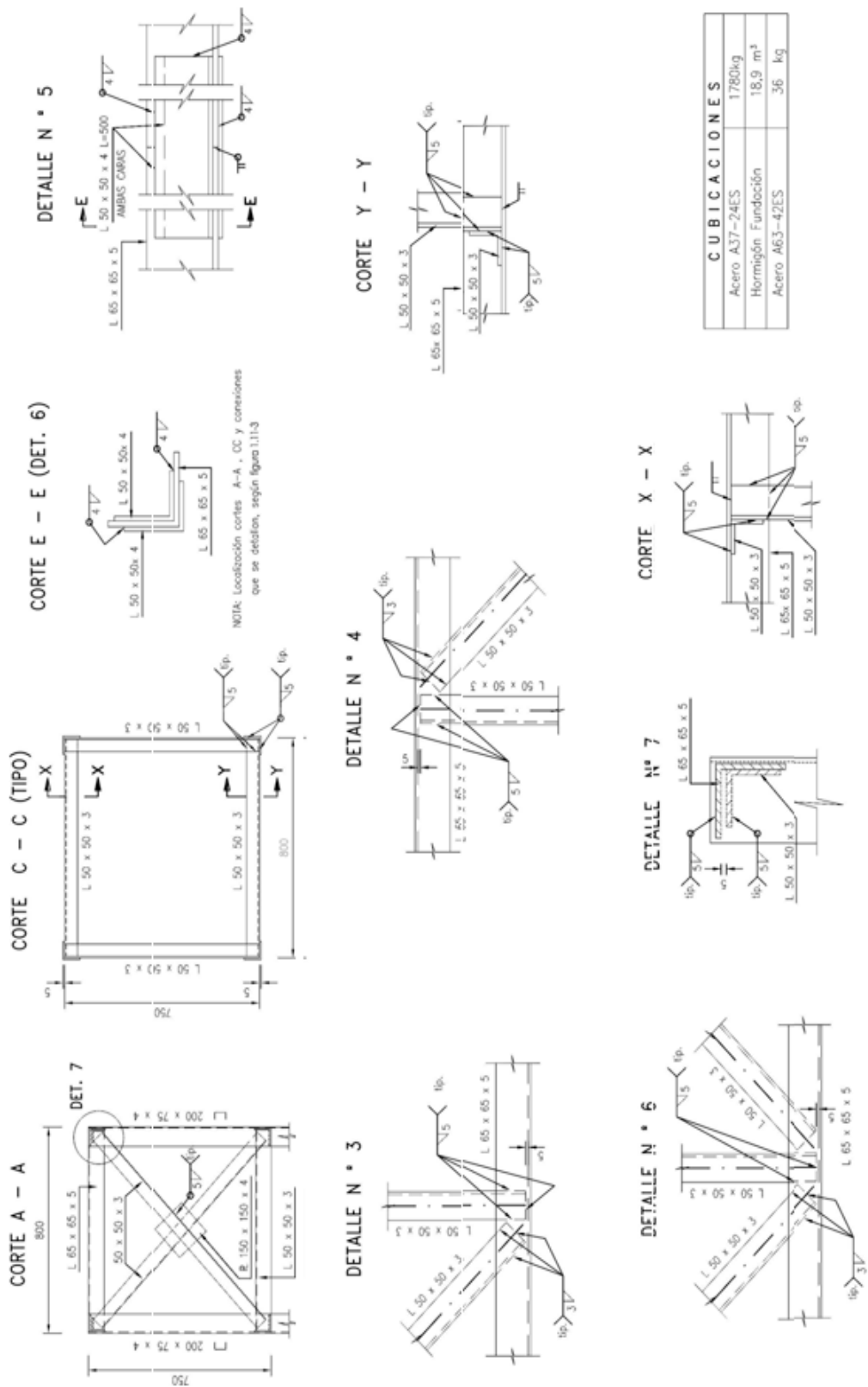


Figura 3.3.3_20. ESTRUCTURA TIPO MARCO PORTA SEÑALES (CONTINUACIÓN)



Nota.- Todas las dimensiones en milímetros.

Figura 3.3.3_21. ESTRUCTURA TIPO MARCO PORTA SEÑALES (CONTINUACIÓN)

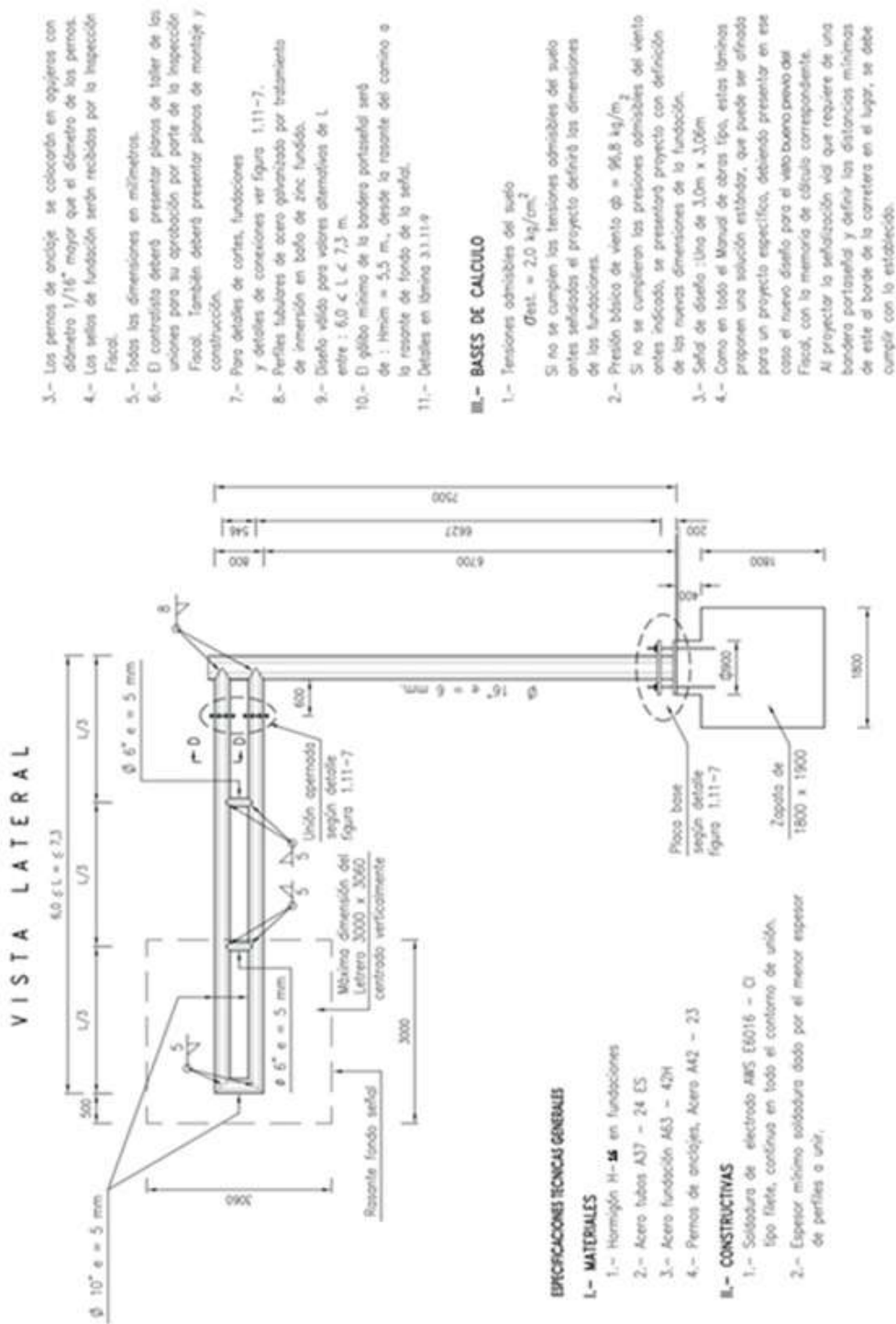


Figura 3.3.3_22. ESTRUCTURA TIPO BANDERA O MÉNSULA

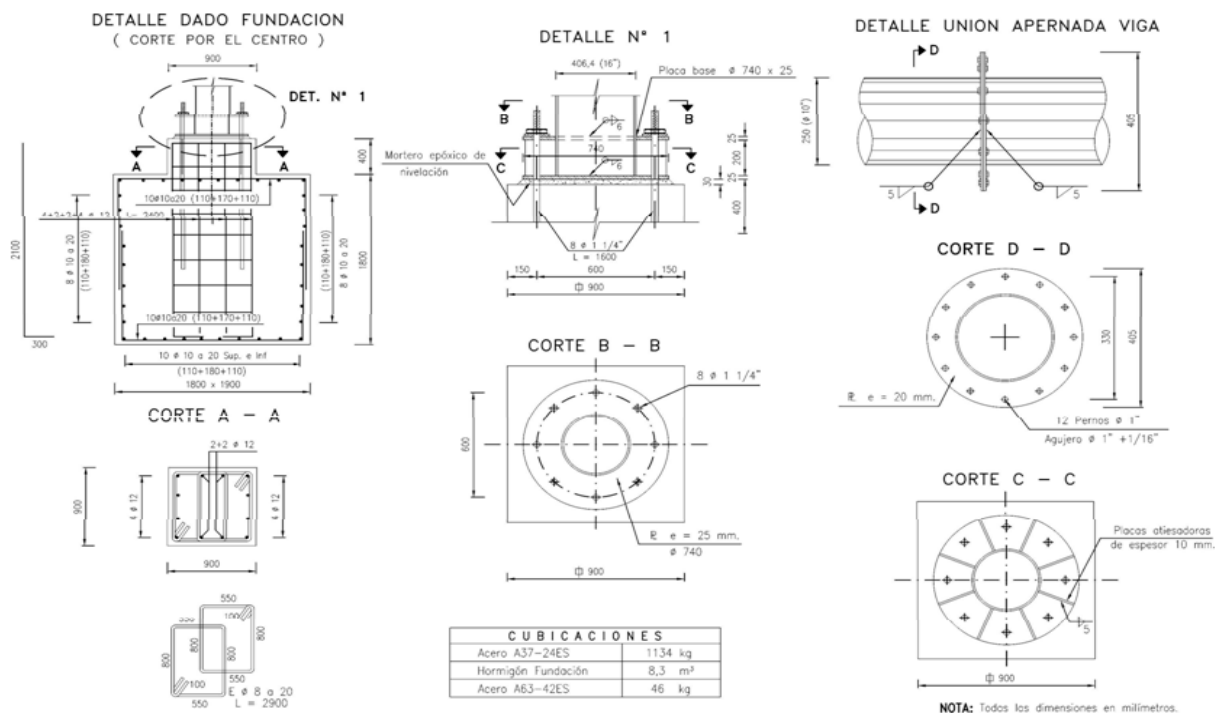


Figura 3.3.3_23. ESTRUCTURA TIPO BANDERA O MÉNSULA (CONTINUACIÓN)

B. MATERIALES

B.1. Material reflectivo

El material reflectivo para las señales verticales, delineadores y demás dispositivos citados en la presente Guía, deberán cumplir con las especificaciones contenidas en este documento. Las entidades contratantes deberán exigir a los fabricantes de las señales las certificaciones de cumplimiento de esta norma, la cual deberá ser expedida por el proveedor del material. Las señales verticales contenidas en esta Guía deberán elaborarse en lámina reflectiva Tipo I o de características superiores.

B.1.1. Láminas Reflectivas (Lentes Insertados)

- (1) Generalidades.- La lámina reflectiva debe conformar la especificación AASHTO M 268, Tipo I. Deberá consistir de microesferas de vidrio dentro de una lámina de plástico transparente con una superficie exterior plana y suave. Deberá proveer protección contra la intemperie con una capa prefabricada de producto adhesivo en su cara posterior.
- (2) Características fotométricas.- La lámina reflectiva deberá tener los siguientes valores de coeficientes mínimos de retrorreflexión (R_A) establecidos en ángulos de observación de 0,2°, 0,5° y 2,0°, expresados en $cd/lx \cdot m^2$. La medición será acorde con ASTM E 810. El coeficiente de retrorreflexión de la lámina reflectiva, totalmente mojada por agua de lluvia, no deberá ser menor de 80% de los valores expuestos en la tabla siguiente.

Tabla 3.3.3_8. VALORES MÍNIMOS DEL COEFICIENTE DE RETRORREFLEXIÓN (R_A) DE LÁMINA REFLECTIVA ($cd/lx-m^2$)

ÁNGULO		COLOR						
ENTRADA	OBSERVACIÓN	BLANCO	AMARILLO	VERDE	ROJO	AZUL	CAFÉ	ANARANJADO
-4°	0,2°	70,0	50,0	9,0	14,5	4,0	1,0	25,0
30°	0,2°	30,0	22,0	3,5	6,0	1,7	0,3	7,0
-4°	0,5°	30,0	25,0	4,5	7,5	2,0	0,3	13,5
30°	0,5°	15,0	13,0	2,2	3,0	0,8	0,2	4,0
-4°	2,0°	1,7	1,2	0,2	0,3	0,1	0,02	0,6
30°	2,0°	1,4	1,0	0,14	0,2	0,08	0,02	0,5

(3) Color.- La aceptabilidad del color diurno difuso de la lámina reflectiva será determinada por el Ingeniero por comparación con las muestras de color estándar.

(4) Adhesivo.- Debe adherir la lámina reflectiva con un adhesivo prefabricado resistente al moho y al vandalismo, y que no tenga un efecto de manchado en la lámina reflectiva.

(5) Película.-

- i. Generalidades.- La lámina reflectiva será lo suficientemente flexible para ser fácilmente cortada en siluetas claras. Acondicionada por 48 horas, la tensión admisible de la lámina deberá ser de 90 a 355 kg/m (5 a 20 lb/pulg) de ancho cuando sea ensayada de acuerdo con ASTM D 828. Cuando se remueva una lámina pegada de forma cuadrada de 230 mm (9"), la lámina reflectiva no deberá deformarse en cualquier dimensión más de 1 mm (1/32") en 10 minutos, ni más de 3 mm (1/8") en 24 horas a 23°C (75°F), y humedad relativa de 50%.

Cuando la lámina se aplica de acuerdo a las recomendaciones del fabricante sobre una superficie de aluminio de 50 x 200 x 0,5 mm (2" x 8" x 0,20"), limpia y aplicada con aguafuerte, acondicionada por 24 horas y ensayada a una temperatura de 22°C (72°F) y humedad relativa de 50%, debe ser lo suficientemente flexible para no presentar roturas o agrietamientos cuando se doble alrededor de un mandril de 19 mm (3/4").

Si es requerido para su aplicación, la lámina puede ser pre-perforada con agujeros de diámetro no mayor a 0,5 mm (0,02"). Las perforaciones deberán estar separadas aproximadamente 10 mm (0,4") en filas con separación de 40 mm (1,5").

- ii. Superficie.- La lámina debe ser suave y plana para facilitar su limpieza y rendimiento cuando está mojada y deberá tener un coeficiente de brillo a 85° no menor a 40 (ASTM D 523). La superficie de la lámina deberá estar procesada adecuadamente y ser compatible con los procesos de transparencia y opacidad de tintas de color y no deberá mostrar pérdida de la capa de color cuando es sometida a manipuleo normal, cortado y aplicación.

La lámina permitirá el cortado y el procesamiento de color a temperaturas de 15°C a 37°C (60°F a 100°F) y humedades relativas de 20% a 80%. La lámina será resistente al calor y permitirá curado forzado sin oxidarse a temperaturas de hasta 65°C (150°F) en lámina no aplicada, y de hasta 93°C (200°F) en lámina aplicada. La lámina se limpiará de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. El procesamiento de colores y el adhesivo no mostrarán daños cuando la limpieza de la cara de la señal sea realizada de acuerdo a los estándares industriales vigentes.

La lámina y el adhesivo utilizados deberán ser compatibles con las leyendas permanentes recortadas.

- iii. Elementos de las lentes.- La lámina reflectiva contendrá microesferas de vidrio estable y durables.

(6) Durabilidad.- Se procesará y aplicará de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. El material reflectivo deberá ser resistente a la intemperización, y después de limpiarla deberá mostrar lo siguiente:

- Ninguna decoloración, rotura, agrietamiento, ampollamiento o cambio dimensional, y
- No menor del 80% del valor del coeficiente de retrorreflexión (R_A) cuando es sometida a una intemperización acelerada durante 1200 horas de acuerdo con el ensayo ASTM G 26 (Método 1, cámara estándar 50% a 60% de humedad relativa, 62°C (145°F) a temperatura de panel negro).

Deberá ser posible reacondicionar la superficie de la lámina mediante limpieza y despejado de la capa de suciedad de encima de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

(7) Aceptación.- Se deberá proporcionar un certificado de calidad de acuerdo con métodos aprobados de ensayos de materiales en el sitio de la obra o con métodos aprobados de ensayos de materiales fuera de la obra, certificando que todas las láminas reflectivas cumplen con los requerimientos expuestos más arriba, a excepción de la certificación para el color Anaranjado, que será exigida sólo a través de requerimiento específico.

B.1.2. Láminas No Reflectivas para el fondo de Señales

(1) Generalidades.- La lámina no reflectiva debe ser durable, resistente a la intemperización, construida una película plástica brillante, y deberá tener la cara posterior protegida con adhesivo prefabricado.

(2) Color.- El color de la lámina no reflectiva deberá conformar la especificación de la Tabla 3.3.3_14. Para ensayos se proporcionará una muestra de 100 x 100 mm (4" x 4") para cada color de la lámina de fondo no reflectiva.

(3) Adhesivo.- La lámina no reflectiva se pegará con un adhesivo prefabricado resistente al intemperismo y al moho, que no tenga efecto de manchado en la lámina.

(4) Película:

- i. Generalidades.- La lámina reflectiva será lo suficientemente flexible para ser fácilmente cortada en siluetas claras. La tensión admisible mínima de la lámina deberá ser de 89 kg/m (5 lb/pulg) de ancho.
- ii. Superficie.- La superficie de la lámina deberá ser suave y plana, para facilitar su limpieza y rendimiento cuando está mojada. La superficie de la lámina deberá estar procesada adecuadamente y ser compatible los procesos de transparencia y opacidad de tintas de color.

La lámina permitirá el cortado y el procesamiento de color a temperatura mínima de 15°C (60°F) y humedades relativas de 20% a 80%. La lámina será resistente al calor

y permitirá curado forzado sin mancharse a temperaturas de hasta 65°C (150°F). La lámina deberá ser resistente a líquidos disolventes. Será limpiada de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

- (5) Durabilidad.- Se procesará y aplicará de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. El material debe ser resistente a la intemperización, y después de ser limpiada no deberá presentar decoloración, roturas, agrietamiento, ampollamiento o cambio dimensional.

Deberá ser posible reacondicionar la superficie de la lámina cuando se limpie y despeje la capa de suciedad de encima de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

- (6) Terminación.- la capa final de terminación aplicada en la cara de las señales debe ser compatible con las láminas y deberá conformar las recomendaciones del fabricante.
- (7) Aceptación.- Se proporcionará un certificado de calidad de acuerdo con métodos aprobados de ensayos de materiales en el sitio de la obra o con métodos aprobados de ensayos de materiales fuera de la obra, certificando que la lámina no reflectiva cumple con los requerimientos arriba expuestos.

B.1.3. Lámina Reflectiva (Lentes Encapsulados)

- (1) Generalidades.- La lámina reflectiva deberá conformar la especificación AASHTO M 268, Tipo III y deberá ser de calidad aprobada por el Contratante. Consistirá de lentes constituidos por microesferas o microprismas adheridos a una resina sintética y encapsulados por una película de plástico flexible transparente que tenga una superficie exterior suave. La lámina deberá tener la superficie posterior recubierta con una capa de adhesivo prefabricada.

- (2) Muestreo y Ensayos de Aceptación:

- i. Muestreo.- Se proporcionarán al Ingeniero muestras de las letras de cada tamaño de leyenda removible utilizada en el proyecto para ser ensayadas. El número de muestras a proporcionar deberá ser igual al 5% de las letras de cada tamaño o un mínimo de 2 letras de cada tamaño de las leyendas removibles. Se proporcionará un mínimo de dos muestras de cada tamaño del material de borde utilizado en el proyecto. Las letras enviadas deberán ser parte de las letras utilizadas en las señales del proyecto.
- ii. Ensayos.- Se deberán sustituir las letras de muestras con letras utilizadas en las señales del proyecto. El Ingeniero ensayará las letras removidas de las señales de acuerdo con AASHTO M 268. La falla de una letra o de muestra de borde significarán el rechazo de la señal de donde provinieron. Si una señal es rechazada, el Ingeniero podrá requerir el ensayo de las señales restantes del proyecto que contengan leyendas removibles. Si se requieren ensayos adicionales, el Ingeniero especificará qué letras deberán ser ensayadas en cada señal. No más de dos letras de cada tamaño de leyendas removibles serán ensayadas en cada señal. Se proporcionarán las letras adicionales al Contratante a costo y cuenta del Contratista.

- (3) Certificación de Calidad.- La lámina reflectiva deberá portar una certificación de calidad del fabricante.

B.1.4. Lámina Retroreflectiva (Microprismas, de ángulo amplio)

- (1) Generalidades.- La lámina retroreflectiva para caras de señales o para señales terminadas deberá tener una superficie suave con un patrón distintivo de diamantes entrelazados y marcas de orientación visibles en la superficie. La lámina contará con un adhesivo prefabricado sensible a la presión, protegido por una lámina removible. El adhesivo no requerirá de calentamiento para pegarse adecuadamente cuando la lámina sea aplicada de acuerdo a las recomendaciones del fabricante a sustratos con temperatura de 18°C (65°F) o superior. La lámina retroreflectiva (microprismas, de ángulo amplio) deberá ser de uno de los tipos siguientes como se muestra o específica a continuación.
- i. Tipo A.- La lámina Tipo A, es un material retroreflectante de ángulo amplio con rendimiento optimizado en un amplio rango de ángulos de observación. Su aplicación normal es para señales montadas al lado de la plataforma vial.
 - ii. Tipo B.- La lámina Tipo B, es un material retroreflectivo con rendimiento optimizado para pequeños ángulos de observación y rendimiento extendido de ángulos de entrada. Su aplicación normal es para señales ubicadas encima de la plataforma vial (señales aéreas).
- (2) Muestreo y Ensayos de Aceptación.- Se recomienda que los siguientes documentos referentes a los asuntos vigentes a la fecha del proyecto formen parte de esta especificación en la extensión especificada a continuación:
- i. Estándares de la ASTM:
 - a. B-117 Ensayo del método del chorro de sal (niebla).
 - b. B-209/B 209 M Especificación para placas de Aluminio y Aleación de Aluminio.
 - c. D-523 Método estándar para el ensayo de Brillo Especular.
 - d. E-284 Definiciones estándar de términos relacionados a la apariencia de los materiales.
 - e. E-308 Proceso del color de los objetos con el uso del Sistema CIE.
 - f. E-810 Método estándar para el Coeficiente de Retroreflexión (R_A) de láminas retroreflectivas.
 - g. E-1164 Práctica estandarizada para la obtención de datos espectrofotométricos para la Evaluación de Colores de Objetos.
 - ii. Publicaciones del CIE.- Publicación del CIE Número 39-2: Recomendaciones para Colores de Superficie para Señalización Visual.
 - iii. Métodos de Ensayo:
 - a. Condiciones de ensayo.- A menos que sea especificado de otra manera, las muestras aplicadas y sin aplicar deberán estar acondicionadas a los siguientes valores estándar:
 - 23°C ± 2°C (73°F ± 3°F), y
 - 50% ± 5% de humedad relativa antes del ensayo.

b. Paneles de ensayo.- A menos que sea especificado de otra manera, cuando los ensayos sean realizados en paneles de ensayo, se aplicarán las muestras de material retrorreflectivo a láminas de aluminio cortado de material acorde con ASTM B-209/B 209M, aleación 5052-H36, 5158-H38 o 6061-T6, en los siguientes espesores:

- 0,51 mm (0,020”).
- 1,02 mm (0,040”).
- 1,60 mm (0,063”).

El aluminio se desengrasará y se limpiará con aguafuerte ligeramente ácida, antes que las muestras sean aplicadas a los paneles de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

(3) Características fotométricas.- La lámina retrorreflectiva cumplirá los siguientes límites de colores diurnos.

Tabla 3.3.3_9. COORDENADAS DE COLORES DIURNOS PARA LÁMINAS REFLECTIVAS Y RETRO-REFLECTIVAS

COLOR(*)	1		2		3		4	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
BLANCO	0,305	0,305	0,355	0,355	0,225	0,375	0,285	0,325
AMARILLO	0,487	0,423	0,545	0,454	0,465	0,534	0,427	0,483
ROJO	0,690	0,310	0,595	0,315	0,569	0,341	0,655	0,345
AZUL	0,078	0,171	0,150	0,220	0,210	0,160	0,137	0,038
VERDE	0,030	0,398	0,166	0,364	0,286	0,446	0,201	0,794
ANARANJADO (NUEVO O EN USO)	0,583	0,416	0,523	0,397	0,560	0,360	0,631	0,369

Nota.- La lámina Tipo I puede no estar disponible en color rojo.

Tabla 3.3.3_10. LÍMITE DE REFLECTANCIA Y%

COLOR	Y%	
	MÍNIMO	MÁXIMO
BLANCO	40	-
AMARILLO	24	45
ROJO	3	15
AZUL	1	10
VERDE	3	9
ANARANJA- DO (NUEVO)	30	-
ANARANJA- DO (EN USO)	20	45

(*) Los cuatro pares de coordenadas cromáticas determinan el color aceptable en términos del sistema colorimétrico estándar del CIE 1931 medido con iluminación estándar D65.

Tabla 3.3.3_11. FACTOR MÁXIMO DE RADIACIÓN ESPECTRAL

SEÑAL	VALOR
NUEVA	110% min.
EN USO	60% mín.

- i. Ensayo de Color.- Se determinará la conformidad con los requerimientos de color con método instrumental de acuerdo a ASTM E 1164 en lámina aplicada en paneles de prueba acondicionados como se indica en numeral B.1.4. (2).iii. Se realizarán los cálculos de acuerdo con ASTM E 308 para el 2° observador.
- ii. Coeficiente de Retrorreflexión (R_A).- El coeficiente de retrorreflexión (R_A) no deberá ser menor que los valores mínimos establecidos en la Tabla 3.3.3_17 (lámina Tipo A), Tabla 3.3.3_18 y Tabla 3.3.3_19 (lámina Tipo B). Realizar el ensayo de acuerdo con ASTM E 810, excepto que en las Tablas 3.3.3_17 y 3.3.3_18 debe conseguirse con orientaciones de 0° y 90° sin promediar, y los valores de la Tabla 3.3.3_19 deben ser conseguidos utilizando sólo la orientación de 45°.
 - Los coeficientes de retrorreflexión (R_A) deberán especificarse en unidades de candelas por lux por metro cuadrado (cd/lx-m²).
 - Los ángulos de observación deberán ser de 0,2° y 0,5°. El Tipo A deberá ser medido también con ángulos de observación de 0,33° y 1,0°.
 - Para medición, la marca de nivel (flecha de orientación) debe ser posicionada horizontalmente para la orientación 0° y verticalmente para la orientación (preferida) de 90°.
 - Para áreas de color transparente pintado en lámina blanca, las razones entre el valor de R_A para el blanco al R_A para el color, cuando sean medidas con ángulo de observación de 0,2°, ángulo de entrada de 4° y orientación 0°, deberán variar entre 5:1 a 15:1 para el color rojo y no menores a 5:1 para los colores verde y azul, cuando sean procesados de acuerdo a las recomendaciones del fabricante de las láminas.

Tabla 3.3.3_12. Láminas Tipo A. Coeficiente Mínimo de Retrorreflexión (R_A) (cd/lx-m²) (Orientación de 0° y 90°)

ÁNGULO		COLOR			
ENTRADA	OBSERVACIÓN	BLANCO	AMARILLO	VERDE	AZUL
-4°	0,2°	430	350	45	20
30°	0,2°	235	190	24	11
40°	0,2°	150	125	15	6
-4°	0,33°	300	250	33	15
30°	0,33°	150	130	18	7
40°	0,33°	85	75	8	4
-4°	0,5°	250	200	25	10
30°	0,5°	170	140	19	7
40°	0,5°	35	30	3,5	1,5
-4°	1,0°	80	65	10	4
30°	1,0°	50	40	5	2,5
40°	1,0°	20	17	2	0,7

Tabla 3.3.3_13. Láminas Tipo B. Coeficiente Mínimo de Retroreflexión (R_{λ})(cd/lx-m²) (Orientación de 0° y 90°)

ÁNGULO		COLOR					
ENTRADA(*)	OBSERVACIÓN(*)	BLANCO	AMARILLO	ROJO	VERDE	AZUL	ANARANJADO FLUORESCENTE
-4°	0,2°	800	660	215	80	43	200
30°	0,2°	400	340	100	35	20	120
45°	0,2°	145	85	25	12	7,6	-
50°	0,2°	-	-	-	-	-	50
60°	0,2°	35	23	6,6	2,0	1,0	-
-4°	0,5°	200	160	45	20	9,8	80
30°	0,5°	1100	85	26	10	5,0	50
45°	0,5°	75	60	18	6	2,8	-
50°	0,5°	-	-	-	-	-	20
60°	0,5°	30	20	6,4	2,0	2,0	-

(*) El ángulo de entrada de 60° se medirá sólo a la orientación de 90°-

Tabla 3.3.3_14. Láminas Tipo B. Coeficiente Mínimo de Retroreflexión (R_{λ})(cd/lx-m²) (Orientación de 45°)

ÁNGULO		COLOR
ENTRADA	OBSERVACIÓN	AMARILLO
-4°	0,2°	550
30°	0,2°	130
-4°	0,5°	145
30°	0,5°	70

- iii. Retención de brillo.- La lámina retrorreflectiva tendrá un brillo especular a 85° no menor de 50 cuando sea ensayada de acuerdo con ASTM D 523.
- iv. Procesamiento de Color.- La lámina retrorreflectiva deberá permitir el cortado y procesamiento de color con procesos opacos y transparentes compatibles de acuerdo con las recomendaciones del fabricante de la lámina a temperaturas de 15°C a 37°C (60°F a 100°F) y humedades relativas de 20% a 80%.

La lámina deberá ser resistente al calor y deberá permitir un curado forzado sin presentar manchas en láminas sin aplicar o en uso, a temperaturas recomendadas por el fabricante de la lámina.

- (4) Adhesivo.- La lámina de protección posterior adjunta al adhesivo, deberá ser removida por acción de desprendimiento, sin necesidad de remojarla en agua u otras soluciones, y sin romperse, gotear o remover el material adhesivo de la cara posterior. La lámina de protección debería poderse remover después de un almacenamiento acelerado de 4 horas a 70°C (160°F) bajo una carga de 1750 kg/m² (2,5 libras por pulgada cuadrada). El material adhesivo de la cara posterior de la lámina retrorreflectiva deberá producir una adherencia que soporte una masa de 0,8 kg (1,75 libras) por cinco minutos sin que se produzca un desprendimiento en una distancia mayor e 50 mm (2") cuando es apli-

cada en un panel de prueba preparado como se indica en numeral B.1.4 (a4).(2).iii.b. Aplique 100 mm (4") de una muestra de 25 x 150 mm (1" x 6") en un panel de prueba. Acondicione y coloque el panel horizontalmente con la cara hacia abajo. Suspense la masa (peso) del borde libre de la muestra, y permita que se cuelgue en un ángulo de 90° respecto de la superficie del panel por cinco minutos.

(5) Durabilidad:

- i. **Flexibilidad.-** La lámina retrorreflectiva, acondicionada como indicado en numeral B.1.4 (a4).(2).iii, después de remover la lámina de protección posterior, deberá ser flexible y no mostrar agrietamientos cuando sea lentamente doblada, en un tiempo de un segundo, alrededor de un mandril de 3mm (1/8"), con el adhesivo en contacto con el mandril, en las condiciones del ensayo. Se deberá esparcir talco sobre la superficie adhesiva para prevenir que se pegue al mandril.
- ii. **Resistencia al Impacto.-** La lámina retrorreflectiva, aplicada de acuerdo a las recomendaciones del fabricante sobre un panel de prueba de aluminio de aleación 6061-T6, de 75 x 125 x 1 mm (3" x 5" x 0,040"), acondicionada como se indica en numeral B.1.4 (a4).(2).iii.b, no deberá mostrar rotura o agrietamiento fuera del área de impacto cuando sea golpeada por una masa de 1,8 kg (4 lb de peso) con extremo redondeado de 15,8 mm (5/8"), desde una altura necesaria para generar un impacto de 1,1 N-m (10 pulg-lb) a temperaturas de ensayo de 0°C (32°F) y 22°C (72°F).
- iii. **Resistencia a Intemperización Acelerada.-** La superficie retrorreflectiva de la lámina deberá ser resistente a la intemperización y no deberá mostrar roturas apreciables, ampollamiento, agrietamiento, o cambio dimensional después de dos años de exposición al aire libre, orientada hacia el ecuador e inclinada a 45° de la vertical. Después de la exposición al aire libre, se lavarán los paneles en una solución de ácido clorhídrico por 45 segundos, enjuagará fondo con agua limpia, secar con un paño limpio y suave y llevar al equilibrio con las condiciones estándar. Después de limpiar, el coeficiente de retrorreflexión no deberá ser menor que los valores en la Tabla 3.3.3_ 20 (Láminas Tipo A) y en la Tabla 3.3.3_ 21 (Láminas Tipo B) cuando sea medida a una rotación de 0°, y los colores deberán conformar a los requerimientos de la Tabla 3.3.3_ 14. La muestra deberá:
 - No mostrar evidencia apreciable de rotura, agrietamiento, incrustaciones, picaduras, ampollamiento, levantamiento de los bordes o rizos, o más de 1 mm (1/32") de encogimiento o expansión.
 - Donde más de un panel de un color es ensayado, el coeficiente de retrorreflexión (R_A) será el promedio de todas las mediciones.
 - Para las láminas Tipo A, se medirán sólo en ángulos de: 0,2° de observación, -4° de entrada y 0° de rotación; y 1,0° de observación, -4° de entrada y 0° de rotación.
 - Para las láminas Tipo B, se medirán sólo en ángulos de: 0,2° de observación, -4° de entrada y 0° de rotación.

Tabla 3.3.3_15. Láminas Tipo A. Coeficiente Mínimo de Retroreflexión (R_A)

Después de Intemperización Acelerada
 (cd/lx-m²)

ÁNGULO		COLOR			
ENTRA-DA	OBSERVA-CIÓN	BLAN-CO	AMARI-LLO	AZUL	VERDE
-4°	0,2°	250	200	11	25
-4°	1,0°	45	35	1,3	3

Tabla 3.3.3_16. Láminas Tipo B. Coeficiente Mínimo de Retroreflexión (R_A)

Después de Intemperización Acelerada
 (cd/lx-m²)

ÁNGULO		COLOR				
ENTRA-DA	OBSERVA-CIÓN	BLAN-CO	AMARI-LLO	ROJO	AZUL	VERDE
-4°	0,2°	400	330	107	38	22

- iv. Resistencia al calor.- Aplicar la lámina retroreflectante en un panel de prueba y acondicionar como indicado en 114.02.a4.(2).iii.b, realizando la medición de acuerdo a lo indicado en 114.02.a4.(3).ii, con ángulo de observación de 0,2° y ángulos de entrada de -4° en orientación de 0° y expuesto a temperatura de 76°C ± 3°C (170°F ± 5°F) por 24 horas en un horno con aire circulante. Después de la exposición al calor, la lámina deberá retener un mínimo de 70% del coeficiente de retroreflexión original en cada orientación cuando sea ensayada a temperatura ambiente.
 - v. Resistencia a la Corrosión.- La lámina retroreflectiva, aplicada en un panel de prueba y acondicionada como indicado en 114.02.a4.(2).iii.b, no deberá mostrar una pérdida de adhesión, decoloración apreciable o corrosión, y después de ser limpiada deberá retener un mínimo de 80% del coeficiente de retroreflexión original cuando se mida con ángulo de observación de 0,2°, 4° de entrada y orientación de 0°, después de 1000 horas de exposición a un chorro de sal de concentración 5% a 35°C (95°F) cuando sea ensayada de acuerdo con ASTM B 117.
- (6) Certificación de Calidad.- La lámina retroreflectiva deberá portar un certificado de calidad del fabricante que cubra un período mínimo de 7 años después de la fecha de fabricación. La lámina retroreflectiva será considerada no satisfactoria si presenta deterioros debidos a causas naturales al extremo de:
- i. La señal es inefectiva para su propósito específico cuando es observada desde un vehículo en movimiento en condiciones normales diurnas y nocturnas por un conductor con visión normal, y
 - ii. El coeficiente de retroreflexión, después de la limpieza, es menor que el mínimo especificado en la Tabla 3.3.3_20 (Lámina Tipo A) o en la Tabla 3.3.3_21. (Lámina Tipo B). Se realizarán todas las mediciones después de la limpieza de la señal.

El Contratante fechará todas las señales al tiempo de su aplicación en obra. Esa fecha constituye el inicio del período de rendimiento obligatorio.

Donde se pueda demostrar que los requerimientos de rendimiento de las láminas provistas y utilizadas de acuerdo a las recomendaciones del fabricante no se han cumplido, el fabricante deberá asumir el costo por las láminas no satisfactorias como se muestra durante los:

- Primeros cinco años, el fabricante asumirá el costo de reposición del panel a su efectividad original sin costo para el Contratante por los materiales, mano de obra, inclusive la remoción y reinstalación si es necesario.
- Por los restantes dos años, desde el 61avo al 84avo mes desde la fecha de fabricación, el fabricante deberá proporcionar las láminas que sean requeridas para reponer el panel de la señal a su efectividad original.

B.1.5. Leyendas Removibles Reflectorizadas:

- (1) Generalidades.-** Las letras y numerales a utilizar deberán conformar los tipos de letras y números determinados de acuerdo al Capítulo 106 de la presente Guía.

Se proveerá de los agujeros de montaje en los perfiles para permitir el uso de la ferretería especificada aquí.

Se proveerá del número suficiente de agujeros de montaje para asegurar una firme fijación de los perfiles a la señal y cumplir con los requerimientos indicados a continuación. Se requiere de un mínimo de 4 agujeros de montaje en cada junta en el borde.

- i. Fijación de Leyendas Removibles fabricadas sobre placas de aluminio.- La leyenda removible será fijada a los paneles de aluminio utilizando remaches ciegos de cabeza redondeada, diámetro 3 mm (1/8"), autoajustables. Remover las virutas de aluminio de la cara de la señal antes de fijar la leyenda. La señal completa será rechazada si se dejan virutas debajo de la leyenda. Perforar agujeros de diámetro 3 mm (1/8") en la leyenda removible y en el panel de la señal como se muestra en los detalles de montaje para señales removibles mostrados en los planos del Diseño Final.

Aplice la leyenda seleccionada de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. En caso de aplicarse leyendas cortadas, aplicar las mismas de acuerdo con 114.02.2.(a5).(1).ii.

Fijar las secciones de bordes retrorreflectivos removibles de 25 mm (1") de ancho colocando dos remaches a 12 mm (1/2") del final de cada borde con remaches adicionales espaciados un máximo de 15 cm (6"), centrados en la sección. Las secciones de los bordes de las esquinas deberán ser fijadas con un mínimo de cinco remaches, dos remaches a 12 mm (1/2") de cada borde y los restantes remaches al medio de la sección.

Fijar las secciones de bordes retrorreflectivos removibles de 50 mm (2") de ancho colocando dos remaches a 12 mm (1/2") del final de cada borde con remaches adicionales espaciados un máximo de 15 cm (6"), a lo largo del borde superior y del borde inferior de la sección. Las secciones de los bordes de las esquinas deberán ser fijadas con un mínimo de cinco remaches, dos remaches a 12 mm (1/2") de cada borde y los restantes remaches al medio de la sección.

- ii. Fijación de Leyendas Removibles fabricadas en lámina retrorreflectiva, reflectiva o no reflectiva.- Aplicar las láminas de acuerdo con las recomendaciones del fabricante de las mismas sobre paneles de señalización de aluminio extruido. Hasta un 25% de los paneles de aluminio de señales requeridos en los planos podrán tener un empalme de fabricación por cada señal. Se permitirá un parche por cada 4,65 m²

(50 pies²) de señal, hasta un máximo de 3 parches por cada señal. El diámetro de los parches estará entre 1,90 cm (3/4") y 8,60 cm (3 3/8"). No se permitirán empalmes al Contratista.

No se permitirán empalmes de fabricación en las demás señales excepto que sea explícitamente aprobado en los planos de taller, o cuando las dimensiones de la señal exceden la capacidad del fabricante de la láminas. En este caso, se realizarán empalmes horizontales colocando encima del traslape, la sección superior de la lámina superponiéndola a la lámina inferior un mínimo de 0,95 cm (3/8") en láminas con lentes encapsulados y empalme de tope en láminas con lentes prismáticos que no tengan un sustrato visible. No se permitirá el uso de láminas de pasta transparente o láminas para cortar electrónicamente en empalmen superpuestos. No se permitirán empalmes realizados por el Contratista.

- (2) **Leyenda de la Lámina Reflectiva.**- Las letras blancas, numerales, símbolos y bordes serán fabricados de lámina reflectiva con capa adhesiva permanentemente adherida a una placa plana de aluminio. La lámina reflectiva consistirá de lámina prismática de ángulo amplio de acuerdo a lo establecido en 114.02.2 (a4).

Las letras, números, símbolos y bordes serán de aluminio de 0,8 mm (0,032") de espesor, conforme a ASTM B 209/B 209 M, y aleación 3003-H14. El aluminio se desengrasará y aplicará con aguafuerte, o será tratado con una capa de cromato amorfo denso.

La lámina reflectiva se aplicará sobre el aluminio de acuerdo con las recomendaciones del fabricante de la lámina.

Las letras, números, símbolos y bordes terminados deberán mostrar cortes en siluetas claras y afiladas, y deberán tener una superficie casi plana.

B.1.6. Leyendas Permanentes:

- (1) **Generalidades.**- Las leyendas permanentes consisten de paneles color blanco plata, rojo reflectorizado, negro, o láminas cortadas color blanco plata. Las letras y numerales a utilizar deberán conformar los tipos de letras y números determinados de acuerdo al Capítulo 106 de la presente Guía.
- (2) **Leyenda en Panel Blanco Reflectorizado.**- Los materiales de pasta transparente utilizados para el panel posterior de las leyendas blancas reflectorizadas y para el panel de leyendas rojas reflectorizadas deberán conformar las recomendaciones del fabricante de la lámina.
- (3) **Leyendas Cortadas color Blanco Plata reflectorizado.**- El material utilizado para leyendas cortadas deberá conformar los requerimientos de 114.02.2 (a4).
- (4) **Leyendas no reflectorizadas en panel negro o en lámina cortada.**- La tinta de proceso de pantalla para leyendas no reflectorizadas deberá ser proceso de tinta negra Naz-Dar 811 (Compañía NazDar), Color D22-B2 de Proceso Kern de Pantalla de Sherwin Williams (Compañía Sherwin Williams), o similar aprobado.

B.1.7. Películas para Cortar Electrónicamente para uso en Láminas Retrorreflectivas:

- (1) **Generalidades.**- Las películas para cortar deben consistir de láminas durables, transparentes o coloreadas, cubiertas con una capa de adhesivo transparente sensible a la presión, protegido por una lámina removible de protección. Las láminas deberán ser diseñadas para cortarse con cuchilla sobre rodillo (alimentada por rueda de cadena o

por fricción) y con máquinas electrónicas de panel horizontal. Las láminas deberán estar disponibles en colores estándar de tráfico, ser dimensionalmente estables, y ser diseñadas para un óptimo cortado, retiro de briznas, elevación y transferencia. El uso de lámina de cortado electrónico no deberá requerir la liberación de cualquier compuesto orgánico volátil.

(2) Muestreo y Ensayos de Aceptación.- Se recomienda que los siguientes documentos referentes a los asuntos vigentes a la fecha del proyecto formen parte de esta especificación en la extensión especificada a continuación:

i. Estándares ASTM:

- B 209/B 209M Especificación para hojas y placas de Aluminio y Aleación de Aluminio.
- D-523 Método estándar para el ensayo de brillo especular.
- D-4956 Especificación estándar para lámina retrorreflectiva para control de tráfico.
- E-284 Definición estándar de términos relativos a la apariencia de los materiales.
- E-308 Cómputos de colores de los objetos utilizando el Sistema CIE.
- E-810 Método estándar de ensayo para el coeficiente de retrorreflexión de láminas retrorreflectivas.
- E-1164 Práctica estándar para la obtención de datos espectrofotométricos para la evaluación de color de los objetos.

ii. Publicaciones del CIE.- La publicación del CIE Número 39-2: Recomendaciones para colores de superficies para señalización visual.

iii. Especificaciones Federales.- Las especificaciones para construcción de caminos y puentes en Proyectos Federales de Carreteras.

iv. Métodos de Ensayo:

- a. Condiciones de ensayo.- A menos que sea especificado de otra forma, todas las muestras aplicadas y no aplicadas deberán ser acondicionadas a las condiciones estándar de:
- $23^{\circ}\text{C} \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ ($73^{\circ}\text{F} \pm 3^{\circ}\text{F}$).
 - $50\% \pm 5\%$ de humedad relativa por 24 horas antes del ensayo.
- b. Panel de prueba.- A menos que sea especificado de otra manera, cuando los ensayos sean realizados en paneles de ensayo, se aplicarán las muestras de material retrorreflectivo y/o películas de superponer en láminas de aluminio cortado de material acorde con ASTM B-209/B 209M, aleación 5952-H36, 5052-H38, 5154-H38 o 6061-T6, en los siguientes espesores:
- 0,51 mm (0,020”).
 - 1,02 mm (0,040”).
 - 1,60 mm (0,063”).

El aluminio se desengrasará y se limpiará con aguafuerte ligeramente ácida, antes que las muestras sean aplicadas a los paneles de acuerdo a las recomendaciones del fabricante de la lámina reflectiva para cortar electrónicamente.

(3) Características fotométricas.- Cuando la película para cortar electrónicamente es aplicada a láminas retrorreflectivas, el color resultante de la lámina compuesta debe conformar la Especificación Federal FP-92, Sección 718.01 y ASTM 4956 para la lámina retrorreflectiva a la cual es aplicada.

- i. Prueba de Color.- Se determinará la conformidad a los requerimientos de color por medición instrumental de acuerdo con ASTM E 1164 en láminas aplicadas en paneles de prueba. Se realizarán los cálculos de acuerdo con ASTM E 308 para el 2° observador.
- ii. Coeficiente de Retrorreflexión (R_A).- Cuando la película para cortar electrónicamente es aplicada a una lámina retrorreflectiva, la lámina compuesta deberá conformar el porcentaje retenido del mínimo coeficiente de retrorreflexión especificado por el Contratante y el fabricante para la lámina retrorreflectiva cuando la lámina retrorreflectiva es procesada en pantalla. El coeficiente de retrorreflexión deberá ser determinado de acuerdo con ASTM E 810.
 - Los coeficientes de retrorreflexión (RA) serán especificados en candelas por lux por metro cuadrado ($cd/lx\cdot m^2$).
 - Los ángulos de observación serán de $0,2^\circ$ y $0,5^\circ$ a menos que se especifique de otra forma.
 - Los ángulos de entrada deberán ser de -4° y 30° a menos que se especifique de otra manera.

Las láminas retrorreflectivas con marcas de nivel deberán ser ensayadas en la posición especificada por el fabricante. Si no se proveen marcas de nivel, la lámina será rotada para determinar el mínimo R_A que deberá ser reportado sin promediar.

- iii. Retención de brillo.- La película para cortar electrónicamente deberá tener un brillo especular a 85° no menor a 50 cuando se ensaye de acuerdo con ASTM D 523.
- iv. Procesamiento de Color.- La película para cortar electrónicamente deberá permitir el cortado, retiro de briznas, enmascarado con cinta de transferencia, elevación y aplicación a la lámina retrorreflectante cuando sea utilizada de acuerdo con las recomendaciones del fabricante a temperaturas entre $18,3^\circ C$ ($65^\circ F$) y $35^\circ C$ ($95^\circ F$) y humedades relativas entre 30% y 70%. La película deberá ser colocada con un rizado mínimo de los bordes y deberá ser dimensionalmente estable.

(4) Adhesivo.- Se removerá la lámina de protección ubicada sobre el adhesivo por acción de pelado sin remojar en agua u otra solución, y sin romper, goteo o remoción de cualquier adhesivo proveniente de la película para cortar electrónicamente. La lámina de protección deberá ser liberada de forma controlada de la capa adhesiva lo suficiente para permitir el cortado sin que la película se desprenda de la lámina de protección, permitiendo que ésta sea fácilmente desprendida de la película.

La película con bordes perforados para uso con rueda de cadena y cuchilla sobre rueda deberá tener borde punteado y recortado para remover la película en el área perforada como medio para eliminar el adhesivo acumulado en las cadenas.

(5) Resistencia a Intemperización Acelerada.- Cuando la película para cortar electrónicamente es aplicada en láminas retrorreflectivas, la superficie de la película deberá ser

resistente a la intemperización y no deberá mostrar roturas apreciables, agrietamiento, ampollamiento o cambio dimensional después de dos años de exposición al aire libre sin protección, mirando hacia el ecuador e inclinada 45° respecto de la vertical. Después de la exposición al aire libre, se lavarán los paneles en una solución al 5% de ácido clorhídrico por 45 segundos, se enjuagarán a fondo con agua limpia, se secará con un paño suave y limpio y se llevará a equilibrio con las condiciones estándar. Después de la limpieza, el coeficiente de retroreflexión no será menor que el valor especificado por el Contratante para la lámina retroreflectiva cuando está procesada en pantalla. La muestra deberá:

- No mostrar evidencia apreciables de rotura, agrietamiento, distorsión, picaduras, ampollamientos, levantamiento de los bordes o rizado, o encogimiento o expansión mayor a 0,8 mm (1/32”).
- Mostrar buena firmeza de color o mejor cuando es ensayada de acuerdo con 114.02.2 (a7).(6).

La reflectividad retenida deberá ser la misma que la especificación del Contratante para lámina retroreflectiva procesada en pantalla del tipo que está siendo ensayado.

La película para cortar electrónicamente no deberá ser removible de la lámina retroreflectiva sin daños.

Las mediciones del rendimiento retroreflectivo realizadas después de la exposición al aire libre deberán ser realizadas sólo para ángulo de observación de 0,2° y ángulo de entrada de 4°. Donde es ensayado más de un panel de prueba por color, el coeficiente de retroreflexión será el promedio de todas las mediciones.

- (6) Firmeza del Color.-** La muestra será mojada, expuesta y preparado como se especifica en 114.02.2 (a7).(5), con detergente suave disuelto en agua. Comparar con una muestra similar no expuesta y tratada bajo luz natural (cielo del norte) del día o luz diurna artificial con temperatura de color de 7600°K. Evaluar la fortaleza del color como sigue:

- Excelente – Sin cambios perceptible en el color.
- Buena – Cambio de color perceptible pero no apreciable.
- Razonable – Cambio de color apreciable.

Cambio de color apreciable significa un cambio que es notado inmediatamente al comparar el espécimen expuesto con el espécimen original de comparación. Si se requiere una inspección más cercana o un cambio en el ángulo de la luz para hacer aparente un ligero cambio de color, entonces el cambio no es apreciable.

- (7) Aceptación.-** Si es requerido, se deberá proporcionar un certificado de calidad para cada lote o embarque de acuerdo con métodos aprobados de ensayos de materiales en el sitio de la obra o con métodos aprobados de ensayos de materiales fuera de la obra, certificando que el material suministrado cumplirá los requerimientos enlistados.
- (8) Garantía.-** La película para cortar electrónicamente aplicada sobre lámina retroreflectiva, ambos materiales aplicados de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, tendrán como rendimiento compuesto el mismo rendimiento establecido por el Contratante para ese tipo de lámina retroreflectiva cuando es procesado en pantalla. La señal compuesta será considerada no satisfactoria si tiene deterioros debidos a causas naturales a tal punto que:

- i. La señal es inefectiva para su propósito específico cuando es observada desde un vehículo en movimiento bajo condiciones normales de conducción diurnas y nocturnas, o
- ii. El coeficiente de retrorreflexión (R_{λ}) es menor que el mínimo especificado por el Contratante para las láminas retrorreflectivas procesadas en pantalla (patrón).

Donde se pueda demostrar que las señales de tráfico con película para cortar electrónicamente aplicadas y utilizadas de acuerdo con las recomendaciones del fabricante no cumplen los requerimientos de rendimiento, el fabricante deberá asumir los costos de restauración como se establece en estas especificaciones para la lámina retrorreflectiva procesada en pantalla (patrón).

El Contratante fechará todas las señales al tiempo de su aplicación. Esa fecha constituye el inicio del período de la obligación de rendimiento en campo de acuerdo con 114.02.2 (a3).(3).

B.2. Señales Verticales Laterales

B.2.1. Materiales para tableros

Los tableros para todas las señales, delineadores y demás dispositivos mencionados en esta Guía, deberán estar constituidos por lámina de aluminio, acero galvanizado o poliéster reforzado con fibra de vidrio modificada con acrílico y estabilizador ultravioleta. En las señales informativas de destino (a excepción de las señales de información en ruta y elevadas), se utilizará únicamente la lámina de acero galvanizado. En la parte posterior de todos los tableros de las señales deberá imprimirse el logotipo de la entidad contratante, día, mes y año de instalación, el nombre de la empresa contratista y el número del contrato.

Se recomienda la utilización de los diferentes tipos de materiales, de acuerdo con las siguientes consideraciones:

- En lámina de poliéster reforzado con fibra de vidrio o aluminio, para vías en zonas alejadas a áreas marinas o con problemas de oxidación.
- En lámina de poliéster reforzado con fibra de vidrio, galvanizada o aluminio, para vías cuya altura sobre el nivel del mar sea inferior a mil metros (1000 m).
- En lámina galvanizada o aluminio, para vías cuya altura sobre el nivel del mar sea superior o igual a mil metros (1000 m).

A) Lámina de poliéster reforzado con fibra de vidrio

Este material deberá cumplir los siguientes requisitos:

- **Espesor:** Deberá ser de tres milímetros y cuatro décimas más o menos cuatro décimas de milímetro ($3,4 \text{ mm} \pm 0,4 \text{ mm}$), el cual se verificará como el promedio de las medidas en cuatro sitios del borde de cada lámina con una separación entre ellos igual a la cuarta parte del perímetro de ésta. La lámina no deberá contener grietas visibles ni arrugas en las superficies, que puedan afectar su comportamiento y alterar las dimensiones. Por lo menos una de las caras de la lámina debe ser completamente lisa.
- **Color:** El color deberá ser blanco uniforme.

- **Pandeo:** Una lámina de setenta y cinco centímetros (75 cm) de lado se cuelga suspendida de sus cuatro (4) vértices. La deflexión máxima medida por el sitio de cruce de sus dos diagonales perpendicularmente al plano de la lámina no deberá ser mayor de doce milímetros (12 mm). Luego se coloca la lámina suspendida en las mismas condiciones en un horno a ochenta y dos grados Celsius (82° C) durante cuarenta y ocho (48) horas. La máxima deflexión no deberá exceder de doce milímetros (12 mm). Todas las medidas se deberán tomar cuando la lámina se encuentre a temperatura ambiente.
- **Resistencia al impacto:** Láminas cuadradas de setenta y cinco centímetros (75 cm) de lado, deberán resistir fuerzas de impacto que podrían agrietar otros plásticos o deformar metales. La lámina apoyada en sus extremos y a una altura de veinte centímetros (20 cm) del piso, deberá resistir el impacto de una esfera de acero de cuatro mil quinientos gramos (4.500 g) en caída libre desde una altura de tres y medio metros (3,5 m), sin resquebrajarse.
- **Estabilidad térmica:** Las características de resistencia no deberán ser apreciablemente afectadas en un rango de temperaturas entre menos dieciocho y más cien grados Celsius (-18° C y +100° C).
- **Resistencia al fuego:** Los componentes de la lámina deberán contener aditivos que la hagan poco propensa a inflamarse y propagar llamas.
- **Protección ante la intemperie:** Las láminas deberán estar fabricadas con protección ante la intemperie por ambas caras. Deberán poseer una superficie uniforme químicamente pegada, recubrimiento gelatinoso (Gel-Coat) que no se pueda separar. Para comprobarlo, se sumergirá una muestra de diez centímetros (10 cm) por dos centímetros (2 cm) en una probeta que contenga cloruro de metileno, durante trece (13) minutos, después de lo cual se seca, no debiendo aparecer fibra de vidrio por ninguna de las dos caras.
- **Estabilización:** Las láminas deberán estar fabricadas de tal manera que no liberen constituyentes migrantes (solventes, monómeros, etc.) con el tiempo. No deberán contener residuos de agentes desmoldeantes en la superficie del laminado, que pudieran interferir en la adherencia de la lámina reflectiva.
- **Tratamiento de la cara frontal:** Previamente a la aplicación del material reflectivo la lámina deberá ser limpiada, desengrasada y secada de toda humedad.

B) Lámina de acero galvanizado

Deberá cumplir con las siguientes especificaciones técnicas:

- **Material:** Lámina de acero galvanizado de calibre mínimo 16 (1,5 mm), revestida por ambas caras con una capa de zinc, aplicada por inmersión en caliente o por electrólisis.
- **Material base:** Lámina de acero laminado en frío.
- **Galvanizado:** Las placas deberán ser galvanizadas en caliente de acuerdo a la norma ASTM A 123, salvo que el Proyecto especifique otro tipo de protección. El espesor del galvanizado deberá ser como mínimo de 65 µm.
- **Otro tipo de protección anticorrosiva:** En caso que el Proyecto especifique en lugar del galvanizado, una protección en base a pintura anticorrosiva y esmalte, la superfi-

cie de la placa deberá prepararse mediante un baño limpiador o decapador químico. Los depósitos gruesos de aceite o grasa, compuestos trazadores y otras materias extrañas deberán removerse mediante un lavado con solvente; las escamas de laminación, costra de óxido, óxido y herrumbre deberán removerse mediante un baño en solución caliente o fría de ácido sulfúrico, nitroclorhídrico o fosfórico, un baño en ácido sulfúrico al 5% ó 10% conteniendo inhibidor, un baño en ácido sulfúrico al 5% a 80° ó 90°C con inhibidor o mediante un baño electrolítico, en un baño ácido o alcalino. Enseguida, los elementos metálicos deberán pintarse con dos capas de pintura anticorrosiva sintética, de 0,03 mm de espesor total mínimo de película seca y terminarse con dos capas de esmalte alquid-fenólico de color gris, de 0,03 mm de espesor total mínimo.

- **Espesor:** Para placas laterales de tamaños que varían entre 60 y 120 cm, tendrá un espesor de $2,5 \pm 0,15$ mm. Para placas de escudos y señales de identificación vial de las Redes Primaria, Secundaria, Terciaria y Vecinal, tendrá un espesor de $1,5 \pm 0,15$ mm. La medida se podrá efectuar en cualquier parte de la lámina, a una distancia no menor de diez milímetros (10 mm) del borde.

Alternativamente, si el Proyecto así lo estipula, las placas de acero podrán ser de un espesor menor al aquí especificado, siempre que se trate de placas estampadas que presenten ceja o pestaña perimetral según los detalles que indique el Proyecto

- **Dimensiones planas:** Las dimensiones planas, como altura y ancho, serán las correspondientes al tipo de señal con una tolerancia de ± 1 mm. Los cortes rectos deberán efectuarse con guillotina y los circulares en máquinas tijera; los vértices deberán despuntarse con un radio variable según el tamaño de la placa. Todas las aristas deberán pulirse.
- **Resistencia al doblé:** Una probeta cuadrada de cinco centímetros (5 cm) de lado, no sometida a tratamientos térmicos previos, no deberá presentar desprendimiento de zinc cuando se dobla girando ciento ochenta grados (180°), con una luz igual al espesor de la lámina.
- **Tratamiento de la cara frontal:** Previamente a la aplicación del material reflectivo, la lámina galvanizada deberá ser limpiada, desengrasada y secada de toda humedad; además, estar libre de óxido blanco. El galvanizado deberá tener una superficie de terminado producida con abrasivo grado cien (100) o más fino.
- **Uso de elementos especiales:** Se podrán utilizar bastidores si las dimensiones de las placas lo requieren. Si el Proyecto así lo especifica, se podrán usar Figuras de aluminio en la confección de las placas. Las placas deberán cubrirse por el anverso con Figuras retrorreflectantes. Estas Figuras, incluyendo los requisitos de tipo, color, contraste y niveles mínimos de retrorreflectancia, y los requisitos de textos, ribetes, números, flechas y símbolos, deberán cumplir con lo establecido en la norma ASTM D 4956.
- **Tratamiento cara posterior:** Una vez cortada y pulida la lámina, se deberá limpiar y desengrasar, aplicándose seguidamente una pintura base (wash primer o epoxipoliamida), para finalmente colocar una capa de esmalte sintético blanco. Las señales de destino y de información en ruta se fabricarán en lámina galvanizada calibre 20 (0,91 mm).

C) Lámina de Aluminio

Deberá cumplir con las siguientes especificaciones:

- Material: Lámina de Aluminio de aleaciones 6061-T6, 5052-H38 o extrusiones similares.
- Espesor: Dos milímetros de espesor, medidos con una tolerancia de más o menos dos décimas de milímetro (2+0,2 mm). La medida se podrá efectuar en cualquier parte de la lámina, a una distancia no menor de diez milímetros (10 mm) del borde.
- Tratamiento cara frontal: Previamente a la aplicación del material reflectivo, la lámina deberá ser limpiada, desengrasada y secada de toda humedad; además, estar libre de óxido blanco. El aluminio deberá tener una superficie de terminado producida con abrasivo grado cien (100) o más fino.
- Tratamiento cara posterior: Una vez cortada y pulida la lámina, se deberá limpiar y desengrasar, aplicándose seguidamente una pintura base (wash primer o epoxipoliamida), para finalmente colocar una capa de esmalte sintético blanco.

D) Dimensiones de los tableros

En la tabla 3.3.2_1 de esta Guía están definidas las dimensiones de las señales verticales. En las secciones 3.3.2.5 y 3.3.3.2 se muestra el diseño de cada uno de los tableros para señales de calles y carreteras y señalización transitoria para obras en la vía respectivamente.

B.2.2. Materiales para postes

Las estructuras de soporte o postes para señales verticales, deberán ser elaborados en perfil en ángulo de acero de 5 x 5 cm x 6 mm (2" x 2" x ¼"), con límite de fluencia mínimo de veinticinco kilogramos por milímetro cuadrado (25 kg/mm²) en todos los tipos de señales, el cual será de primera clase, no permitiéndose corrosión en ninguna parte de su longitud. No se aceptarán añadiduras ni traslapes en postes y brazos.

Alternativamente, para los postes se podrán utilizar perfiles de sección rectangular o cuadrada. En todo caso, todos los postes serán de acero de las características indicadas más arriba.

En la tabla 3.3.2_2 de esta Guía, están contenidas las dimensiones de los postes o estructuras de soporte de las señales verticales.

Se deberá garantizar la rigidez de las láminas de los tableros correspondientes a las señales preventivas (P), reglamentarias (R), informativas de identificación, de información general, de servicios y turísticas (I) y los delineadores, fijándolas a la cruceta formada entre el poste y sus brazos, los cuales deberán formar un perfecto plano de apoyo que en todo momento estará en contacto con la lámina.

La soldadura del brazo deberá ser con piquete o suplemento. En señales dobles, la rigidez se deberá garantizar con dos (2) crucetas del mismo tipo citado anteriormente, debidamente soldadas.

Los postes deberán ser galvanizados en caliente, cumpliendo con los mismos requisitos exigidos para las placas. Alternativamente, si el Proyecto así lo estipula, la protección de los postes podrá ser en base a pintura anticorrosiva y esmalte, en cuyo caso, la protección se deberá atender a lo especificado para Lámina de Acero Galvanizado.

Los tableros de las señales verticales de tránsito preventivas (P), reglamentarias (R) o informativas de identificación, de información general, de servicios y turísticas (I), podrán yuxtaponerse en los postes de concreto hidráulico u hormigón, acero o madera de las redes de energía o teléfonos, siempre y cuando la entidad que instaló el dispositivo autorice su adosamiento. Para tal efecto, se utilizará una banda de acero inoxidable de 12 mm (1/2") de ancho y 0,76 mm (0,03") de espesor, asegurada con una hebilla de acero inoxidable. Para el sostén, apoyo o soporte del tablero de la señal se utilizará una ménsula en acero inoxidable de 38,1 mm (1½") de ancho y 1,90 mm (0,075") de espesor, la cual deberá tener aletas que sobresalgan, como mínimo, veinte centímetros (20 cm) a cada lado del eje del poste para rigidizar el tablero en el sentido perpendicular al eje vertical de la señal. Siempre se deberán utilizar dos bandas, con sus correspondientes accesorios, una en la parte superior del tablero y otra en su parte inferior.

Si el Proyecto así lo especifica, se podrán usar postes colapsables.

B.2.3. Materiales para los brazos de los postes

En todos los casos, las crucetas deberán ser en ángulo de acero de 5 cm (2") por 5 cm (2") por 3,18 mm (1/8"), con límite de fluencia mínimo de 25 kg/mm².

B.2.4. Materiales para anclaje de los postes

Los postes deberán diseñarse con un anclaje en la parte inferior, soldado en forma de T, con ángulo de hierro de 5 cm (2") por 5 cm (2") por 3,18 mm (1/8"), con un límite de fluencia mínimo de 25 kg/mm².

B.2.5. Pernos

Las placas se deberán fijar a los postes con pernos zincados de 6 x 64 mm. Las tuercas también deberán ser zincadas.

B.2.6. Hormigón

Las señales se instalarán en el piso en un anclaje de concreto simple cuya resistencia a compresión a veintiocho (28) días sea, como mínimo, 160 kg/cm² (Hormigón Tipo H-16).

Dentro del anclaje se acepta la inclusión de dos (2) capas de cantos (piedras) de diez centímetros (10 cm) de tamaño máximo, una superior y otra inferior, con el fin de dar rigidez a la señal instalada, mientras fragua el concreto.

B.2.7. Soldadura

La soldadura utilizada deberá tener una resistencia mayor al veinticinco por ciento (25%) de la resistencia del acero.

B.3. Señales Verticales Aéreas

B.3.1. Materiales para tableros

Las señales elevadas, se elaborarán en lámina galvanizada calibre mínimo 22 (0,76 mm). A los tableros de estas señales se les realizarán dos (2) dobleces o pestañas de dos centímetros (2 cm) cada una, en sus cuatro bordes, con el objeto de darles mayor rigidez.

Las placas para los letreros deberán ser de plancha de acero laminado en caliente, de 1,5 mm de espesor, debidamente protegidos contra la corrosión. La plancha se remachará o soldará cada 100 mm a un bastidor metálico soldado tipo reja, formado por acero de perfil tipo ángulo de 30 x 30 x 3 mm.

La distribución y forma del partidor deberá ser tal que asegure la adecuada rigidez del panel.

Alternativamente, si el Proyecto así lo estipula, en la confección de las placas de los letreros se podrán utilizar otros tipos de materiales, tales como placas o Figuras de aluminio, cintas de alta adherencia, materiales sintéticos u otros que señale el Proyecto.

Los elementos retrorreflectantes, así como los textos, ribetes, números, flechas y símbolos, deberán cumplir con la diagramación señalada en el presente documento.

B.3.2. Pernos

Los pernos se deberán ajustar a las mismas disposiciones contenidas en el punto 114.01.2 (b5).

B.3.3. Estructura

Se distinguen básicamente dos tipos de estructura portaseñal: la estructura tipo marco, denominado Marco Portaseñal, que cruza totalmente una calzada; y, la estructura denominada Bandera Portaseñal, que no cruza la calzada sino que informa desde un borde de ésta, sobre las pistas.

El diseñador debe tener presente que la o las columnas de estas estructuras deben considerar un diseño tal que permita la instalación de un sistema de contención, defensas camineras, que proteja a los usuarios del camino de un impacto directo con la estructura.

B.3.4. Acero estructural de armaduras y hormigones

El acero y el hormigón a utilizar será el que se especifique en el proyecto, todos deberán contar con certificación de sus características.

B.3.5. Galvanizado y pintura

Todos los elementos metálicos serán galvanizados, salvo que el Proyecto especifique algo distinto. El galvanizado deberá cumplir con la norma ASTM A525.

En caso que el Proyecto defina protección mediante pinturas, esta deberá cumplir con los procedimientos básicos de toda pintura para Elementos Metálicos.

B.4. Señales Verticales de Canalización y Balizamiento

Los materiales a emplear en la señalización de canalización y balizamiento, serán el PVC y el acero.

Los elementos retrorreflectantes, así como los textos, ribetes, fechas y símbolos, deberán, cumplir con lo señalado en la tabla 3.3.2_6 del presente documento.

Las placas de acero deberán cumplir también con lo especificado en el punto 114.02.2 (b1), de esta Guía.

Debido a las dimensiones especiales de las señales de balizamientos, los postes podrán ser distintos a los definidos en el punto 114.02.2 (b2), lo que será estipulado en el Proyecto. En cualquier caso, los postes serán de acero A 37-24 ES.

Los pernos a utilizar, se ajustarán a lo señalado en el punto 114.02.2 (b5). En caso de fundaciones con apoyos de hormigón, este será Tipo H-16.

C. EQUIPO

Se deberá disponer de los equipos necesarios para la correcta ejecución de los trabajos de instalación de las señales, el cual deberá incluir como mínimo los siguientes elementos:

- Hoyadoras agrícolas, barras de acero y palas.
- Llaves fijas o de expansión para tornillos.
- Martillo de tamaño tal, que permita doblar los tornillos una vez apretadas las tuercas.
- Remachadora.

D. EJECUCIÓN

D.1. Señales Verticales Laterales

Toda la señalización caminera se instalará en la ubicación y con la mínima altura señalada en la profundidad y área mínima de las excavaciones para la instalación de postes sustentadores de señalización vertical lateral, se ajustarán a lo señalado en el Proyecto, debiendo cumplir con los mínimos indicado en las láminas tipo. El hueco no ocupado por los postes deberá rellenarse con hormigón Tipo H-16. (Ver Figura 3.3.3_38).

En el caso de señales relativas a puentes y estructuras afines se deberán considerar delineadores verticales y señales informativas de identificación de las estructuras, con indicación del nombre del puente y rol del camino, en ambas entradas del puente.

D.1.1. Ubicación de las señales

Las señales se instalarán en los sitios que indiquen los planos del proyecto o defina el Ingeniero. Su colocación se hará al lado derecho de la vía, teniendo en cuenta el sentido de circulación del tránsito, de tal forma que el plano de la señal forme con el eje de la vía un ángulo de acuerdo con lo indicado en el Capítulo 103, que deberá ser medido con comisión de topografía en el terreno.

La ubicación de las señales se debe realizar de acuerdo a lo establecido en los diseños correspondientes.

Cuando sea necesario instalar varios dispositivos en un sector y no exista suficiente longitud para cumplir con esta separación mínima, se utilizarán señales dobles.

D.1.2. Excavación

Se efectuará una excavación cilíndrica de veinticinco centímetros (25 cm) de diámetro como mínimo y sesenta centímetros (60 cm) de profundidad, para el anclaje de la señal.

Con el fin de evitar que la señal quede a una altura menor a la especificada cuando se instale en zonas donde la vía transcurre en terraplén, la excavación podrá realizarse hasta una profundidad de treinta centímetros (30 cm), pero se deberá, además, construir un pedestal por encima de la superficie del terreno, fabricado en concreto, que complete la altura necesaria para que la señal quede anclada a la profundidad especificada.

D.1.3.1 Instalación de la señal al poste

La señal se instalará de manera que el poste presente absoluta verticalidad y que se obtenga la altura libre mínima indicada.

El tablero deberá fijarse al poste mediante pernos de dimensiones mínimas establecidas en la presente especificación, rosca ordinaria, arandelas y tuercas, todo galvanizado, a los cuales se les deberá dar golpes para dañar su rosca y evitar que puedan ser retirados fácilmente. Además, se deberán instalar cuatro (4) remaches a diez centímetros (10 cm) de distancia, medidos desde los tornillos hacia el centro de la cruceta. También podrán utilizarse otros sistemas de aseguramiento que impidan el retiro del perno o elemento de fijación.

D.1.4. Limitaciones en la ejecución de la instalación

No se permitirá la instalación de señales de tránsito cuando esté lloviendo, ni cuando haya agua retenida en la excavación o el fondo de ésta se encuentre muy húmedo, a juicio del Ingeniero. Toda el agua retenida deberá ser removida antes de efectuar el anclaje e instalar la señal.

D.2. Señales Verticales Aéreas

El marco o bandera para la colocación de señales aéreas está conformado por una fundación, una estructura metálica conectada a la fundación y los letreros informativos. Las conexiones son normalmente apernadas o soldadas.

D.2.1. Confección y transporte

Una vez efectuadas las excavaciones para las fundaciones del marco o bandera, se procederá a la recepción por parte del Ingeniero. Las fundaciones se ubicarán en el emplazamiento definido en el Proyecto o en su defecto, en un emplazamiento previamente aprobado por el Ingeniero. Las fundaciones tendrán una geometría y profundidad, acordes con el Proyecto. Luego de aprobado el sello, se procederá a colocar un emplantillado de hormigón pobre. Sobre éste se colocarán las armaduras para proceder al hormigonado.

La estructura metálica se conectará con las fundaciones de acuerdo con lo establecido en el Proyecto, conexión mediante platina metálica y pernos, u otro sistema semejante.

El armado del marco o bandera en el sitio, involucra también obras de conexión soldada o apernada, según el Proyecto, que se realizarán con el equipamiento adecuado y cuidando el Contratista de tomar todas las medidas necesarias con respecto a la seguridad del tránsito, peatones y del personal de obra.

D.2.2. Suministro

La fabricación y provisión de los elementos estructurales, deberá ajustarse a lo establecido en el Proyecto. Se consideran estructuras de acero en base a tubos armados o bien enrejados metálicos de perfiles de bajo espesor.

No obstante lo anterior, el Contratista podrá proponer diseños alternativos para estas estructuras, debidamente justificados por la memoria de cálculo correspondiente, incluyendo la nueva especificación, diseño que deberá ser previamente aprobada por el Ingeniero. El nuevo diseño, deberá cumplir con la presente especificación, en lo pertinente.

Los tubos o los perfiles a utilizar deben ser elementos de fábrica garantizados y que cuenten con los certificados pertinentes que acrediten las propiedades específicas del material que los compone.

Los tubos deberán ser recibidos conforme por el Ingeniero. Este solicitará los certificados de calidad que estime convenientes, a fin de corroborar el cumplimiento de las propiedades especificadas del material.

Las soldaduras en terreno de los perfiles se registrarán por las mismas especificaciones prescritas para la soldadura en taller, y con la misma obligación en cuanto a la certificación de calidad.

La longitud de los elementos a transportar será la indicada en el Proyecto o, en su defecto, por el Ingeniero a proposición del Contratista. De todas formas, la totalidad del marco deberá ser presentada en maestranza, de modo de controlar el estricto cumplimiento de la geometría especificada en el Proyecto.

Una vez recibidas las estructuras en maestranza, se procederá a su limpieza e imprimación anticorrosiva. O bien, si así se especifica, recibirá un baño de galvanizado en caliente, cumpliendo con lo establecido en ASTM A 123 para los tubos y ASTM A 153 para pernos y tuercas.

D.2.3. Transporte

El transporte de los elementos sólo podrá realizarse con posterioridad a su recepción en maestraza, por el Ingeniero.

El Contratista deberá contar en faena con los elementos adecuados para la descarga y la manipulación de los perfiles en forma segura y eficiente.

Debe cuidarse en todo momento de no dañar la imprimación anticorrosiva de protección ejecutada en maestraza.

D.2.4. Colocación

El Contratista deberá contar en faena con los elementos necesarios para realizar los movimientos internos y colocación de las estructuras en su posición definitiva sobre la calzada, en forma segura y expedita, cautelando no sólo la seguridad de la estructura sino muy especialmente, la de los trabajadores encargados de esa obra.

Se deberá poner especial cuidado en no someter a la estructura a esfuerzos no contemplados y evitar golpes que puedan ocasionar deformaciones permanentes en los elementos. Deberá cuidarse en todo momento de no dañar la imprimación anticorrosiva de protección hecha en maestraza.

El personal deberá utilizar elementos de seguridad en las faenas de lanzamiento, situación que será controlada por el Ingeniero.

Los arriostramientos deberán ser colocados de acuerdo a lo señalado en el Proyecto, inmediatamente después de presentada la estructura en su posición definitiva.

D.2.5. Medidas de seguridad

Durante la ejecución de las obras, el Contratista tomará todas las medidas necesarias con respecto a la seguridad del tránsito, peatones y del personal de obra.

E. CONTROL POR EL INGENIERO

E.1. Controles

Durante la ejecución de los trabajos, el Ingeniero adelantará los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y funcionamiento de todo el equipo empleado por el Constructor.
- Comprobar que todos los materiales cumplan los requisitos exigidos en esta Guía.
- Efectuar mediciones de reflectividad con un retrorreflectómetro que mida directamente los valores en las unidades candela/candela-pie/pie² indicadas la norma técnica correspondiente.
- Comprobar la correcta instalación de las señales, de acuerdo con los diseños suministrados.
- Contar y medir, para efectos de pago, las señales correctamente elaboradas e instaladas.

E.2. Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

- a) Calidad de los materiales: No se admiten tolerancias en relación con los requisitos establecidos para los diversos materiales que conforman las señales y su anclaje.
- b) Excavación: La excavación no podrá tener dimensiones inferiores a las establecidas en este capítulo.
- c) Inspección previa: Previo al recibo de las señales, el Ingeniero hará una inspección en horas nocturnas, con la ayuda de una linterna apoyada en la frente, con la cual iluminará la señal para percibir su calidad y detectar las zonas que no reflectan.
- d) Instalación: Las señales verticales de tránsito sólo se aceptarán si su instalación está en un todo de acuerdo con las indicaciones de los planos y de las especificación del presente capítulo. Todas las deficiencias que excedan las tolerancias mencionadas deberán ser subsanadas por el Contratista, a plena satisfacción del Ingeniero.

F. MEDICIÓN

Las señales verticales de tránsito se medirán por unidad suministrada e instalada, de acuerdo con los documentos del proyecto y las especificaciones de este Manual, a satisfacción del Ingeniero.

Las señales de tránsito que a petición de la entidad hayan sido cotizadas por metro cuadrado (m²), se pagarán de acuerdo con esta unidad de medida.

G. PAGO

El pago de las señales verticales de tránsito se hará al respectivo precio unitario del contrato, para todo trabajo ejecutado de acuerdo con las especificaciones del mismo y aceptado a satisfacción por el Ingeniero.

El precio unitario deberá cubrir los costos de todos los materiales que conforman la señal, su fabricación, desperdicios, almacenamiento y transporte hasta el sitio de instalación; la excavación, el transporte y disposición en los sitios que defina el Ingeniero de los materiales excavados; los cantos, el concreto y las formaletas que eventualmente se requieran para el anclaje, así como todo costo necesario para el correcto cumplimiento de las especificaciones técnicas.

H. PARTIDAS DEL PRESUPUESTO Y BASES DE MEDICIÓN

Las partidas del presupuesto serán denominadas de acuerdo a lo que se establece en esta Guía y se indique en el Proyecto. Los nombres de cada partida podrán ser modificados y/o complementados con dimensiones u otros datos que el proyectista estime convenientes, para identificar claramente cada partida de pago, en particular cuando se tengan que manejar varios ítems similares, pero de tamaños diferentes.

Las Partidas del presupuesto y bases de medición para la ejecución de proyectos de construcción de señalización vertical son:

H.1. Señalización vertical lateral (Pza.)

Esta partida incluye el suministro y colocación de señalización vertical lateral del tipo reglamentario, preventivo e informativo, cualesquiera sean sus dimensiones y características, incluyendo postes de sustentación, cualquiera sea su número y tipo, pernos, accesorios, excavaciones,

rellenos y todas las actividades y operaciones necesarias para cumplir lo especificado, salvo la estructura de sustentación tipo Marco o Bandera.

Se cuantificará por unidad (Pieza) de señalización vertical lateral de cualquier tipo, instalada al lado o en la plataforma del camino, y la medición se efectuará según la cantidad requerida por el Proyecto y aprobada por el Ingeniero.

H.2. Señalización vertical lateral (m²)

Esta partida incluye el suministro y colocación de señalización vertical lateral del tipo reglamentario, preventivo e informativo, cualesquiera sean sus dimensiones y características, incluyendo postes de sustentación, cualquiera sea su número y tipo, pernos, accesorios, excavaciones, rellenos y todas las actividades y operaciones necesarias para cumplir lo especificado, salvo la estructura de sustentación tipo Marco o Bandera.

Se cuantificará por metro cuadrado (m²) de placa de señalización vertical instalada al lado o en la plataforma del camino y la medición se efectuará según la cantidad requerida por el Proyecto y aprobada por el Ingeniero.

H.3. Señalización vertical sobre la calzada (Pza.)

Esta partida incluye el suministro y colocación de señalización vertical sobre la calzada, del tipo informativo, cualesquiera sean las dimensiones y características de la señal, y demás elementos componentes; incluye además todos los materiales, operaciones y actividades necesarios para cumplir con lo especificado.

Se cuantificará por unidad (Pieza) de señal vertical sobre la calzada, de cualquier tipo, instalada sobre la calzada del camino. La medición se efectuará según la cantidad requerida por el Proyecto y aprobada por el Ingeniero.

H.4. Señalización vertical sobre la calzada (m²)

Esta partida incluye el suministro y colocación de señalización vertical sobre la calzada, del tipo informativo, cualesquiera sean las dimensiones y características de la señal, y demás elementos componentes; incluye además todos los materiales, operaciones y actividades necesarios para cumplir con lo especificado.

Se cuantificará por metro cuadrado (m²) de placa de señalización vertical, de cualquier tipo, instalada sobre la calzada del camino. La medición se efectuará según la cantidad requerida por el Proyecto y aprobada por el Ingeniero.

H.5. Estructura bandera portaseñal (Pza.)

Esta partida incluye el suministro y colocación en el emplazamiento especificado en el Proyecto, de todos los elementos estructurales para la conformación de la Bandera Portaseñal: excavaciones, armaduras, hormigón, estructura metálica, elementos de conexión, etc., para cumplir con el Proyecto y la presente especificación. No se incluyen los letreros de cada portaseñal y su proceso de instalación. La medición será por estructura portaseñal colocada.

Se cuantificará por unidad (Pieza), de estructura portaseñal tipo bandera instalada y la medición se efectuará según la cantidad requerida por el Proyecto y aprobada por el Ingeniero.

H.6. Marco portaseñal (Pza.)

Esta partida incluye el suministro y colocación en el emplazamiento especificado en el Proyecto, de todos los elementos estructurales para la conformación del Marco Portaseñal: excavaciones, armaduras, hormigón, estructura metálica, elementos de conexión, etc., para cumplir con el Proyecto y la presente especificación. No se incluyen los letreros de cada portaseñal y su proceso de instalación. La medición será por estructura portaseñal colocada.

Se cuantificará por unidad (Pieza), de estructura portaseñal tipo marco instalada y la medición se efectuará según la cantidad requerida por el Proyecto y aprobada por el Ingeniero.

H.7. Señalización de canalización y balizamiento (Pza.)

Esta partida incluye el suministro y colocación de señalización de canalización y balizamiento, cualesquiera sean las dimensiones materiales y características de la señal y demás elementos componentes; incluye además todos los materiales, operaciones y actividades necesarias para el cumplimiento de lo especificado.

Se cuantificará por unidad (Pieza de señal de canalización o balizamiento, de cualquier tipo, instalada al lado o en la plataforma del camino. La medición se efectuará según la cantidad requerida por el Proyecto y aprobada por el Ingeniero.

I. CONSERVACIÓN

Para que una señal cumpla cabalmente su objetivo, debe encontrarse en una posición muy precisa respecto del camino. Los valores recomendados para la ubicación lateral y la altura de las señales son los indicados en los capítulos correspondientes de la presente Guía.

El poste debe ser vertical, con una desviación no mayor que 0,02 m/m.

La nitidez y legibilidad de los símbolos o lecturas de la placa es muy sensible aún a pequeños defectos, como abolladuras, torceduras, rayados, saltaduras producidas por golpes y pérdidas de reflectancia. Para decidir cuándo una placa que ha superado con éxito el control de posición ha perdido legibilidad, debe inspeccionarse tanto de día como de noche. Si el problema está motivado por una pérdida de retroreflectancia, deberá comprobarse que se encuentra limpia de polvo u otra suciedad, y además medir dicho parámetro según se indica en las Especificaciones Técnicas e Instructivos vigentes.

- a) Remoción de la señal existente. La señal por reemplazar deberá removerse empleando procedimientos que le eviten todo daño innecesario, en especial, si esta admite una reparación en el taller. Primeramente la placa deberá desmontarse del o de los postes, de manera de evitarle torceduras; en seguida, si se va a reemplazar el poste, se excavará alrededor del o de los postes de manera de retirarlos, incluso con el hormigón de empotramiento, sin someterlos a esfuerzos que pudieran dañarlos.
- b) Colocación de la señal nueva. Salvo que durante las inspecciones se hubiera detectado que en el lugar resulta conveniente colocar una señal diferente, normalmente la señal de reemplazo será igual a la retirada. La instalación se ajustará a lo que indiquen las Especificaciones Técnicas e Instructivos vigentes.

Los procedimientos que se utilicen para realizar los trabajos especificados no deberán afectar, en forma alguna, el pavimento, las banquetas y demás elementos del camino; cualquier daño deberá ser reparado como parte de esta operación. Los materiales extraídos o sobrantes deberán trasladarse a botaderos autorizados, dejando el área de los trabajos completamente limpia.

A continuación se especifican las labores a realizar para Limpieza, Reacondicionamiento y Reemplazo de señales verticales.

I.1. Limpieza

Esta operación se refiere a la limpieza de la cara donde se encuentran los símbolos y leyendas de una placa de señalización, tanto vertical como montada en un pórtico, incluyendo postes y estructuras soportantes. El objetivo es retirar el polvo, grasas, aceites, papeles adheridos o cualquier otra suciedad que disminuya la nitidez y legibilidad.

i. Materiales

Se utilizará cualquier material que no dañe ni perjudique la vida útil de la señal.

ii. Procedimientos de trabajo

Se utilizará cualquier procedimiento de trabajo que asegure una perfecta limpieza de la señal. Los procedimientos que se utilicen para realizar los trabajos especificados no deberán afectar en forma alguna el pavimento, las banquetas y demás elementos del camino; cualquier daño deberá ser reparado como parte de esta operación. Los materiales extraídos o sobrantes deberán trasladarse a botaderos autorizados, dejando el área de los trabajos completamente limpia.

1.2. Reacondicionamiento

i. Señales Laterales

Se entiende por reacondicionamiento a los trabajos requeridos para reacondicionar o reparar señales camineras verticales laterales. Incluye el reacondicionamiento de postes, así como de placas de señales, ya sean preventivas, reglamentarias, informativas, turísticas y de balizamiento, cualquiera fueren sus dimensiones y características.

La operación considera la reutilización de los elementos que presenten torceduras menores, pero que puedan ser enderezadas, y de los postes y marcos en buenas condiciones, por lo que no incluye el reemplazo de postes ni placas.

i.1) Materiales

Las leyendas, letras, ribetes, números, flechas, pictogramas y símbolos, se materializarán mediante Figuras retrorreflectantes, de los colores y formas específicas y que cumplan los requisitos estipulados en las Especificaciones Técnicas e Instructivos vigentes.

Las placas se fijarán a los postes mediante pernos del tipo y calidad especificados en los Instructivos vigentes.

Las placas y postes no zincados deberán protegerse con dos manos de pintura anticorrosiva sintética y dos capas de esmalte alquid-fenólico compatible con el anticorrosivo, color gris perla (este último no se colocará en la superficie que lleva los símbolos y letras).

Cuando resulte necesario remover un poste para reacondicionarlo, se recolocará en el terreno empotrándolo a lo menos 0,50 m en un hoyo de sección mínima de 0,35 m x 0,35 m relleno con hormigón Tipo H – 16.

i.2) Postes

Sólo deberán reutilizarse postes que no presenten torceduras ni dobleces, por lo que, si resulta necesario removerlos, deberán utilizarse procedimientos que le eviten todo daño innecesario.

Se aceptarán postes con abolladuras siempre que no impliquen torceduras; serán aceptables cuando no se desvíen, en ningún sentido, en más de 0,01 m/m respecto de una línea recta teórica.

La readecuación implica una limpieza completa, retirando todo vestigio de hormigón, pintura suelta, herrumbre y cualquier otra suciedad. La limpieza será grado SSPC-SP2, que básicamente es un procedimiento de limpieza para la remoción de

materias extrañas o perjudiciales, tales como grasas, aceites, lubricantes de corte y toda presencia de material soluble o contaminante de la superficie de acero, utilizando solventes, emulsiones, compuestos de limpieza, limpieza a vapor o materiales similares y métodos que ejerzan una acción disolvente o de limpieza. La herrumbre y la pintura suelta se eliminan mediante raspado y cepillado manual con escobilla de acero.

Una vez limpios los postes no galvanizados se pintarán con dos capas de anticorrosivo aplicado con pistola, de 0,03 mm de espesor total mínimo de película seca, y se terminarán con dos capas de esmalte alquid-fenólico compatible con el anticorrosivo, color gris perla, aplicado con pistola y de espesor total mínimo de 0,03 mm, según las Especificaciones Técnicas e Instructivos vigentes.

i.3) Placas

Sólo deberán reutilizarse placas en buen estado que presenten torceduras, dobleces o abolladuras menores. Las placas deberán limpiarse completamente, retirando todo vestigio de grasas, pintura, Figura reflectante, herrumbre y cualquier otra suciedad; el limpiado será grado SSPC-SP3 que es básicamente un método de preparación de superficies de metal para recibir pinturas, por remoción de escamas de laminación, herrumbre y pinturas sueltas o mal adheridas, con cepillos de alambre mecánicos, herramientas mecánicas de impacto, esmeriladora mecánica o por una combinación de estos métodos. Al término de la limpieza la superficie deberá presentarse rugosa y con un claro anillo metálico. En este tipo de limpieza debe cuidarse de no bruñir la superficie metálica, a fin de lograr una buena adherencia de la pintura a la base. Las placas no zincadas se pintarán por el reverso con dos capas de pintura anticorrosiva, y por el anverso se colocarán las figuras retrorreflectante que cumplan con las Especificaciones Técnicas e Instructivos vigentes, con los colores, símbolos y letras que correspondan. Por el reverso se terminarán con dos capas del esmalte especificado, debiendo llevar, además, un símbolo que exprese la fecha y el nombre de la empresa responsable de su reacondicionamiento.

Las placas se fijarán al o los postes mediante los pernos y tuercas que cumplan con las Especificaciones Técnicas e Instructivos vigentes, las que se afianzarán mediante un punto de soldadura u otro procedimiento aprobado por el Ingeniero que evite robos.

Las leyendas, letras, ribetes, números, flechas, pictogramas y símbolos, se materializarán mediante figuras retrorreflectantes, que cumplan los requisitos estipulados en las Especificaciones Técnicas e Instructivos vigentes.

Durante todo el tiempo que tarde el reacondicionamiento de las señales del tipo reglamentario y preventivas, se deberá mantener en el mismo lugar una señal provisoria que cumpla la misma función que la retirada o en reparación.

i.4) Disposiciones adicionales

Los procedimientos que se utilicen para realizar los trabajos especificados no deberán afectar, en forma alguna, el pavimento, las banquetas y demás elementos del camino; cualquier daño deberá ser reparado como parte de esta operación. Los materiales extraídos o sobrantes deberán trasladarse a botaderos autorizados, dejando el área de los trabajos completamente limpia.

Cuando los trabajos se realicen con el camino en servicio, antes de iniciarlos deberán adoptarse las medidas que aseguren la seguridad de los trabajadores.

ii. Señales Aéreas

Esta operación especifica los trabajos requeridos para reparar señales verticales sobre la calzada, tipo marco o bandera, incluyendo la reparación de las placas de señales. Los pórticos a que se hace referencia son los definidos en los planos y Especificaciones Técnicas correspondientes, o similares, cualquiera fueren sus dimensiones y características. Además incluye el caso de letreros construidos con plancha satinada de 1 mm de espesor, remachadas a un bastidor de perfiles de acero.

ii.1) Materiales

Los perfiles que forman parte de la estructura del pórtico y que resulten necesarios reemplazar, deberán ajustarse a lo indicado en los planos y Especificaciones Técnicas vigentes, o los planos de construcción específicos del proyecto de señalización vertical sobre la calzada pre aprobados por el Ingeniero, según corresponda.

Los perfiles para reemplazar secciones deterioradas de los bastidores deberán ajustarse a lo estipulado en el proyecto aprobado preliminarmente por el Ingeniero.

En el caso de placas satinadas por reemplazar, se utilizarán materiales del mismo tipo (calidad y espesor), y se remacharán al bastidor, de acuerdo a los planos y especificaciones del proyecto original en las Especificaciones Técnicas e Instructivos vigentes.

Las leyendas, letras, ribetes, números, flechas, pictogramas y símbolos se materializarán mediante Figuras retrorreflectantes, de los colores y formas específicas y que cumplan los requisitos estipulados en este capítulo.

Las placas y estructuras no zincadas deberán protegerse con dos manos de pintura anticorrosiva sintética y dos capas esmalte alquid-fenólico, compatible con el anticorrosivo, color gris perla (este último no se colocará en la superficie que lleva los símbolos y letras).

Cuando resulte necesario remover el marco o pórtico de una señal vertical sobre la calzada para reacondicionarlo, éste se recolocará en el terreno en una fundación de hormigón armado Tipo H-25, de las dimensiones que se indican en las Especificaciones Técnicas o en el proyecto preaprobado por el Ingeniero.

ii.2) Procedimientos de trabajo

Los pórticos podrán repararse directamente en el terreno o desmontarse, parcial o totalmente, para trabajar en taller, según lo que resulte más adecuado. En este último caso el anclaje de la estructura deberá restituirse en las mismas condiciones originales o del proyecto, si lo hubiere.

Todos los elementos que no puedan ser reparados satisfactoriamente deberán reemplazarse por nuevos, cumpliendo las Especificaciones Técnicas e Instructivos vigentes.

ii.3) Pórticos y bastidores

Las secciones de acero que integran los pórticos, pilares y vigas, así como los perfiles de los bastidores, que presenten torceduras o dobleces, deberán enderezarse o, si ello no es posible, reemplazarse por elementos iguales en buen estado. Si es necesario también deberá repararse la fundación, reemplazando pernos de anclaje y cualquier otro elemento que se encuentre deteriorado, según proyecto original o cumpliendo las Especificaciones Técnicas e Instructivos vigentes.

Los perfiles de acero deberán limpiarse completamente, retirando todo vestigio de pintura suelta, herrumbre y cualquier otra suciedad. Una vez limpios los elementos no galvanizados se pintarán con dos capas de anticorrosivo, aplicado con pistola, de 0,03 mm de espesor total mínimo de película seca, y se terminarán con dos capas de esmalte alquid-fenólico, compatible con el anticorrosivo, color gris perla, aplicado con pistola y de espesor total mínimo de 0,03 mm.

ii.4) Placas

Las placas por reutilizar deberán encontrarse sin torceduras, dobleces o abolladuras que impidan afianzarlas perfectamente al bastidor según las Especificaciones Técnicas e Instructivos vigentes. Deberán limpiarse completamente, retirando todo vestigio de grasas, pintura, figura reflectiva, herrumbre y cualquier otra suciedad.

Después de la limpieza se pintarán por el reverso de la misma forma especificada para los perfiles de acero, debiendo llevar un símbolo que indique la fecha y nombre de la empresa responsable de su reacondicionamiento. Por el anverso las placas se pintarán con dos capas de anticorrosivo, para luego utilizar figuras retroreflectantes que cumplan con los requisitos estipulados en las Especificaciones Técnicas e Instructivos vigentes.

Las leyendas, letras, ribetes, números, flechas, pictogramas y símbolos se materializarán mediante figuras retrorreflectantes que cumplan los requisitos estipulados en este capítulo.

Durante todo el tiempo que tarde el reacondicionamiento de una señal de este tipo, en el mismo lugar de ésta se deberá mantener una señal vertical lateral provisoria que cumpla la misma función que la que se encuentra en reparación, y que tenga dimensiones concordantes con la velocidad de diseño del tramo o sector del camino.

Los procedimientos que se utilicen para realizar los trabajos especificados no deberán afectar, en forma alguna, el pavimento, las banquetas y demás elementos del camino; cualquier daño deberá ser reparado como parte de esta operación.

Los materiales extraídos o sobrantes deberán trasladarse a botaderos autorizados, dejando el área de los trabajos completamente limpia.

1.3. Reemplazo de señales verticales laterales

La operación especifica los trabajos requeridos para reemplazar señales camineras verticales laterales que no puedan reacondicionarse mediante otras operaciones, así como también la instalación de señales verticales nuevas. Se incluyen todas las señales preventivas, reglamentarias, informativas, turísticas y de balizamientos, cualquiera fueren sus dimensiones y características.

i. Señales Laterales

La siguiente especificación es válida para las señales cuya superficie de la placa sea inferior a 3 m², correspondientes a señales preventivas, reglamentarias, informativas y de balizamiento.

De acuerdo al material con el que esté confeccionada la señal a reemplazar, las placas serán preferentemente de los mismos materiales que la señal original, y se cumplirá lo establecido en el numeral 3.3.3.3.2, punto B (MATERIALES) del presente Capítulo de Especificaciones Técnicas Generales.

En caso necesario, el Ingeniero podrá autorizar su fabricación en lámina de acero galvanizado.

i.1) Placas para escudos

De acuerdo al material con el que esté confeccionada la señal a reemplazar, las placas serán preferentemente de los mismos materiales que la señal original, y se cumplirá lo establecido en el numeral 3.3.3.3.2, punto B (MATERIALES) del presente Capítulo de Especificaciones Técnicas Generales.

En caso necesario, el Ingeniero podrá autorizar su fabricación en lámina de acero galvanizado.

i.2) Postes

Los postes de reemplazo cumplirán lo establecido en el numeral 3.3.3.3.2 (B) (MATERIALES) del presente Capítulo de Especificaciones Técnicas Generales en lo que corresponde a este material.

ii. Placas de un área mayor a 3 m²

Las placas para las señales cuya superficie de la placa sea igual o superior a 3 m² e inferior que 12 m², deberán cumplir lo establecido en las Especificaciones Técnicas e Instructivos vigentes, sean preventivas, reglamentarias, informativas o aéreas. Se confeccionarán con plancha de acero satinada del mismo espesor de la placa que reemplaza o en su defecto, si el Ingeniero lo autoriza, de 1 mm de espesor mínimo, sometida al mismo tratamiento anticorrosivo señalado para las señales verticales.

ii.1) Postes

Los postes para las señales de dimensiones especiales, superficie de la placa igual o superior que 3 m² e inferior que 7 m², sean preventivas, reglamentarias o informativas, se confeccionarán con perfiles de acero de 100 x 100 x 3 mm los que se someterán al mismo tratamiento señalado para los destinados a señales verticales.

Los postes para las señales de dimensiones de la placa igual o superior que 7 m² e inferior que 12 m², serán de perfiles de acero de 120 x 120 x 4 mm, los que se someterán al mismo tratamiento señalado para los destinados a señales verticales.

iii. Postes para delineadores

Los postes para los delineadores serán de perfiles angulares de 38 x 38 x 4,76 mm (1½" x 1½" x 3/16") los que se someterán al mismo tratamiento señalado para los destinados a señales verticales.

iv. Pernos

Los pernos, de 6 x 64 mm, y tuercas serán zincados, según norma ASTM A 153-82.

v. Hormigón

El relleno de las excavaciones para empotrar los postes deberá realizarse con hormigón Tipo H – 16.

vi. Otros materiales

Alternativamente en las placas y letreros se podrán usar otros tipos de materiales aprobados en las Especificaciones Técnicas e Instructivos vigentes, tales como aluminio, materiales sintéticos, cintas de alta adherencia u otros que señale el Proyecto.

vii. Señales Aéreas

El reemplazo de placas en señales áreas corresponde al indicado en reemplazo de placas de un área mayor a 3 m².

El reemplazo de la estructura de una señal área se someterán al mismo tratamiento señalado para los destinados a la construcción de señales aéreas nuevas.

1.4. Partidas del presupuesto y bases de medición

Debido a las características especiales de los trabajos de reacondicionamiento y reparación de la señalización vertical, el Ingeniero estimará la necesidad de introducir en el presupuesto, partidas adicionales o distintas de las mencionadas en este acápite, con el fin de establecer una identificación clara y uniforme de los trabajos a ejecutar.

Las Partidas del presupuesto y bases de medición para la ejecución de proyectos de Mantenimiento y Conservación de señalización vertical son:

i. Limpieza de señales laterales (Pza.)

La operación comprende todos los trabajos necesarios para limpiar la cara que contiene los símbolos y leyendas de las señales camineras verticales de acuerdo con los procedimientos especificados, cualquiera fueren sus dimensiones, posición o características, como asimismo los postes y la estructura soportante.

La operación se cuantificará por unidad (Pieza) de señal limpia.

ii. Limpieza de señales aéreas (m²)

La operación comprende todos los trabajos necesarios para limpiar la cara que contiene los símbolos y leyendas de las placas con señales instaladas en marcos porta-lettreros y otras estructuras similares, de acuerdo con los procedimientos especificados, cualquiera fueren sus dimensiones, posición o características, como asimismo los postes y la estructura soportante.

La operación se cuantificará por metro cuadrado (m²) de superficie de señal limpia.

iii. Reacondicionamiento de placas en señales laterales: (Pza.)

La operación comprende todos los trabajos necesarios para reacondicionar placas de señalización vertical lateral, cualquiera fueren sus dimensiones y características. Incluye desmontar la placa, si fuera necesario, enderezarla para dejarla en una condición aceptable, la limpieza y pintura, así como la colocación de los símbolos y leyendas que se indiquen, con los materiales especificados para cada situación.

La operación se cuantificará por unidad (Pieza) de placa reacondicionada y reinstalada en el camino.

iv. Reacondicionamiento de postes en señales laterales: (Pza.)

La operación comprende todos los trabajos necesarios para reacondicionar postes de señalización vertical lateral, cualquiera fueren sus dimensiones y características. Incluye desmontar la placa y el propio poste, si fuera necesario, enderezarlo para dejarlo en una condición aceptable, la limpieza y pintura, así como la recolocación en el terreno empujándolo con hormigón, y la recolocación de la placa.

v. Reacondicionamiento de señales aéreas sobre 1 pista (Pza.)

La operación comprende todos los trabajos necesarios para reacondicionar las señales verticales sobre la calzada de una pista, en que se deberán reparar las fundaciones, enderezar las piezas torcidas, o reemplazarlas por otras nuevas si ello no es posible, la limpieza y pintura, así como la colocación de los símbolos y leyendas que se indiquen, con los materiales especificados para cada situación, cualquiera fuera su tipo y dimensiones, incluye desmontajes, montajes y los traslados que resulten necesarios.

La operación se cuantificará por unidad (Pieza) de señal vertical sobre la calzada de una pista reacondicionada, cualquiera fueren sus dimensiones y características.

vi. Reacondicionamiento de señales aéreas sobre 2 pistas (Pza.)

La operación comprende todos los trabajos necesarios para reacondicionar las señales verticales sobre la calzada de dos pistas, en que se deberán reparar las fundaciones, enderezar las piezas torcidas, o reemplazarlas por otras nuevas si ello no es posible, la limpieza y pintura, así como la colocación de los símbolos y leyendas que se indiquen, con los materiales especificados para cada situación, cualquiera fuera su tipo y dimensiones, incluye desmontajes, montajes y los traslados que resulten necesarios.

La operación se cuantificará por unidad (Pieza) de señal vertical sobre la calzada de dos pistas reacondicionada, cualquiera fueren sus dimensiones y características.

vii. Reacondicionamiento de señales aéreas sobre 3 pistas (Pza.)

La operación comprende todos los trabajos necesarios para reacondicionar las señales verticales sobre la calzada de tres pistas, en que se deberán reparar las fundaciones, enderezar las piezas torcidas, o reemplazarlas por otras nuevas si ello no es posible, la limpieza y pintura, así como la colocación de los símbolos y leyendas que se indiquen, con los materiales especificados para cada situación, cualquiera fuera su tipo y dimensiones, incluye desmontajes, montajes y los traslados que resulten necesarios.

La operación se cuantificará por unidad (Pieza) de señal vertical sobre la calzada de tres pistas, reacondicionada, cualquiera fueren sus dimensiones y características.

viii. Reacondicionamiento de señales aéreas sobre 4 pistas (Pza.)

La operación comprende todos los trabajos necesarios para reacondicionar las señales verticales sobre la calzada de cuatro pistas, en que se deberán reparar las fundaciones, enderezar las piezas torcidas, o reemplazarlas por otras nuevas si ello no es posible, la limpieza y pintura, así como la colocación de los símbolos y leyendas que se indiquen, con los materiales especificados para cada situación, cualquiera fuera su tipo y dimensiones, incluye desmontajes, montajes y los traslados que resulten necesarios.

La operación se cuantificará por unidad (Pieza) de señal vertical sobre la calzada de cuatro pistas reacondicionada, cualquiera fueren sus dimensiones y características.

ix. Reemplazo de placas de área inferior a 3 m² (Pza.)

La operación comprende todos los trabajos necesarios para remover únicamente la placa de una señal vertical dañada de área inferior a 3 m², cualquiera fuera su tipo y dimensiones y transportarla al taller o bodega que se indique y la provisión y colocación de otra placa nueva de dimensiones normales.

La operación se cuantificará por unidad (Pieza) de placa reemplazada.

x. Reemplazo de placas de área superior a 3 m² (Pza.)

La operación comprende todos los trabajos necesarios para remover únicamente la placa de una señal vertical dañada de área superior a 3 m², cualquiera fuera su tipo y dimensiones y transportarla al taller o bodega que se indique y la provisión y colocación de otra placa nueva de dimensiones especiales.

La operación se cuantificará por unidad (Pieza) de placa reemplazada.

xi. Reemplazo de postes de señales de placas de área inferior a 3 m² (Pza.)

La operación comprende todos los trabajos necesarios para remover completamente una señal vertical lateral de área inferior a 3 m², pero con el propósito de reemplazar únicamente el o los postes sustentadores, reutilizando la misma placa existente, cualquiera fuera su tipo y dimensiones, incluyendo todos los materiales que la operación demande.

La operación se cuantificará por unidad (Pieza) de poste reemplazado.

xii. Reemplazo de postes de señales de placas de área superior a 3 m² (Pza.)

La operación comprende todos los trabajos necesarios para remover completamente una señal vertical lateral de área superior a 3 m², pero con el propósito de reemplazar únicamente él o los postes sustentadores, reutilizando la misma placa existente, cualquiera fuera su tipo y dimensiones especiales, incluyendo todos los materiales que la operación demande.

La operación se cuantificará por unidad (Pieza) de poste reemplazado.

3.3.3.3.3. SEÑALES HORIZONTALES

A. DESCRIPCIÓN

A.1. Pinturas y resinas de demarcaciones sobre el pavimento

Este acápite tiene por objeto establecer las guías básicas por seguir en el suministro, almacenamiento, transporte y aplicación de pintura de tráfico o resina termoplástica de aplicación en caliente, reflectorizada con microesferas de vidrio para líneas y marcas viales sobre un pavimento, de acuerdo con las dimensiones y colores que indiquen los planos del proyecto o establezca el Ingeniero.

En sectores urbanos que cuenten con iluminación se recomienda utilizar pintura Acrílica - en Base Solvente.

En sectores urbanos sin iluminación e interurbanos se recomienda utilizar resinas Termoplásticas de Aplicación en Caliente.

A.2. Captafaros

Este trabajo consiste en el suministro, almacenamiento, transporte y colocación, en las defensas metálicas de la vía, de dispositivos destinados a la orientación del tránsito automotor en horas de la noche. Los captafaros se instalarán en los sitios y con las dimensiones que se indiquen en los documentos del proyecto o que establezca el Interventor.

A.3. Hitos de arista

Se define como Hito de Arista o Delineador de Corona un poste dotado de uno o varios elementos reflectivos que se colocan verticalmente en los márgenes de la corona (calzada más banquina) de una vía.

Los hitos de arista tendrán por objeto delimitar los bordes de las vías durante las horas de oscuridad, en condiciones atmosféricas adversas o en tramos de vía que presenten inconvenientes de visibilidad para los conductores. También podrán servir para materializar los hectómetros de la vía, lo cual es muy útil para los estudios de accidentalidad, trabajos de conservación y otros temas.

A.4. Tachas reflectivas

Las tachas reflectivas son dispositivos de señalización horizontal destinados a reforzar las demarcaciones del pavimento, con el fin de hacerlas visibles de noche y especialmente en condiciones atmosféricas adversas (lluvia y/o niebla).

B. MATERIALES

B.1. Pintura y resinas de demarcaciones sobre el pavimento

Existe una gran variedad de materiales para demarcar, con diversidad de costos, duración y métodos de instalación, correspondiendo a las entidades responsables de las vías, seleccionar y especificar los que mejor satisfagan sus necesidades. En esta decisión deben considerarse las características nocivas, que para la salud de las personas y el medio ambiente presentan algunos productos, así como el tipo de pavimento y el flujo vehicular, entre otros factores.

La presente especificación técnica corresponde a los materiales que son aplicados en capas delgadas, como pinturas, materiales plásticos, termoplásticos, cintas preformadas, entre otros.

Las pinturas para demarcación del pavimento, se pueden dividir en cuatro grupos: convencionales, termoplásticos en caliente, plásticas multicomponentes en frío y materiales prefabricados. Para las labores de demarcación se utilizarán solo las indicadas a continuación.

Se recomienda el uso de resinas termoplásticas o materiales prefabricados de larga duración o plásticos de dos componentes de aplicación en frío, en la demarcación de carreteras con superficie de calzada en buen estado y tránsito promedio diario superior a cinco mil vehículos (5000 veh). Igualmente se recomienda utilizar estos materiales en las líneas centrales, en carreteras de tipo montañoso en buen estado, con tránsito promedio diario superior a dos mil quinientos vehículos (2500 veh). Las demás demarcaciones se harán con pinturas de aplicación en frío. En calles o vías urbanas, la entidad encargada de la construcción o del mantenimiento podrá aplicar cualquiera de los materiales especificados.

B.1.1. Pinturas de aplicación en frío

Acrílica - En Base Solvente: Estas pinturas proporcionan la película de mayor calidad dentro de las convencionales y al mismo tiempo su proceso de secado es el más rápido por ser sólo físico.

Están constituidas por polímeros acrílicos puros, fundamentalmente de metil-metacrilato, o bien se modifican con estireno, por ejemplo, con el fin de mejorar su extensibilidad e incluso aumentar su dureza superficial, aunque la resistencia a la intemperie es sensiblemente menor, presentando tendencia al amarillamiento.

Las ventajas de este tipo de pintura son:

- Alta calidad de la película de acabado.
- Tiempo de secado en terreno más corto que las restantes películas convencionales.
- Mejores propiedades con menor contenido en ligante y pigmento.
- Muy buena resistencia a la intemperie y a los agentes químicos.
- Compatibilidad con pavimentos de hormigón.

En lo que corresponde a las desventajas, estas son:

- Afinidad limitada sobre pavimentos flexibles nuevos (falta adherencia inicial).
- Dependiendo de la composición de los disolventes, requiere precaución en repintados.

Requisitos de los materiales base

Los requisitos que deberán presentar los materiales base empleados en la confección de las demarcaciones son:

- i. Resistencia al sangrado: Se entenderá por sangrado la reacción química que se origina entre el sustrato asfáltico con los componentes solventes de la pintura, lo cual produce en la superficie de la pintura un descoloramiento o teñido que afecta la relación de contraste. De ahí la conveniencia en especificar un producto que no reaccione con el asfalto. El requerimiento solicitado es la diferencia en el factor de luminancia sea menor o igual a 0,05 y el color resultante quede dentro del polígono de colores definido en la tabla 107.4.
- ii. Poder Cubridor: La relación de contraste, entre el factor de luminancia de la película seca de pintura blanca sobre cuadro blanco, respecto al factor de luminancia de la película seca de pintura blanca sobre cuadro negro, no será inferior al 95% y en el caso de la pintura amarilla no deberá ser menor al 90%.
- iii. Tiempo de Secado: El tiempo de secado para pinturas debe ser menor o igual a 30 minutos, pero lo suficientemente alto de manera que permita sembrar las microesferas cuando sea necesario y que estas se puedan incorporar a la demarcación.
- iv. Flexibilidad: De acuerdo a exigencias, se solicita que el agrietamiento no deberá ser superior a 12 mm.
- v. Color: Se exige que la pintura esté dentro de polígono de colores indicado en tabla 107.4.
- vi. Adherencia: La demarcación debe resistir como mínimo una fuerza de 1,96 Mpa, empujando un espesor de película húmeda de 500 μm sobre una probeta normalizada.
- vii. Envejecimiento Artificial Acelerado: Al ser ensayada la muestra de pintura, la diferencia de factor de luminancia $\Delta\beta$, diferencia entre luminancia original y después de expuesta, deberá ser menor a 0,05. Las coordenadas cromáticas se mantendrán dentro del espacio de color definido en tabla 107.4.

La ejecución de los ensayos pertinentes y su aprobación, no representará necesariamente que la demarcación cumpla con las especificaciones exigidas para su aprobación, ya que se deberá además controlar los materiales complementarios que componen la demarcación, es decir microesferas de vidrio y diluyentes.

Diluyentes

En general las pinturas que se comercializan en el mercado vienen listas para ser aplicadas, por lo tanto, es importante conocer el tipo de diluyentes que se empleen para la limpieza de equipos y herramientas, con la finalidad que sean compatibles con la pintura aplicada. Al respecto, se recomienda consultar con el proveedor esta característica.

B.1.2. Resina termoplástica

Son materiales exentos de disolventes y presentables en cualquier forma física sólida que permita, después del calentamiento, su aplicación mediante un método adecuado (spray o pulverización y por extrusión).

Están basados fundamentalmente en resinas de hidrocarburos derivados del petróleo, aunque existen derivados de colofonia e incluso poliésteres y resinas epóxicas termofusibles.

El proceso de curado es por solidificación del material fundido.

Con este tipo de materiales se consigue la confección de marcas viales perfiladas. Estas marcas presentan ventajas indiscutibles desde el punto de vista de la seguridad vial, al tener un mejor comportamiento en cuanto a la visibilidad nocturna en condiciones climáticas adversas. Al mismo tiempo, provocan una señal perfectamente audible cuando se circula sobre ellas, lo que contribuye, por una parte, a un menor desgaste, pues el usuario se aparta rápidamente de ella, previniéndole al mismo tiempo, en situaciones de riesgo.

Las ventajas son:

- Muy rápido secado en obra.
- Excelente adherencia sobre pavimentos flexibles.
- Material de larga duración por su buena resistencia a la abrasión y la posibilidad de aplicar capas gruesas.
- Ecológico por carecer de disolventes.
- Rápida puesta en obra.

Entre sus limitaciones, se destacan las siguientes:

- Requiere el uso de imprimación para la aplicación directa sobre pavimentos de hormigón.
- Requiere personal calificado para su aplicación y maquinaria sofisticada.

Los materiales definidos en el presente manual podrán ser otros siempre que cuenten con la debida autorización del MOPC.

- i. Color: Blanco o amarillo, definidos por las coordenadas cromáticas del Sistema Colorimétrico Estándar CIE 1931. Ver Tabla 3.3.3_ 22.

Tabla 3.3.3_17. COORDENADAS CROMÁTICAS PARA RESINA TERMOPLÁSTICA

COLOR	COORDENADAS CROMÁTICAS								FACTOR DE LUMINANCIA	
	1		2		3		4		DEMARCA- CIÓN	LABORATO- RIO
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y		
Blanco	0,355	0,355	0,305	0,305	0,285	0,325	0,335	0,375	> 0,30	> 84
Amari- llo	0,494	0,427	0,545	0,455	0,465	0,535	0,427	0,483	> 0,20	> 40

- ii. Composición: De acuerdo con lo establecido en la Tabla 3.3.3_ 23.

Tabla 3.3.3_18. COMPOSICIÓN DE RESINAS TERMOPLÁSTICAS BLANCA Y AMARILLA

COMPONENTE	COLOR	
	BLANCO	AMARILLO
Aglutinante	18% mínimo	18% mínimo
Dióxido de titanio	10% mínimo	0
Microesferas de premezclado	25% mínimo	25% mínimo
Pigmento amarillo	0	4% mínimo

- iii. Densidad relativa: La densidad relativa del material después de su fusión, será de dos, más o menos dos décimas de kilogramo por litro (2.0 + 0.2 kg/l). La determinación se hará de acuerdo con la norma MELC 12.132 o ASTM D 70-76.
- iv. Punto de reblandecimiento: El punto de reblandecimiento determinado por el método de anillo y bola, según la norma UNE 135.222 o ASTM D 36 o BS 2000-58 o ASTM E-28, no será inferior a ciento cinco grados Celsius (105 °C).
- v. Resistencia al flujo: La disminución en la altura del cono de material termoplástico, después de haber sido sometido a sesenta, más o menos dos grados Celsius (60±2°C) durante 24 horas, no será mayor del dos por ciento (2%), según norma UNE 135-223 o MELC 12.131.
- vi. Temperatura de inflamación: El material termoplástico se funde en un baño de aceite a ciento ochenta grados Celsius (180°C), homogeneizándolo mediante agitación durante al menos dos (2) horas. Una vez lograda la perfecta homogeneidad y fluidez de la muestra, se vierte en el vaso abierto de Cleveland de manera que la parte inferior de su menisco quede a un (1) centímetro de la marca de llenado, con el fin de prevenir desbordamientos del material durante el posterior calentamiento en la realización del ensayo. Si se añade un exceso de muestra se puede eliminar con una espátula o cucharilla en caliente.

Realizado el ensayo en el vaso abierto de Cleveland, según la norma MELC 12.133 o UNE 104-281 o ASTM D 92-78, la temperatura de inflamación no será inferior a doscientos cincuenta grados Celsius (250°C).
- vii. Factor de luminancia: Empleando un observador patrón 2º, geometría de medida 45/O y una fuente de luz de distribución espectral como la dada por el iluminante D65, el valor del factor de luminancia (B) será al menos de ochenta centésimas (0.80) para el color blanco y cuarenta centésimas (0.40) para el color amarillo (Norma UNE 48-073/2 o ISO 7724/2 o ASTM E97).
- viii. Estabilidad al calor: El valor del factor de luminancia después de mantener el material a doscientos más o menos dos grados Celsius (200±2°C) durante seis (6) horas con agitación continua, no variará en más de 3 centésimas (0,03). (Norma BS 3262-1).
- ix. Envejecimiento artificial acelerado: Se preparan dos probetas aplicando una película de material mediante un extendedor adecuado, a un rendimiento aproximado de dos mil seiscientos gramos por metro cuadrado (2.600 g/m²), sobre un recipiente de aluminio de ciento cincuenta milímetros (150 mm) por setenta y cinco milímetros (75 mm), por seiscientos veinticinco milímetros (625 mm), previamente desengrasada con disolvente, se dejan secar durante siete (7) días, en posición horizontal a veintitrés más o menos cinco grados Celsius (23±5°C) y cincuenta más o menos cinco por ciento (50±5%) de humedad relativa, protegidas de la radiación solar y del polvo, midiéndose inmediatamente antes de comenzar este ensayo, su color y factor de luminancia sobre la superficie exterior de la película. (Norma ASTM G-53). Realizado el ensayo durante ciento sesenta y ocho (168) horas, en ciclos de ocho (8) horas de radiación UV de longitud de onda comprendida entre doscientos ochenta

ta (280) nm y trescientos diez y seis (316) nm. A sesenta más o menos tres grados Celsius ($60\pm 3^{\circ}\text{C}$) y cuatro (4) horas de condensación a cincuenta más o menos dos grados Celsius ($50\pm 2^{\circ}\text{C}$), no se deberá producir un aumento o disminución en el factor de luminancia superior a cinco centésimas respecto al valor original. Por otra parte, el material aplicado después del ensayo y observado dos (2) horas después de su aplicación, no presentará defecto superficial alguno. (Norma UNE 48-251 o ASTM D 4587).

- x. Resistencia a la abrasión: Aplicado el material con un rendimiento tal que permita obtener un espesor de un milímetro (1 mm) y ensayada la muestra con un abrasímetro Taber con ruedas calibradas tipo H-22, con un peso de quinientos gramos (500 g) y en húmedo, no se deberá producir una pérdida de masa mayor de doscientos cincuenta miligramos (250 mg) al cabo de cien (100) revoluciones.

B.1.3. Microesferas de vidrio

Las microesferas le otorgan al material base la propiedad de reflexión, es decir, la característica de retrorreflexión que debe poseer la demarcación.

Existen dos tipos de microesferas, una para el mezclado y otra para el sembrado. Así se distingue que aquellas para el mezclado son incorporadas al material base antes de la aplicación, lográndose la retrorreflexión una vez que la acción del tránsito pone al descubierto las microesferas sumergidas en la capa de pintura. En cambio, las microesferas de sembrado corresponden a aquellas que son fabricadas y especificadas para ser proyectadas sobre la pintura recién aplicada, consiguiendo con esto la retrorreflexión en forma inmediata.

La intensidad de la retrorreflexión dependerá de la correcta aplicación en su cantidad y en las características técnicas relacionadas con la esfericidad, granulometría, índice de refracción, apariencia y defectos, y resistencia a agentes químicos.

- i. Características:

Naturaleza: La microesfera de vidrio deberá ser de tal naturaleza, que permita su incorporación a la pintura inmediatamente después de aplicada, de modo que su superficie se pueda adherir firmemente a la película de pintura y su retrorreflexión sea satisfactoria para las líneas y demás marcas viales.

Microesferas defectuosas: Las microesferas deberán ser transparentes e incoloras, libres de defectos y de material extraño, no deberán tener ninguna lechosis, ni contener nubes, ni burbujas de aire que puedan afectar su funcionamiento. Un máximo de tres por ciento (3%) podrán estar rayadas, quebradas o con partículas de vidrio angulares, en una muestra de diez gramos (10 g) al ser extendida formando una capa delgada sobre un papel bond blanco y tomando tres (3) muestras de cien (100) microesferas al azar, examinadas con un microscopio con aumento 20X provisto de un analizador de luz polarizada. El porcentaje de microesferas defectuosas se calculará a partir del promedio de los resultados de tres (3) ensayos. La cantidad máxima de microesferas de vidrio defectuosas (ovoides, deformadas, con bolsas gaseosas, con germinados) deberá ser del veinticinco por ciento (25%). La determinación se hará de acuerdo con la norma UNE 135-282-94.

Composición: Las microesferas de vidrio deberán contener un mínimo de sesenta y cinco por ciento (65%) de sílice y estar libres de plomo, excepto como impureza no superior a tres por ciento (3%), en masa, de la cantidad total.

Índice de refracción: El índice de refracción de las microesferas de vidrio se determina usando el método de inmersión en líquido con una fuente de luz blanca, a una temperatura de veinticinco grados celsius (25°C). Las microesferas deberán tener un índice de refracción mínimo de uno y medio (1.50). La medición se hará de acuerdo con la norma MELC 12.31.

Densidad: La densidad estará en el rango entre dos gramos con tres décimas y dos gramos con seis décimas por centímetro cúbico (2.3 a 2.6 g/cm³).

Granulometría: La granulometría de las microesferas de vidrio deberá estar dentro de los siguientes límites:

Tabla 3.3.3_19. LÍMITES DE GRANULOMETRÍA DE ESFERAS DE PREMEZCLADO O TIPO PREMIX, PARA RESINA TERMOPLÁSTICA

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA
NORMAL	ALTERNO	
1180 µm	No. 16	97 – 100
850 µm	No. 20	90 – 100
450 µm	No. 40	0 - 20

Si los documentos del proyecto lo consideran o si el aplicador propone una granulometría particular para obtener los valores de reflectividad exigidos, se puede emplear una granulometría diferente.

Resistencia a la fractura: La microesfera de vidrio deberá presentar una resistencia mínima a la fractura así:

- Para las microesferas de vidrio retenidas en el tamiz de 600 µm (No.30): ciento setenta y ocho Newton (178 N).
- Para las microesferas que pasen el tamiz de 600 µm (No.30) y queden retenidas en el tamiz de 425 µm (No.40): ciento treinta y tres Newton y cinco décimas (133,5 N).

Resistencia a la humedad: Las microesferas deberán fluir libremente al ser ensayadas con el siguiente procedimiento:

En una probeta de cincuenta centímetros cúbicos (50 cm³) se colocan cien gramos (100 g) de microesferas y luego se vierte cuidadosamente agua destilada hasta cubrir las con una lámina de dos y medio centímetros (2,50 cm), dejando reposar el sistema durante cinco (5) minutos. Luego, se vierten las microesferas en un embudo de cristal de doce centímetros y siete décimas (12,7 cm) de diámetro, con un cañón de diez centímetros (10 cm) de longitud, orificios de entrada y salida de once centímetros y una décima (11,1 cm) de diámetro. Puede ser necesario golpear levemente el embudo para iniciar el flujo de las microesferas.

Embalaje e identificación: La microesfera de vidrio se empacará en bolsas plásticas o de papel. Cada saco contendrá veinticinco kilogramos (25 kg). Cada saco en la parte externa deberá contener la siguiente información:

- Tipo de microesfera de vidrio.
- Nombre y dirección del fabricante.
- Fecha de fabricación.
- Identificación de fabricación (Número de lote).
- Indicar tratamientos químicos especiales en caso de tenerlos.
- Cantidad contenida en el saco en kilogramos.

- Recomendaciones de bodegaje y arrume máximo.

ii. Propiedades de aplicación

Cuando se apliquen las microesferas de vidrio sobre la pintura, para reflectorizarla por el sistema de postmezclado, con dosificaciones aproximadas de trescientos setenta gramos por metro cuadrado (370 g/m²) de microesferas y seiscientos sesenta gramos por metro cuadrado (660 g/m²) de pintura, las microesferas de vidrio fluirán libremente de la máquina dosificadora y la retrorreflexión deberá ser satisfactoria para la señalización.

B.2. Captafaros

El captafaro se fabricará en lámina de acero laminado en frío, galvanizada, calibre 22 (0,76 mm), revestida con una capa de zinc por ambas caras mediante el proceso de inmersión, en una cuantía mínima de quinientos cincuenta gramos por metro cuadrado (550 g/m²), incluyendo ambas caras. El captafaro llevará un tornillo con su respectiva tuerca, guasa y arandela, el cual permite su aseguramiento a la defensa metálica. Las caras exteriores deberán estar revestidas con lámina de material reflectivo tipo III o de características superiores de color blanco o plata. Las dimensiones y forma del captafaro se indicarán en los documentos del proyecto.

B.3. Hitos de arista

B.3.1. Tipo de delineador

En este capítulo, se dan las especificaciones técnicas del hito de arista (delineador de corona) de sección en forma de "A". Estas especificaciones podrán adaptarse para otro tipo de delineadores de corona. Los delineadores de corona de sección en forma de "A", tendrán lados iguales de doce (12) centímetros de longitud. El ángulo formado por dichos lados es de 30 grados sexagesimales. El resto de medidas pueden ser observadas en el numeral 105.04.1 (a) (DC-01: HITO DE ARISTA) de esta Guía. La altura del delineador sobre el pavimento debe ser 1,05 metros, aproximadamente.

B.3.2. Partes que componen el delineador

El delineador se compone de tres partes:

- El Poste.
- El Material Reflectivo y la Franja Negra.
- Los Elementos de Anclaje.

i. Poste

El material del poste se compondrá de una mezcla homogénea de homopolímeros de Cloruro de Vinilo, exentos de plastificantes y con las adiciones necesarias para su estabilización frente a la acción de los rayos ultravioletas.

El poste será de color blanco, para lo cual la mezcla del material deberá tener un contenido de Bióxido de Titanio de 5,5 + 0,5 partes en masa por 100 de mezcla.

En la parte posterior del poste deberá figurar la fecha de fabricación. Los postes tendrán una perforación para drenaje en la cara posterior, como se indica en la figura del numeral 105.04.1 (a). Las características del material de los postes serán las que se detallan en la Tabla 3.3.3_25.

Tabla 3.3.3_20. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL DE LOS POSTES DE LOS HITOS DE ARISTA (DELINEADORES DE CORONA)

CARACTERÍSTICA	CONDICIÓN	NORMAS	UNIDAD	VALORES
Densidad	23°C	UNE-53020	Kg/m ³	≤ 1.500
Temperatura Vicat	49 N	UNE-53118 ISO-R-306	°C	≥ 81
Dureza Shore D	23°C	UNE-53150	-	85 ± 2
Absorción de agua	-	UNE-53026	mg/cm ²	< 4
Comportamiento al fuego	-	UNE-53315	-	Autoextinguible
Resistencia a la tracción	23°C	UNE-53023	N/mm ²	> 45
Alargamiento a la rotura	23°C	UNE-53023	%	> 80
Choque charpy	23°C	UNE-53021-81	kg/m	> 6
Choque charpy	0°C	UNE-53021-81	kg/m	> 4
Comportamiento al calor	-	UNE-53112	%	< 5

ii. Franja negra y material reflectivo

ii-1) Franja negra: La franja negra del delineador se realizará mediante una lámina adhesiva de vinilo pigmentado, que será flexible y resistente. Una vez adherida al poste no será fácilmente removible, aún empleando agua o disolvente. La franja negra deberá ser lo suficientemente opaca para ocultar completamente el contraste de una leyenda de letras negras sobre fondo blanco colocada sobre la lámina y tener la adherencia adecuada para evitar el levantamiento de sus bordes y daños a causa del frío o calor. No deberá encogerse más de cuatro décimas (0,4) de milímetro y deberá soportar la intemperie durante un mínimo de siete (7) años, sin deterioros tales como agrietamientos, formación de escamas, de laminación o pérdida de adherencia.

La franja negra tendrá una altura de 25 cm y se colocará a una distancia fija del extremo superior del delineador (18 cm) e inclinada hacia el eje de la vía. Es primordial que exista uniformidad en la colocación de los delineadores y en la altura a la que quede la banda negra. Todos los delineadores instalados en un tramo deben presentar una línea aproximadamente uniforme.

La intensidad de la luz reflejada en un delineador depende, en parte, de la altura a la que se coloquen los dispositivos reflectantes y, por lo tanto, de la altura a que se coloque la franja negra. Por lo anterior convendrá colocar la franja aproximadamente a 18 cm del extremo superior, ya que de este modo se aumenta la eficacia de los dispositivos reflectantes.

ii-2) Elementos reflectantes: Sobre las franjas negras se colocarán los elementos esenciales del delineador que son los dispositivos reflectantes (láminas reflectivas tipo III o de características superiores).

En el borde derecho, las láminas reflectivas serán de color amarillo y tendrán una forma rectangular de 18 cm de alto por 5 cm de ancho. Este rectángulo se coloca centrado en la cara del delineador y sobre la lámina negra. En el borde izquierdo, las láminas reflectivas serán de color blanco y de forma circular de 6 cm de diámetro. Estos círculos se colocan sobre la banda negra, centrados en la cara del delineador y sus centros forman una línea vertical, separados a una distancia de 15 cm.

El número que representa el hectómetro será del mismo material que la franja negra, se colocará en la cara visible del delineador de corona a 70 cm de su borde inferior y estará inscrito en un rectángulo de 7,5 cm de alto y 4 cm de ancho.

iii. Elementos de anclaje

El anclaje al terreno se realizará efectuando una excavación de no menos de 50 cm, una vez colocado el delineador de corona, se rellenará con concreto Tipo H-16. Para garantizar la fijación se debe colocar unavarilla de acero corrugado de $\frac{1}{2}$ " (12 mm) de diámetro y de 20 cm de longitud. La varilla atravesará el delineador por los orificios de que dispone el poste. Estos orificios serán de un diámetro de 1,5 cm y estarán ubicados a 25 cm de la base del poste.

Donde el delineador de corona coincida con una barrera de seguridad, éste se sujetará a la barrera mediante una pieza metálica. En caso necesario se recortará el delineador.

B.4. Tachas reflectivas

Las tachas deben ser de tipo reflector prismático. El área reflectante debe estar moldeada de material metil metacrilato o policarbonato. La base, debe ser plana sin desviaciones mayores que 1,3 mm.

i. Resistencia a la compresión

La tacha deberá soportar un peso de 2727 kg sin quebrarse o deformarse significativamente, entendiéndose como deformación significativa 3,3 mm.

ii. Resistencia al desprendimiento

La tacha deberá tener una resistencia al desprendimiento mayor o igual a 3,4 MPa (500 Psi).

iii. Color

El color deberá caer dentro de las coordenadas cromáticas indicadas en la Tabla 3.3.3_26

Dimensiones

➤ Altura $\leq 20,3$ mm

➤ Ancho ≤ 130 mm.

➤ Ángulo entre la cara de la marca y la base $\leq 45^\circ$.

iv. Resistencia a flexión

Para tachas con largos y anchos mayores o iguales a 102 mm debe resistir 909 kgf sin deformación mayor que 3,3 mm.

v. Retrorreflectancia

Para ángulo de entrada 0° y de observación $0,2^\circ$ en mcd/lx deben cumplir con los valores indicados en la Tabla 3.3.3_27 para cada color.

Tabla 3.3.3_21. COORDENADAS CROMÁTICAS PARA TACHAS

COLOR	COORDENADA	NÚMERO DE VÉRTICE					
		1	2	3	4	5	6
Blanco	X	0,310	0,453	0,500	0,500	0,440	0,310
	Y	0,348	0,440	0,440	0,380	0,380	0,283
Amarillo	X	0,545	0,559	0,609	0,597		
	Y	0,424	0,439	0,390	0,390		
Rojo	X	0,650	0,668	0,734	0,721		
	Y	0,330	0,330	0,265	0,259		

Tabla 3.3.3_22. RETRORREFLECTANCIA

COLOR	RETRORREFLECTANCIA (mcd/lx)
Blanco	279
Amarillo	167
Rojo	70

C. EQUIPOS

C.1. Pinturas y resinas de demarcaciones

C.1.1. Equipos para pinturas

Los equipos a emplear en la aplicación de las demarcaciones dependerán del material a aplicar y del tipo de vía. En todo caso, a fin de asegurar una demarcación uniforme y en las dimensiones estipuladas en el proyecto, los equipos deberán cumplir los siguientes requisitos mínimos:

- Los equipos deberán ser autopropulsados y disponer de un mecanismo de control de velocidad.
- Deberán disponer de un mecanismo automático de agitación incorporado.
- Poseer un sistema automático de control de dosificación del material base y de las microesferas.
- Deberán disponer de sistemas independientes del material base y microesferas.
- Deberán disponer de un dispositivo automático de espaciamiento y ancho de línea.

Se deberá tener siempre presente que estos equipos por disponer de compresores de aire o gas, están expuestos a caídas o bajas de presión, o que algún elemento mecánico sufra un desperfecto por falta de lubricación. Con la finalidad de evitar estos inconvenientes, los operadores de los equipos deberán verificarlos, tanto para la puesta en marcha como para la operación y detención.

En el caso que la aplicación de la pintura sea con microesfera de vidrio de premezclado, se deberá verificar en los equipos convencionales, que al homogeneizar la pintura no presente pigmentos en el fondo de los envases, para posteriormente incorporar las microesferas de vidrio en la dosis y forma recomendada por el fabricante, y según las indicaciones del proyecto.

Para el criterio sin premezclado, se recomienda el uso de equipos con sembradores de microesferas a presión, lo cual asegurará una óptima distribución y penetración en la pintura. La experiencia indica que los mejores resultados se consiguen con doble sembrado, es decir, aplicando primero microesferas de diámetros mayores, dentro de la granulometría permitida.

Para el caso de demarcación de figuras y símbolos, después de aplicar la última capa, se siembran las microesferas con una dosis que varía entre 300 a 500 g/m². El sembrado se realiza al voleo, con fuerza, de modo de asegurar la penetración en la pintura.

C.1.2. Equipos para aplicación de termoplásticos

En este caso se deberá revisar que la temperatura ambiente esté sobre los 12°C y la temperatura del pavimento sea sobre 10°C.

Este material se aplica en estado fundido a una temperatura aproximada a los 200°C. Como el producto debe ser agitado permanentemente a alta temperatura, se recomienda pasar el termoplástico al equipo de aplicación, pasado 30 minutos de que éste haya alcanzado una temperatura sobre los 180°C, ya que el material tiene que pasar por un filtro de 6 mm de abertura. Como regla general, se recomienda que el material termoplástico no exceda de las 6 horas a temperatura sobre los 200°C y no supere los 230°C. Se recomienda consultar con el fabricante las veces que el material puede ser refundido, sin que pierda las propiedades y sin que afecte las características de las microesferas.

Previo a la colocación del material, se deberá limpiar la superficie y aplicar un puente de adherencia o “primer” que sea compatible con el material termoplástico que se utilice. Una vez colocado el puente de adherencia o “primer”, se debe colocar oportunamente el material termoplástico, de manera de asegurar la adherencia entre ambos materiales.

La aplicación del termoplástico se podrá realizar mediante Extrusión a Zapata, el que consiste básicamente en vaciar el material termoplástico fundido en un molde o zapata, que dispone de una abertura con control de cierre para graduar el material que se deposita, en función del espesor deseado. Este sistema se emplea preferentemente en la demarcación de símbolos en cruces. Aplicado el material, se deberá colocar microesferas de sembrado, en una cantidad aproximada a los 600 g/m², o valor recomendado por el fabricante.

Otro sistema de aplicación es por pulverización o proyección neumática, el que consiste en la pulverización del termoplástico, mediante la combinación de aire con material fundido el cual es depositado sobre el pavimento y luego se aplican las microesferas de sembrado, según recomendaciones del fabricante, que permitan dar cumplimiento a los requerimientos de especificaciones.

El Método de Ribbon o Zapata a Presión, consiste esencialmente en depositar el material termoplástico sobre un molde que está separado del pavimento, que sirve para dirigir el material en la posición deseada y entregar el espesor que puede variar entre 2 a 3 mm. Al igual que en los otros métodos, se deberá aplicar microesferas de sembrado, en la cantidad que indiquen las especificaciones técnicas.

C.2. Equipos para la instalación de Captafaros

Para la instalación de estos dispositivos a las defensas metálicas, se requiere:

- Taladros.
- Llaves fijas o de expansión para tornillos.
- Equipo de soldadura.

C.3. Equipos para la instalación de Hitos de Arista (delineadores de corona)

Se deberá disponer de los equipos necesarios para la correcta ejecución de los trabajos de instalación de los hitos de arista, el cual deberá incluir como mínimo los siguientes elementos:

- Hoyadoras agrícolas, barras de acero y palas.
- Remachadora.

D. EJECUCIÓN

D.1. Pinturas y resinas de demarcaciones

- La temperatura ambiente sea superior a los 5°C e inferior a los 35°C.
- No exista excesivo viento y que no supere la velocidad de 25 km/h.
- La temperatura del pavimento deberá superar al menos en 3°C a la temperatura del punto de rocío. Se entenderá por punto de rocío, la intersección de la columna que representa los valores de la humedad relativa con la línea que señala los valores de la temperatura del aire.
- El pavimento no se encuentre húmedo.

Para las zonas costeras cercanas a dunas, pozos de áridos, etc., se recomienda considerar que el factor de desgaste será mayor por los sedimentos abrasivos que afectarán a la demarcación y en consecuencia, se deberá tener presente este aspecto en la selección del material, de modo de asegurar la durabilidad de la pintura en buenas condiciones.

D.1.1. Preparación de la superficie

De acuerdo con los parámetros establecidos por el fabricante, aplicando métodos compatibles el tipo de pavimento sobre el que se aplicarán las pintura o resinas.

D.1.2. Dosificación

De acuerdo con los parámetros establecidos y recomendados por el fabricante.

D.1.3. Cierre de la vía al tránsito

El aplicador de la pintura, en coordinación con la Policía de Carreteras o la entidad encargada de la regulación del tránsito en el sector o ciudad, llevará a cabo los cierres de la vía que sean necesarios, para garantizar la seguridad de las operaciones de aplicación y el tiempo de secado de la pintura, efectuando la señalización temporal requerida, de acuerdo con lo establecido por la entidad contratante y con la aprobación del Ingeniero.

Cuando el volumen de tránsito es superior a 1.000 vehículos por día y se va a restringir la circulación, se deberán programar, en coordinación con la entidad contratante o la entidad encargada de la regulación del tránsito en el sector o mantenimiento de la vía, cierres máximos de dos (2) horas, con intermedios de una (1) hora de circulación normal. Los cierres de vía se deberán informar por medios de comunicación hablados y escritos, tres (3) días hábiles antes de iniciar las labores.

D.1.4. Aplicación de los materiales

Para la aplicación de pinturas en frío se deberán tener en cuenta los parámetros establecidos en la presente Especificación Técnica.

Para la resina termoplástica se deberá tener en cuenta que ésta y las microesferas de vidrio se deberán suministrar ya preparadas y listas para su empleo y no se les deberá agregar ni quitar ningún componente en el sitio de los trabajos.

La resina termoplástica deberá aplicarse de manera homogénea, de tal forma que no haya excesos ni deficiencias en ningún punto, formando una película uniforme sin arrugas, ampollas, ni bolsas de aire.

Las microesferas de vidrio se deberán dispersar uniformemente sobre la película de resina en estado líquido, la cual deberá ligarlas de manera que se logre la máxima adhesión y agarre de las esferas, pero sin afectar los grados de refracción y reflexión de éstas.

Toda demarcación que no resulte satisfactoria en cuanto a acabado, alineamiento longitudinal y reflectividad deberá ser corregida o removida mediante fresado o algún procedimiento satisfactorio, sin costo para la entidad contratante. En ningún evento, se deberá utilizar pintura negra de tráfico. Igual tratamiento se deberá dar a toda la demarcación colocada en forma diferente a los planos o las instrucciones del Interventor y que, a juicio de éste, pueda generar confusión o inseguridad a los usuarios de la vía.

El aplicador deberá remover, a su costa, toda resina termoplástica que presente problemas de adherencia con la superficie.

D.1.5. Limitaciones en la ejecución

Para la aplicación de pinturas en frío se deberán tener en cuenta los parámetros establecidos en la presente Especificación Técnica.

No se permitirá la aplicación de resina termoplástica en instantes de lluvia, ni cuando la temperatura ambiente sea inferior a doce grados Celsius (12°C) o la temperatura del pavimento inferior a nueve grados Celsius (9°C). Durante el calentamiento del termoplástico, nunca se deberán exceder los doscientos treinta y dos grados Celsius (232°C). El material termoplástico se podrá recalentar máximo tres (3) veces.

Nunca se deberá mantener el material termoplástico por encima de doscientos cuatro grados Celsius (204°C) durante más de seis horas. Cuando se aplique material termoplástico sobre concreto hidráulico o sobre un pavimento asfáltico con agregados expuestos, se deberá aplicar previamente, un imprimante para mejorar el enlace de unión entre el pavimento y el termoplástico.

No se deberá aplicar termoplástico cuando haya humedad en el pavimento. Para determinar su existencia se deberá hacer la siguiente prueba: Pegar en la superficie del pavimento con cinta de enmascarar o cualquier otro tipo de cinta, un trozo de plástico delgado de aproximadamente cincuenta centímetros cuadrados (50 cm²), teniendo cuidado de sellar todos los bordes. Después de quince (15) minutos se examinan el plástico y la vía y si hay agua condensada en alguno de ellos, no se deberá aplicar el material termoplástico. Tampoco se podrá demarcar cuando el viento sea muy fuerte.

D.1.6. Apertura al tránsito

Las superficies demarcadas deberán ser protegidas contra cualquier tipo de tránsito, hasta el instante en que el recubrimiento se encuentre perfectamente seco. Dicho instante será definido por el Ingeniero.

D.2. Captafaros

Salvo que los planos o el Ingeniero establezcan algo en contrario, los captafaros se colocarán en la parte cóncava de la defensa metálica, separados a distancias de tres con ochenta y un (3,81) metros (uno en cada poste, introduciendo el tornillo dentro del hueco que dejan los ojales de

los tramos de defensas traslapados), sujetándolos con el tornillo y colocando un punto de soldadura a la tuerca para garantizar la fijación del elemento a la defensa metálica.

D.3. Hitos de arista (delineadores de corona)

D.3.1. Criterios de implantación

El hito de arista (delineador de corona) es además un indicador de hectómetro, por lo tanto su implantación se realizará, en primer lugar, coincidiendo con todos los hectómetros de la vía (dividiendo en diez partes iguales la distancia entre dos delineadores kilométricos sucesivos), inscribiendo (en el lugar indicado en los planos) un número del 1 al 9, que indica el hectómetro de que se trata. No se colocarán delineadores coincidentes con los kilómetros. Todas las distancias entre los delineadores serán medidas a lo largo del eje de la vía. Una vez colocados todos los hectómetros, se procederá a colocar entre dos hectómetros sucesivos un número determinado de delineadores de corona, que es función del radio de la curva o recta de que se trate, según el criterio definido en el numeral 104.04.7(a).

Los delineadores colocados entre los hectómetros serán de iguales características que estos, pero sin el número. Para lograr la máxima uniformidad posible en la instalación de estos delineadores, se seguirá el criterio de determinar para cada curva cual es su radio y disponer en el hectómetro o hectómetros que abarcan total o parcialmente la curva el número de delineadores de acuerdo a la tabla 104.8.

Para obtener una transición de delineadores intermedios desde los hectómetros que forman parte de cualquier curva a los que hacen parte de un tramo continuo recto (o a una curva con radio mayor de 700 metros) se implementarán transiciones de acuerdo a la tabla citada. Por ejemplo, si solo un hectómetro corresponde a una curva de radio de 140 m, se colocarán delineadores cada 12.5 m entre dicho hectómetro. En el siguiente hectómetro (que se debe encontrar localizado sobre el tramo de transición) cada 16,66 m, en el siguiente cada 25 m y en el siguiente cada 50 m, que es el valor mínimo para rectas o curvas de radio mayor de 700 metros.

En curvas enlazadas, se implementarán los delineadores intermedios que correspondan a cada una de las curvas según su radio y en los hectómetros intermedios se irán espaciando de acuerdo con el criterio del párrafo anterior.

Sin embargo, puede ocurrir que (por la diferencia de radios y por la proximidad de las curvas) si se empieza a aumentar la separación desde la curva de menor radio, se llegue a la de mayor radio con una separación menor o mayor a la que le correspondería por su propio radio. En este caso, se adoptará la solución que suponga el mayor número de delineadores intermedios.

La disposición de los delineadores de corona será la misma por el interior y exterior de la curva, colocándolos enfrentados en el mismo radio. Sin embargo, en donde la curva tenga radio inferior a 100 m, en su interior solo se colocarán la mitad de los delineadores.

D.4. Tachas

Las tachas se ubicarán de acuerdo a los detalles del Proyecto.

El área del pavimento donde se colocará la tacha deberá estar libre de polvo, compuestos de curado, grasa, aceite, pintura o cualquier otra materia extraña que pudiere afectar negativamente la acción ligante del adhesivo. Para estos efectos, la superficie indicada se deberá limpiar con un disco esmerilador de grano grueso, mediante chorro de arena o mediante un procedimiento de similar efectividad.

El adhesivo epóxico se deberá preparar de acuerdo con las instrucciones del fabricante, considerando que las cantidades requeridas dependen de la textura de la superficie del pavimento. En todo caso, no se deberá preparar más mezcla adhesiva que la que se pueda utilizar en 10 minutos.

La mezcla adhesiva se deberá aplicar mediante una espátula a la base de la tacha o a la superficie del pavimento, en una cantidad tal, que cubra totalmente la superficie de contacto, sin presentar huecos, más un leve exceso.

Las tachas se deberán colocar en su posición tan pronto como sea posible, con un procedimiento que asegure que, respecto del eje del camino, no sufrirá desviaciones mayores que 2 mm, medidos en los extremos. Una vez instalada la tacha se deberá presionar hasta que el pegamento salga por los bordes. Todo exceso de adhesivo se deberá limpiar y retirar inmediatamente. No se aceptará que el pegamento fluya sobre la cara reflectante de la tacha.

Las tachas deberán ser protegidas de golpes por un lapso mínimo de 30 minutos después de colocadas. Además, durante el período que dure el proceso de endurecimiento del pegamento, se deberán tomar todas las precauciones necesarias para evitar que el tránsito pase sobre las tachas. Para esto, el Contratista deberá colocar conos, barreras y la señalización de faenas necesaria en conformidad a lo indicado en la sección 3.3.3.1 (Señalización Transitoria en Zonas de Trabajos).

No se deberán colocar las tachas en las siguientes condiciones:

- Cuando la temperatura del aire o la del pavimento sea igual o inferior a 10°C;
- Cuando la humedad relativa del aire sea superior al 80%;
- Cuando la superficie del pavimento esté húmeda; y,
- Antes de 14 días de haber sido entregado al tránsito un pavimento nuevo.
- Antes de la demarcación de los pavimentos.

E. CONTROL POR EL INGENIERO

E.1. Pinturas y resinas de demarcaciones

E.1.1. Controles

Para la aplicación de pinturas en frío se deberán tener en cuenta los parámetros establecidos por el fabricante en lo que se refiere a la calidad y aptitud de los materiales para su aplicación en obra.

Durante la ejecución de los trabajos de aplicación de resina termoplástica, el Ingeniero adelantará los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y funcionamiento de todo el equipo, empleado por el contratista.
- Verificar la instalación de la señalización que advierta sobre la ejecución de los trabajos e informe sobre el cierre parcial de la vía o restricción de la velocidad de circulación cuando la demarcación se hace con vía abierta.
- Comprobar que los materiales cumplan con los requisitos de calidad exigidos en este capítulo.
- Comprobar que la aplicación de los materiales se haga teniendo en cuenta las limitaciones en la ejecución indicadas en este capítulo.
- Comprobar que los materiales se apliquen uniformemente y en los sitios previstos.
- Verificar la adhesión, acabado y reflectividad de la resina termoplástica colocada.

- Verificar el cumplimiento sobre las distancias de prohibido adelantamiento, en curvas verticales y horizontales y en zonas con esta restricción en tramo recto, donde la distancia de visibilidad de adelantamiento sea mayor que la distancia de visibilidad del sector. Para ello, se le deberán indicar claramente al contratista, las velocidades de los sectores, para hacer estas mediciones de acuerdo con lo expresado en el capítulo 109 de esta Guía.
- Medir, para efectos de pago, las líneas y marcas ejecutadas en acuerdo a esta especificación.

E.1.2. Condiciones específicas para la recepción y tolerancias

- i. Acabado: De acuerdo con el procedimiento descrito en el catálogo del proveedor y lo que establezca el Ingeniero. En caso necesario, el Ingeniero redactará una especificación técnica especial que establezca los criterios de tolerancias y condiciones para la recepción.
- ii. Dimensiones: Se tendrá en cuenta lo establecido en esta Guía, las dimensiones y separaciones que se indiquen en los planos del proyecto y lo contemplado en las recomendaciones del fabricante, en función de los equipos a utilizar. En caso necesario, el Ingeniero redactará una especificación técnica especial que establezca los criterios de tolerancias y condiciones para la recepción.
- iii. Visibilidad: Las mediciones de reflectividad diurna y nocturna se harán conforme a lo especificado en los catálogos del fabricante y lo que se indica en la presente Guía. En caso necesario, el Ingeniero redactará una especificación técnica especial.

E.2. Captafaros

E.2.1. Controles

Durante la ejecución de los trabajos, el Ingeniero adelantará los siguientes controles:

- Verificar el estado y funcionamiento del equipo empleado por el Contratista.
- Comprobar que los materiales utilizados cumplan con las especificaciones técnicas.
- Verificar que los trabajos se ejecuten de acuerdo con las especificaciones técnicas.
- Contar, para efectos de pago, los captafaros correctamente elaborados e instalados.

E.2.2. Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

El Ingeniero sólo aceptará los captafaros elaborados con materiales adecuados e instalados conforme lo establecen los documentos del proyecto y las especificaciones técnicas.

E.3. Hitos de arista (delineadores de corona)

El control de la instalación de los hitos de arista (delineadores de corona) consta de un control de la calidad y fabricación del delineador y un control de su puesta en obra.

E.3.1. Control de calidad y fabricación del delineador

- Debe comprobarse que el delineador cumple las dimensiones indicadas en los planos, tanto en espesores como en longitudes, así como la colocación de las láminas reflectivas y bandas negras.

- Para garantizar la calidad del material del delineador (cloruro de polivinilo) deben comprobarse las características descritas en este capítulo.
- Los ensayos para cuantificar el valor de las características anteriores se realizará en muestras elegidas aleatoriamente de acuerdo con las reglas de muestreo para la inspección por atributos, Normas UNE 66-020-88.
- También, deberán realizarse ensayos a los elementos reflectivos que se adhieren al delineador. A estos materiales se le aplicarán las técnicas de los ensayos contenidos en los catálogos del fabricante y en normativa internacional usualmente aceptada.
- Para garantizar la calidad del material reflectivo y de la lámina adhesiva de vinilo pigmentado, se hará necesario presentar el certificado de calidad de la empresa proveedora de estos materiales, que garantice una duración mínima de siete años sin que aparezcan deterioros, tales como, agrietamientos, formación de escamas o pérdida de adherencia.
- Una forma práctica para determinar en el campo si la adherencia entre el poste y la lámina de vinilo es buena, consiste en probar (a la temperatura ambiente) que es imposible despegar la lámina, pues ésta se parte antes de desprenderse del poste.
- Es muy importante que entre las láminas y el poste no se presente ninguna burbuja de aire visible a simple vista. Cuando esto ocurre el delineador deberá rechazarse.
- Es conveniente que se controle el peso del delineador. Un delineador de corona de sección en forma de "A", de una longitud de 1,55 metros, deberá pesar 1,45 kilogramos, aproximadamente.

E.3.2. Control de la puesta en obra

Una vez comprobada la calidad de los materiales, es preciso garantizar la puesta en obra, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Se comprobará el replanteo y se ajustará la distancia entre delineadores, según los criterios de implantación.
- Una vez colocado el delineador, el ángulo formado por una de sus caras y el plano perpendicular al eje de la vía deberá ser de 15 grados sexagesimales, aproximadamente. Es importante que este ángulo sea el indicado, ya que de ello depende la intensidad reflectiva que percibe el conductor. Por lo tanto, se deberá utilizar una plantilla que permita medir este ángulo. Algo semejante ocurre con la altura a la que se encuentra el material reflectivo, ya que es muy importante que la altura de todas las franjas negras formen una línea uniforme. La altura del delineador se referenciará con la marca vial del borde más próximo.
- Es necesario que la puesta en obra garantice que el delineador permanezca vertical en todo momento. Para ello no solo debe ser correcta su instalación sino que además se deben tomar todas las precauciones necesarias para que el delineador no sufra movimientos. Esto se consigue con una buena selección de elementos de anclaje, cuando el delineador se instala sobre terreno, barreras metálicas, muros y cualquier otro elemento firme.
- Siempre que el delineador se coloque sobre el terreno, será necesario rellenar el cimientito con el concreto mencionado y se comprobará que se dispone de la varilla de anclaje y que ésta tiene sus dimensiones correctas.
- El cimiento de los delineadores de corona tendrá una profundidad mínima de 50 centímetros y unas dimensiones en planta suficientes (forma cilíndrica de 30 cm de diámetro) que permitan fijar en su centro el anclaje.

- Se debe asegurar la limpieza del sitio de obra, retirando todo material sobrante de los trabajos.

F. MEDICIÓN

F.1. Líneas de demarcación

La unidad de medida de las líneas de demarcación continua o discontinua, efectivamente aplicada, será el metro (m) lineal aproximado al decímetro (dm), de conformidad con los planos del proyecto y los requerimientos hechos por el Ingeniero.

F.2. Marcas viales

La unidad de medida para las demás marcas viales será el metro cuadrado (m²), aproximado a la centésima, correspondiente a la superficie efectivamente y aceptada por el Ingeniero. No se medirá ninguna línea de demarcación o marca vial colocada por fuera de los límites autorizados por el Ingeniero.

F.3. Captafaros

Los captafaros se medirán por unidad (pieza) suministrada e instalada de acuerdo con los documentos del proyecto y las especificaciones técnicas, debidamente aceptados por el Ingeniero.

G. PAGO

G.1. Líneas de demarcación y otras marcas

El pago de las líneas de demarcación y demás marcas viales se hará conforme a lo establecido en precio unitario del contrato, por todo trabajo ejecutado de acuerdo con las especificaciones técnicas y aceptado a satisfacción del Ingeniero. El precio unitario deberá cubrir todos los costos de suministro, transporte, almacenamiento, desperdicios y aplicación de la pintura o resina termoplástica y las microesferas de vidrio.

Igualmente deberá contemplar todos los trabajos e insumos necesarios para preparar las superficies donde se aplicará la pintura, la señalización de la obra y el control del tránsito durante la ejecución de los trabajos y en el lapso posterior que fije el Ingeniero para la apertura al tránsito. En general, todo costo relacionado con la correcta ejecución del trabajo.

G.2. Captafaros

El pago se hará de acuerdo con el precio unitario del contrato, por todo captafaro suministrado e instalado de acuerdo con las especificaciones técnicas, a satisfacción del Ingeniero. El precio unitario deberá cubrir todos los costos de preparación, suministro, transporte, almacenamiento, desperdicios e instalación del captafaro. Igualmente deberá contemplar el suministro e instalación de todos los elementos necesarios para asegurarlo a la defensa, la señalización de la obra y, en general, todo costo adicional relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

G.3. Hitos de arista (delineadores de corona)

El pago se hará de acuerdo con el precio unitario del contrato, por todo hito de arista (delineador de corona) suministrado e instalado de acuerdo con las especificaciones técnicas, a satisfacción del Ingeniero. El precio unitario deberá cubrir todos los costos de preparación, su-

ministro, transporte, almacenamiento, desperdicios e instalación del hito de arista (delineador de corona). Igualmente deberá contemplar el suministro e instalación de todos los elementos necesarios para anclarlo al piso, la señalización de la obra y, en general, todo costo adicional relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

G.4. Tachas

El pago se hará de acuerdo con el precio unitario del contrato, por toda tacha suministrada e instalada de acuerdo con las especificaciones técnicas, a satisfacción del Ingeniero. El precio unitario deberá cubrir todos los costos de preparación, suministro, transporte, almacenamiento, desperdicios e instalación de las tachas. Igualmente deberá contemplar el suministro e instalación de todos los elementos necesarios para anclarlas al piso, la señalización de la obra y, en general, todo costo adicional relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

H. ÍTEM DE PAGO

H.1. Líneas de demarcación y otras marcas

- a) Línea de demarcación con pintura en frío (m).
- b) Marca vial con pintura en frío (m²).
- c) Línea de demarcación con resina termoplástica (m).
- d) Marca vial con resina termoplástica (m²).

H.2. Captafaros

Captafaros (Pza.).

H.3. Hitos de arista (delineadores de corona)

Hitos de arista (delineadores de corona) (Pza.).

H.4. Tachas

Tachas (Pza.).

3.3.3.3.4. BARRERAS PARA TRÁFICO

A. DESCRIPCIÓN

Barreras / Barreras para tráfico: Es un elemento de protección colocado entre el tráfico y un peligro potencial, destinado a minimizar lesiones a los ocupantes de un vehículo en la eventualidad que un vehículo errante deje la ruta normal de viaje.

Barrera longitudinal: Es una barrera ubicada adyacente a la plataforma vial, orientada a contener a un vehículo que abandone la ruta normal de viaje, redireccionándolo.

Atenuador de impacto (atenuador de energía): Es una barrera ubicada al frente de un objeto fijo con la intención de reducir lesiones en un eventual impacto frontal.

Poste: El poste actúa como soporte de la barrera y elemento de inserción en el terreno.

Separador: El separador es el elemento de unión entre la barrera y el poste de sujeción. Su función principal es separar las ruedas del vehículo del poste durante el impacto, evitando que el vehículo se enganche y gire sobre sí mismo. Permite además mantener la barrera a una altura casi constante y en contacto con el vehículo, a medida que los postes se van inclinando, disminuyendo el riesgo de que el vehículo supere la defensa metálica.

B. MATERIALES

Los materiales a suministrar para barreras de tráfico son en general los siguientes:

- Postes de madera para barreras.
- Bloques separadores de madera para barreras.
- Baranda de viga metálica.
- Postes de metal.
- Ferretería para anclaje de la barrera.
- Ferretería para la baranda.
- Baranda de viga metálica.
- Postes de metal.
- Materiales para barreras de concreto.
- Materiales para atenuadores de impacto.

Para la utilización de piezas especiales de extremo (“cola de pez”, perfil de extremo doblado en “U”, etc.), se deberán seguir las recomendaciones del fabricante para su correcta instalación. Los materiales para su fabricación deberán conformar las especificaciones de los elementos a los que se adosan o lo que recomiende el fabricante.

B.1. Postes de madera para barreras

B.1.1. Generalidades

A menos que se especifique de otra forma, se proveerán los postes de madera para barreras laterales y de separador central en los tamaños establecidos en la presente Guía y en los planos de diseño, los que serán fabricados de especies maderables aceptadas por el Ingeniero.

Los postes de madera deberán tener una resistencia mínima a la flexión en la fibra extrema de 84,5 kg/cm² (1.200 psi).

Sólo se permitirán postes de madera tratados de proveedores aceptados por el Contratante de acuerdo al registro que mantenga el MOPC y serán aceptados sólo después la ejecución de ensayos para la aceptación de materiales que no son ensayados en campo.

B.1.2. Grado de las maderas (clasificación técnica)

El grado de las maderas será determinado de acuerdo a lo que se establece en las correspondientes normas nacionales para la determinación del grado de maderas tratadas para usos estructurales.

B.1.3. Certificaciones

El proveedor deberá proporcionar los correspondientes certificados procedencia de la madera, emitido por una agencia de inspección reconocida.

B.1.4. Tratamiento de preservación

En este numeral se incluyen los requerimientos para el tratamiento de preservación de postes y bloques de madera para barreras de tránsito.

- i. Generalidades. Todos los tratamientos de preservación deberán ser realizados de acuerdo con AASHTO M 133 y los estándares referidos de la AWPA, excepto que sólo los siguientes preservantes son permitidos:
 - Creosota.
 - Pentaclorofenol (cualquier solvente).
 - Arseniato amoniacal de cobre y zinc (siglas en inglés: ACZA).
 - Arseniato crómico de cobre (siglas en inglés; CCA), tipos A, B o C.
 - Naftanato de cobre.
 - Cuaternario de cobre amoniacal, tipo B, C o D.
- ii. Tiempo de secado. Cuando se utilice (ACZA) con elementos de aire seco tal como está definido en AWPA P5, se secará por un mínimo de 30 días antes de su instalación. El sistema de secado con estufa puede ser reemplazado por secado durante 30 días con aire seco. Las características estacionales que establezcan limitaciones para el proceso de secado determinarán condiciones especiales como la realización del tratamiento bajo techo. Durante el tiempo de 30 días del tratamiento y hasta que los elementos sean instalados en la obra, los elementos de madera se almacenarán en pilas separando cada capa con separadores de al menos 12 mm (1/2") de espesor. El contenido máximo de humedad deberá ser de 19% previo a su instalación. Los separadores y cualquier otro desperdicio proveniente de los postes y bloques separadores serán retirados de la obra y dispuesto de acuerdo con las regulaciones y especificaciones ambientales vigentes.
- iii. Tratamiento en el sitio de obra. Cualquier daño al tratamiento o las superficies perforadas serán tratadas con un preservante de acuerdo a lo establecido en el presente numeral.

Se proporcionarán certificados de inspección de la madera de una agencia reconocida.

Antes del tratamiento de preservación, deberán perforarse todos los agujeros y los cortes necesarios tal como se muestra en los planos de taller y lo apruebe el Ingeniero.

Cada poste tratado con preservante mostrará una evidencia razonable de acondicionamiento antes del mismo, de forma que cualquier encogimiento futuro no cause fisuras que expongan madera no tratada.

Al tiempo de la inspección en la fábrica y al tiempo de su instalación, cada poste tratado será sujeto a inspección para evidenciar su acondicionamiento. La presencia de fisuras en la superficie no será causa de rechazo del poste, a menos que la rajadura, fisura o cuarteado exceda los 12 mm (medido en la superficie).

Si un poste que de otra forma sería aceptable presenta rajaduras, fisuras o cuarteado en la misma pendiente que el grano de la madera o el plano que contiene a un agujero y se extiende 7,5 cm (3") dentro del agujero para empernar, el poste será rechazado, a menos que sea provisto con un fijador ajustado transversal a la separación, al centro del poste y 5 cm (2") debajo del tope. Se asegurará con un perno galvanizado y tuerca de 12 mm (1/2") y arandela galvanizada debajo de la cabeza del perno y de la tuerca después que se ha terminado el curado del poste.

Los agujeros del poste estarán adecuadamente tratados de acuerdo a las recomendaciones del fabricante o como lo apruebe el Ingeniero.

Los postes podrán ser inspeccionados en cualquier momento en la planta de tratamiento, antes, durante o después del tratamiento. Normalmente, la inspección será realizada por un inspector de una agencia reconocida no más allá de 10 días después del tratamiento, tomando en cuenta que el inspector haya sido notificado antes de iniciar el tratamiento.

La inspección de los postes se realizará de acuerdo con los estándares vigentes de la AWWA, a excepción de lo siguiente:

- El inspector elegirá el número de postes tratados de cualquier lote de carga al cilindro de tratamiento para determinar la penetración del tratamiento.
- Cada poste seleccionado para prueba deberá ser representativo de acuerdo a la base de aceptación o rechazo por prorrateo de acuerdo al número de postes de cada lote.
- Si un 20% de los postes elegidos aleatoriamente no conforman los requerimientos, todos los postes del lote del que proviene serán rechazados y calificados como inaceptables.

A discreción del Ingeniero, cada poste tratado o una muestra aleatoria representativa de postes tratados podrán ser inspeccionados para comprobar la presencia de rajaduras, fisuras o cuarteado de acuerdo a lo expuesto en esta especificación.

Los postes que no conformen los requerimientos de aceptación serán rechazados en la planta de tratamiento por unidad, por lotes parciales o por lotes completos. (Un "lote" comprende los postes de cualquier carga del cilindro de tratamiento).

Cada poste tratado deberá llevar una marca permanente o una etiqueta de metal que identifique al proveedor y el año de tratamiento, colocada por el proveedor ya sea:

- En el tope del poste, o
- En la cara posterior del poste, de 20 a 25 cm (8" a 10") por debajo del agujero del perno.

Inspección de campo para aceptación o rechazo: A tiempo de su instalación, cada poste se inspeccionará para:

- Medir el ancho de la rajadura, fisura o cuarteado más ancho.
- Verificar daños en la madera que pudiesen afectar su solidez.
- Verificación de madera no tratada expuesta.
- Verificación de lixiviación de líquido preservante en el poste.

Los postes que muestren una rajadura, fisura o cuarteado que exceda los 12 mm (1/2") de ancho serán rechazados.

Los postes que muestren daños superficiales pueden ser reparados con un tratamiento en el sitio de la obra con preservantes de acuerdo al estándar de AWWA M 4.

La reparación de postes con rajaduras, fisuras o cuarteados, o donde las mismas se han profundizado lo suficiente para exponer la madera no tratada, deberán ser tratados con un preservante de aplicación en obra aprobado por el Ingeniero llenando las separaciones hasta la superficie del poste.

Se retirarán de la obra los postes tratados que hayan sido rechazados de alguna forma por una o varias deficiencias arriba expuestas, o no hayan sido reparados satisfactoriamente como se indica aquí.

B.2. Bloques (separadores) de madera tratada para barreras de tráfico

Salvo que se especifique de otra forma, los bloques separadores de madera suministrarán en las dimensiones indicadas en los planos de taller o como lo recomiende el fabricante, previa aprobación del Ingeniero.

Los bloques de maderas tratada cumplirán, en lo que corresponda, lo establecido en los numerales 3.3.3.3.4. (B.1.1) (B.1.2) (B.1.3) (B.1.4) de la presente especificación.

- i. Plástico reciclado. Se pueden utilizar bloques para barreras de tráfico fabricados de plástico reciclado de acuerdo a registro de proveedores mantenido por el MOPC, y aprobados por el Ingeniero.

B.3. Barreras de cable

B.3.1. Cables para barreras

Los cables para barreras serán suministrados por proveedores registrados en el MOPC y aprobados por el Ingeniero. Todos los cables para barreras en el proyecto deberán provenir del mismo fabricante sin importar el número de filas de cable requeridas y sin importar los tipos de cables requeridos.

Se utilizarán elementos de concreto premoldeado o vaciados en sitio de acuerdo a lo establecido en los planos de diseño.

El concreto deberá cumplir con lo establecido en el numeral 3.3.3.3.4, (B.6)(Concreto comercial de resistencia específica).

B.3.2. Terminales de cables para barreras

Se utilizarán las siguientes opciones de acuerdo a lo especificado:

Opción 1. Se utilizarán terminales de barreras de cable suministrados por un proveedor registrado en el MOPC y aprobado por el Ingeniero que sea compatible con el sistema utilizado.

Opción 2A. Se asegurará la barrera de cable a una baranda nueva como sea aprobado por el fabricante de la barrera de cable.

Opción 2B. Se asegurará la barrera de cable a una baranda existente como sea aprobado por el fabricante de la barrera de cable.

B.4. Barreras metálicas laterales para puentes

B.4.1. Alcance

Esta sección establece los requerimientos de las barandas metálicas para puentes, orientadas exclusivamente al tráfico vehicular.

No se tratan en esta especificación las barandas metálicas para peatones, mismas que se desarrollan en bibliografía especializada.

B.4.2. Vigas, placas y barras

Las vigas, placas y barras deberán ser conformes con ASTM A 36. El contenido de silicio de todas vigas, placas y barras expuestas que son establecidas en los planos con el rótulo “Galvanizado – Control de silicio”, deberán conformar lo siguiente.

- i. Galvanizado. El galvanizado se ejecutará, de acuerdo con lo que sea aplicable, con el proceso de inmersión en caliente de acuerdo a:
 - AASHTO M 111 (ASTM A 123).
 - AASHTO M 232 (ASTM A 153).

El acero que sea utilizado para barreras laterales de puentes y sea designado en los planos de taller con el rótulo “Galvanizado – Control de silicio” deberán tener un contenido controlado de silicio.

El contenido de silicio deberá estar ya sea en el rango de 0% a 0,04% ó 0,15% a 0,25%.

Antes de proceder con el galvanizado se someterá el certificado de calidad del fabricante para la aprobación del Ingeniero y para conocimiento del responsable del proceso de galvanización.

B.4.3. Tubos de acero estructural

Los miembros estructurales de las barandas metálicas deberán conformar con ASTM A 500. El acero que conforme con ASTM A 513 o ASTM A 618 puede ser sustituido con tubos ASTM A 500, sujeto a las siguientes limitaciones:

- Se proveerán resultados de ensayos de tensión y resistencia química.
- El contenido de silicio deberá conformar lo establecido en la presente especificación técnica.
- Los requerimientos de tensión y elongación de los tubos ASTM A 513 deberán conformar los requerimientos de los tubos ASTM A 500.

B.4.4. Barandas de acero.

Los miembros de parapetos metálicos deberán ser de perfiles de acero conformes con ASTM A 53, Grado B ó ASTM A 500, Grado B.

B.4.5. Postes de acero moldeado

Los postes de acero moldeado deberán ser de perfiles acero al carbono, acordes con AASHTO M 103 (ASTM A 27), Grado 65 – 35.

B.4.6. Barandas metálicas de perfil triple

Las vigas de perfil triple deberán ser conformes con AASHTO M 180, barandas Clase A, revestimiento Tipo II después de la fabricación y realizada la prueba de la mancha. Las placas de respaldo serán aceptadas con los extremos y agujeros no galvanizados, previendo que estas áreas serán tratadas en obra con un galvanizador sustituto aprobado aplicado como baño en caliente de acuerdo con ASTM A 780 y ASTM A 123. El contenido mínimo del método A2 será 94% sobre la película seca.

B.4.7. Imprevistos

Las placas, tapas y piezas misceláneas para completar la barrera serán ejecutadas como se indi-

ca en los planos de taller o como sea especificado.

B.5. Barreras metálicas laterales a la carretera y para separador central

B.5.1.

Alcance. Esta especificación incluye los requerimientos para transformar láminas de acero galvanizado en barandas, y los elementos de ferretería de las barandas.

Baranda de viga metálica. Se forma la baranda de acero galvanizado. La baranda de viga de acero galvanizado deberá conformar con los requerimientos de AASHTO M 180, Clase A. El revestimiento de zinc deberá conformar los requerimientos de AASHTO M 180, Clase II, aplicado después de la fabricación y sujeto al ensayo de la mancha simple.

Las placas de respaldo serán aceptadas con los bordes y agujeros no galvanizados previendo que estas áreas serán tratadas en la obra con un sustituto de galvanización aprobado por el Ingeniero.

Postes para barreras laterales y de separador central. Los postes de metal serán de acero estructural de acuerdo a los requerimientos de ASTM A 36, y el galvanizado deberá conformar con AASHTO M 111 (ASTM 123).

Ferretería de las barandas. Todos los pernos, tuercas, arandelas y otros elementos para las barandas de acero deberán conformar lo establecido en AASHTO M 180. Todos los pernos, tuercas y arandelas deberán ser como se detalla en los planos de taller o con lo que recomiende el proveedor, y no deberán tener sobre tamaño mayor a 0,8 mm (1/32”).

Ferretería de anclaje de las barandas. Los cables y otros elementos de anclaje deberán conformar los requerimientos de AASHTO M 30, Clase C para el cable Tipo II. El galvanizado se realizará de acuerdo con AASHTO M 111 (ASTM 123).

Para los anclajes de acero, los tubos de acero deberán cumplir los requerimientos de ASTM A 500, Grado B, ASTM A 501 ó ASTM A 618.

La placa del suelo deberá cumplir los requerimientos de ASTM A 36. Después de la fabricación se galvanizarán los tubos y la placa de acuerdo con AASHTO M 111 (ASTM 123).

B.5.2.

Aceptación de los materiales. Las fábricas pueden ser periódicamente inspeccionadas para verificar el cumplimiento de métodos de fabricación; y se obtendrán muestras para ensayos de laboratorio para verificar la calidad exigida de materiales.

Esta puede ser la base de aceptación de lotes y de calidad de materiales.

B.6. Barreras de aluminio

El proveedor de estos materiales deberá recomendar el uso de especificaciones especiales para barreras de aluminio, debiendo éstas conformar los requerimientos que correspondan de agencias internacionalmente reconocidas (en especial AASHTO y ASTM).

En el caso de uso de estos materiales, el Ingeniero redactará las especificaciones técnicas es-

peciales que correspondan, con la aceptación expresa del Contratista y la aprobación del Contratante.

B.7. Barreras de concreto

Este trabajo consiste en la construcción barreras concreto de cemento portland prefabricadas o vaciadas en sitio, en las formas y tamaños establecidas en los planos de taller o como lo apruebe el Ingeniero.

El suministro incluirá los siguientes materiales y procedimientos:

B.7.1.

Concreto comercial de resistencia específica. Este trabajo consiste en el suministro, colocación y terminado de concreto comercial de resistencia específica (siglas en inglés CGC). Se suministrarán materiales que cumplan con los siguientes requerimientos:

- (a) Aditivos (mezclas químicas). Esta especificación incluye los requerimientos para los aditivos (mezclas químicas) para incorporación de aire, reducción de agua, retardadores y aceleradores de fraguado.

Se suministrarán aditivos de proveedores registrados por el MOPC y aprobados por el Ingeniero.

Un aditivo que no esté registrado en la lista de proveedores podrá ser utilizado si, antes de utilizarlo, el Contratista proporciona un certificado de resultados de ensayos demostrando que el aditivo ha sido ensayado para cumplir con las presentes especificaciones. El Contratante podrá tomar muestras y someterlas a ensayos de acuerdo con los Procedimientos de Ensayo de Materiales fuera del sitio de la obra que incluyen usualmente lo siguiente:

- El certificado de resultados de ensayos, proporcionado por el Contratista.
- El certificado de cumplimiento de calidad, emitido por alguna agencia reconocida internacionalmente (AASHTO, ASTO u otra).
- Lista de equipos y planos para los materiales propuestos (planos de taller, lista de materiales, lista de equipos, catálogos descriptivos, brochures del fabricante), que son remitidos al Ingeniero para verificar su cumplimiento con las especificaciones técnicas del proyecto.
- Certificado de origen de materiales de acero, que será proporcionado sólo a requerimiento específico del Ingeniero.

Los materiales serán sujetos a un ensayo de aceptación si el Ingeniero lo requiere. El Ingeniero puede rechazar materiales dañados o que no cumplan las especificaciones sin importar los documentos de conformidad que se hayan presentado.

El contenido de cloro de cualquier aditivo utilizado en concreto de cemento portland en contacto con piezas metálicas embebidas no deberá exceder del 0,5% en peso de la mezcla.

- (b) Especificación de los Aditivos (mezclas químicas).

Aditivo para incorporación de aire ocluido: AASHTO M 154 (ASTM C 260).

Aditivo reductor de agua de fraguado: AASHTO M 194 (ASTM C 494).

Aditivo retardador:	AASHTO M 194 (ASTM C 494).
Aditivo acelerador:	AASHTO M 194 (ASTM C 494).

Agregados. A continuación se incluyen los requerimientos para los agregados gruesos y finos para concreto de cemento portland.

- (a) Materiales. El Contratista puede solicitar la aprobación para la producción de materiales diferentes a los especificados aquí. La solicitud deberá realizarse por escrito y deberá incluir el valor propuesto como objetivo y las tolerancias especificadas para cada tamaño de tamiz que el Contratista se propone producir.
- (b) Agregado grueso. Los agregados gruesos deberán consistir de partículas duras, durables provenientes de rocas u otro material inerte aprobado. Las partículas no deberán tener materiales adheridos en superficie.
- (c) Sustancias perjudiciales. Las sustancias perjudiciales no deberán exceder de los siguientes límites:

Tabla 3.3.3_23. SUSTANCIAS PERJUDICIALES

Ensayo	Método de ensayo	% (en peso)
Piezas livianas	AASHTO T 113	1,0%
Material que pasa el tamiz N° 200 ⁽¹⁾	AASHTO T 11	1,0% ⁽¹⁾
Partículas de madera	-	0,05%

Para áridos triturados, si el material que pasa el tamiz No. 200 consiste de polvo de roca esencialmente libre de arcilla o esquisto y es no plástico, el porcentaje puede ser incrementado a 1,5%.

Los materiales deberán estar razonablemente libres de otras sustancias deletéreas.

- (d) Durabilidad. Los agregados gruesos deberán cumplir los siguientes requerimientos de durabilidad.

Tabla 3.3.3_24. REQUERIMIENTOS DE DURABILIDAD PARA AGREGADOS GRUESOS

Ensayo	Método de ensayo	requerimientos
Abrasión	AASHTO T 96	30,0% máx.
Degradación del agregado al aire	ODOT TM 208 ⁽¹⁾	30,0% máx.
Altura de sedimento	ODOT TM 208 ⁽¹⁾	7,5 cm (3") máx.

ODOT = Oregon Department of Transportation.

- (e) Agregado para pavimentos de concreto de cemento portland. Adicionalmente a lo requerido más arriba, deberá cumplir con lo siguiente:
 - i. Caras fracturadas. Se proveerá agregados con al menos dos caras fracturadas en al menos el 50% de las partículas retenidas en los tamices 3/8", 1/2", 3/4", 1" y 1,5", como se determina en AASHTO TP 61.

ii. Piezas elongadas. Los agregados no tendrán más de 10% en peso de piezas elongadas en el material retenido en el tamiz No. 4 cuando sea ensayado de acuerdo con ODOT TM 229 con el aparato calibrador ajustado a una razón de 5:1.

(f) Granulometría y separación por tamaños para concreto preesforzado. El muestreo se realizará de acuerdo con AASHTO T 2 y el análisis de tamices se realizará de acuerdo con AASHTO T 27 y AASHTO T 11. El agregado grueso para concreto de cemento portland deberá cumplir con la granulometría y separación de tamaños a continuación.

(1) Como se indica en la Tabla 3.3.3_30, el agregado grueso deberá ser separado en dos tamaños y cada uno deberá ser medido en la amasada en la cantidad determinada por el diseño de mezcla.

Para cada uno de los tamaños máximos de agregado grueso, los tamaños separados serán los indicados en la Tabla 3.3.3_31.

Tabla 3.3.3_25. SEPARACIÓN DE AGREGADOS GRUESOS EN DOS TAMAÑOS

Tamaño máximo nominal de agregados	Tamaños separados
1"	1" – No. 4
3/4"	3/4" – No. 4
3/4"	3/4" – 1/2" y 1/2" – No.4
3/4"	3/4" – 3/8" y 3/8" – No.4

La granulometría de cada tamaño separado deberá cumplir con lo siguiente:

Tabla 3.3.3_26. GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS GRUESOS SEPARADOS PARA CONCRETO PREESFORZADO

Tamaño de tamiz	Tamaños separados					
	1" – No. 4	3/4" – No. 4	3/4" – 1/2"	3/4" – 3/8"	1/2" – No. 4	3/8" – No. 4
Porcentaje que pasa (en peso)						
1,5"	100	-	-	-	-	-
1"	90 – 100	100	100	100	-	-
3/4"	50 – 80	90 – 100	85 – 100	85 – 100	100	100
1/2"	-	-	0 – 15	35 – 65	85 – 100	-
3/8"	15 – 40	20 – 50	-	0 – 15	35 – 65	85 – 100
No. 4	0 – 10	0 – 10	-	-	0 – 15	0 – 15
No. 200	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)

Ver Tabla 3.3.3_28 (Sustancias perjudiciales).

(g) Granulometría y separación por tamaños para otros tipos de concreto. El muestreo se realizará de acuerdo con AASHTO T 2. El análisis granulométrico se realizará de acuerdo con AASHTO T 27 y AASHTO T 11. Se suministrarán agregados que cumplan con los requerimientos de graduación de las Tablas 3.3.3_32 y 3.3.3_33 para proyectos de concreto estructural con más de 75 m³ de concreto. Se proveerá del equipo y herramientas para realizar el muestreo y los ensayos cuando sean requeridos.

Tabla 3.3.3_27. GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS GRUESOS SEPARADOS PARA CONCRETO ESTRUCTURAL

Tamaño de tamiz	Tamaños ⁽¹⁾ combinados	Tamaños separados	Tamaños separados	Tamaños separados 3/4" – 1/2"
	1,5" – No. 4	1,5" – 3/4"	1" – No. 4	
Porcentaje que pasa (en peso)				
2"	100	100	-	-
1,5"	95 – 100	90 – 100	100	-
1"	-	20 – 55	95 – 100	100
3/4"	35 – 70	0 – 15	-	85 – 100
1/2"	-	-	25 – 60	0 – 15
3/8"	10 – 30	0 – 5	-	-
No. 4	0 – 5	-	0 – 10	-
No. 8	-	-	0 – 5	-

(1) Para agregado grueso de 1,5" utilizar dos o más tamaños separados que cuando combinados cumplan los límites granulométricos para 1,5" – No. 4.

Tabla 3.3.3_28. GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS GRUESOS SEPARADOS PARA CONCRETO ESTRUCTURAL

Tamaño de tamiz	Tamaños ⁽¹⁾ separados	Tamaños separados o combinados	Tamaños separados	Tamaños separados
	3/4" – 3/8"	3/4" – No. 4	1/2" – No. 4	3/8" – No. 8
Porcentaje que pasa (en peso)				
1"	100	100	-	-
3/4"	90 – 100	90 – 100	100	-
1/2"	20 – 55	-	90 – 100	100
3/8"	0 – 15	20 – 55	40 – 70	85 – 100
No. 4	0 – 5	0 – 10	0 – 15	10 – 30
No. 8	-	0 – 5	0 – 5	0 – 10
No. 16	-	-	-	0 – 5

(h) Agregados finos

- i. Requerimientos Generales. El agregado fino consistirá de áridos naturales o triturados u otro material inerte consistente en partículas duras, resistentes y durables y deberá conformar una granulometría especial.
- ii. Fuentes diferentes. No se mezclarán agregados finos provenientes de diferentes fuentes, ni se acumularán en una sola pila. No deberán utilizarse diferentes arenas en el mismo tipo de mezcla sin aprobación previa del Ingeniero.
- iii. Sustancias perjudiciales. La cantidad de sustancias perjudiciales no deberá exceder los siguientes límites:

Tabla 3.3.3_29. SUSTANCIAS PERJUDICIALES EN AGREGADOS FINOS

Ensayo	Método de ensayo	% (en peso)
Piezas livianas	AASHTO T 113	2,0%
Material que pasa el tamiz N° 200 ⁽¹⁾	AASHTO T 11	4,0%

(1) Si este material consiste de polvo de roca triturada, esencialmente libre de arcilla y no plástico, el porcentaje puede ser incrementado a 6,0%.

El material también estará razonablemente libre de otras sustancias nocivas, como esquistos, álcalis, mica, granos recubiertos y partículas suaves.

- iv. Solidez. La solidez del agregado fino deberá ser ensayada utilizando sal de sulfato de aluminio de acuerdo con AASHTO T 104. El porcentaje de peso perdido no deberá exceder de 10% en peso.
- v. Impurezas orgánicas. Todos los agregados finos deberán cumplir los requerimientos de AASHTO M 6 para impurezas orgánicas.
- vi. Equivalente de arena. Los agregados finos serán ensayados de acuerdo con AASHTO T 176 y tendrán un equivalente de arena no menor de 68.
- vii. Arena para morteros. La arena para morteros deberá cumplir con los requerimientos de esta especificación.
- viii. Granulometría. El muestreo se realizará de acuerdo con AASHTO T 2. El análisis de tamices se realizará de acuerdo con AASHTO T 27 y AASHTO T 11. Se proveerán agregados que cumplan los requerimientos de granulometría de la tabla a continuación cuando se ejecuten proyectos de concreto estructural con volumen superior a 75 m³ y cualquier volumen de concreto preesforzado. Se pondrá a disposición el equipo necesario para el muestreo y ensayos cuando sea requerido.

Tabla 3.3.3_30. GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS FINOS(1)

Tamiz	Porcentaje que pasa (por peso)
3/8"	100
No. 4	90 – 100
No. 8	70 – 100
No. 16	50 – 85
No. 30	25 – 60
No. 50	5 – 30
No. 100	0 – 10
No. 200	0 – 4 ⁽²⁾

(1) Determine el módulo de fineza de acuerdo con AASHTO T 27 y AASHTO T 11. Mantenga el módulo de fineza del agregado fino dentro del $\pm 0,20$ del valor del módulo de fineza utilizado en el diseño de mezclas del Contratista. Los agregados finos en los que el módulo de fineza varía más del 0,20 del valor de diseño serán rechazados a menos que se realice un ajuste en las proporciones con equipo acorde a lo previsto en ACI 211.

(2) Para arena fabricada, cuando el material que pasa el tamiz No. 200 proviene de la trituración de roca y es no plástico, el límite de la especificación puede ser

incrementado a 6%.

B.7.2. Aditivos de unión (puentes de adherencia)

- (a) Aditivos epóxicos de unión (puentes de adherencia epóxicos). Se suministrarán aditivos epóxicos de proveedores registrados por el MOPC y aprobados por el Ingeniero.
- (b) Aditivos no epóxicos de unión (puentes de adherencia no epóxicos). Se suministrarán aditivos no epóxicos de proveedores registrados por el MOPC y aprobados por el Ingeniero.

B.7.3. Cemento Portland

- (a) Tipos. Se suministrará alguno de los tipos de cemento a continuación:

- Tipo I.
- Tipo II.
- Tipo III.

No se mezclarán ni utilizarán alternadamente diferentes marcas o tipos de cemento, o la misma marca y tipo de cemento proveniente de diferentes fábricas sin previa aprobación escrita del Ingeniero.

- (b) Especificaciones. El cemento portland deberá cumplir con los requerimientos de AASHTO M 85 para cemento bajo en álcalis, a excepción de lo siguiente:

- Los cementos tipo I o III contendrán un máximo de 10% de aluminato tricálcico.
- El tiempo de fraguado será determinado con el ensayo de Gillmore o el ensayo de Vicat.
- La fineza máxima (superficie específica) determinada con el ensayo de permeabilidad al aire será 430 m²/kg para cualquier muestra tomada en el sitio de la obra. Los resultados de ensayos en obra de verificación de la superficie específica no serán promediados.

- (c) Aceptación. El cemento portland será suministrado por un proveedor registrado por el MOPC y aprobado por el Ingeniero.

B.7.4. Cemento Hidráulico Mezclado

El cemento hidráulico mezclado será ya sea de Tipo IP cemento puzolánico, o Tipo I (SM) cemento portland modificado con escoria. Deberá ser conforme con AASHTO M 240 modificado como sigue:

- El cemento constituyente del cemento mezclado deberá conformar lo establecido en el numeral 3.3.3.3.4, (B.7.4).
- La puzolana constituyente del cemento mezclado deberá ser de ceniza recuperada de chimenea de alto horno que cumpla lo establecido a continuación.

- (a) Ceniza de alto horno

- i. Tipos. La ceniza de alto horno deberá ser Clase C, Clase F o Clase N de la lista de proveedores registrados por el MOPC y aceptados por el Ingeniero, y deberá cumplir con AASHTO M 295, incluyendo la Tabla 2, y exceptuando lo siguiente:
 - La pérdida en ignición deberá ser 1,5% como máximo.
 - El contenido de humedad deberá ser de 1% como máximo.
 - La cantidad retenida en el tamiz No. 325 deberá ser 30% como máximo.
- ii. Aceptación. La ceniza de alto horno será aceptada para utilización inmediata si se acompaña con un certificado de resultados de ensayos de acuerdo al Método de Materiales no Ensayados en Obra.

Para la verificación de aceptación del material, una muestra deberá ser extraída en el sitio de trabajo para el ensayo de verificación

(b) Humos de silicio

- i. Tipos. El humo de silicio será suministrado como una mezcla que contiene humo de silicio, agua y un alto rango de reductor de agua, o como un polvo densificado. El humo de silicio deberá cumplir con AASHTO M 307, incluyendo la Tabla 1a Requerimientos Químicos Opcionales.
- ii. Aceptación. El humo de silicio será aceptada para utilización inmediata si se acompaña con un certificado de resultados de ensayos de acuerdo al Método de Materiales no Ensayados en Obra.

Si el humo de silicio es suministrado como mezcla, el certificado indicará el contenido de humo de silicio como porcentaje en peso de la mezcla. Si el humo de silicio es suministrado en forma de polvo densificado, no se permitirá que el envase ingrese a la mezcla de concreto.

- (c) Mezcla formulada de látex.** La mezcla formulada de látex deberá ser suministrada por un proveedor registrado en el MOPC y aprobado por el Ingeniero, y será una emulsión en agua de polímero, no tóxica, que forme película, y en la que todos los estabilizadores hayan sido adicionados en fábrica. Será homogénea y de composición uniforme, y cumplirá con los siguientes requerimientos:

Tabla 3.3.3_31. COMPOSICIÓN DE ESTABILIZADORES

Estabilizadores tipo poliméricos	Estireno butadieno
Látex	(Surfactants) no tóxicos
Composición del cemento portland	Polidimetil (siloxane)
Sólidos, % en peso, mín.	46,0
Densidad en volumen lb/gal, mín.	8,4 a 77°F
pH	9,0 a 11,0
Color	Blanco

Las mezclas de látex que no han sido adecuadamente almacenadas de acuerdo con las recomendaciones del fabricante no serán aceptadas.

- (d) Escoria granulada de alto horno.** Este material deberá cumplir con los requerimientos de AASHTO M 302.

B.7.5. Materiales de curado

En esta especificación se incluyen los requerimientos para los compuestos líquidos, reductores de evaporación, películas de polietileno, y mantas de curado utilizadas para cubrir el concreto y otras superficies para retener la humedad y para curado.

- (a) Compuestos líquidos. Se suministrará membrana líquida para curado de un proveedor registrado por el MOPC y aprobado por el Ingeniero y que cumpla con los requerimientos de AASHTO M 148, excepto cuando el ensayo se realice de acuerdo con ODOT TM 721 el requerimiento para el tiempo de secado no será exigible. La tasa de aplicación para el ensayo será de 1 galón por 18,5 m².

Todos los compuestos serán Clase A. Los compuestos basados en solvente serán de Tipo 1-D.

- (b) Películas de polietileno. Se suministrará película transparente o blanca para curado de concreto, que cumpla con los requerimientos de AASHTO M 171.
- (c) Mantas de curado. Las mantas serán suministradas por un proveedor registrado por el MOPC y aprobado por el Ingeniero.
- (d) Compuestos reductores de la evaporación. Serán suministrados por un proveedor registrado por el MOPC y aprobado por el Ingeniero.

B.7.6. Lechada

Se suministrará lechada de un proveedor registrado por el MOPC y aprobado por el Ingeniero.

- (a) Lechada epóxica. Se suministrará lechada epóxica de un proveedor registrado por el MOPC y aprobado por el Ingeniero.
- (b) Lechada no epóxica. Se suministrará lechada no epóxica de un proveedor registrado por el MOPC y aprobado por el Ingeniero.
- (c) Lechada para llaves de encastre. Se suministrará lechada utilizada en las llaves de miembros del concreto preesforzado prefabricado que no encoja, no ferrosa, no epóxica con una resistencia mínima de diseño de 353 kg/cm² (5.000 psi) a los 28 días calendario. Se suministrará lechada para llaves de encastre de un proveedor registrado por el MOPC y aprobado por el Ingeniero, y se utilizará de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.
- (d) Lechada de cemento portland. Se suministrará lechada de cemento portland consistente en una parte de cemento portland y tres partes de arena en peso, mezclada a fondo con una cantidad mínima de agua para producir una consistencia densa y cremosa. La arena deberá cumplir con los requerimientos del numeral 3.3.3.3.4 (B.7.2)(Agregados finos, y el cemento deberá cumplir los requerimientos del numeral 3.3.3.3.4, (B.7.4) Cemento portland.
- (e) Lechada para tendones. Se suministrará lechada para tendones de un proveedor registrado por el MOPC y aprobado por el Ingeniero que cumpla estrictamente estos requerimientos.

B.7.7. Modificadores

Cumplirán lo establecido en el numeral 3.3.3.3.4, punto (B.7.5) (a), (b), (c) y (d).

B.7.8. Agua

Este numeral incluye los requerimientos para el agua utilizada en el mezclado de concreto, mortero, lechada y otras aplicaciones cuando sea especificado o instruido.

El agua utilizada en las mezclas o curado del concreto para morteros y lechada, y en el mezclado de base tratada con cemento deberá ser razonablemente limpia, libre de aceites, azúcar, materia orgánica u otras sustancias nocivas para el producto terminado.

- (a) Agua potable. El agua potable puede ser utilizada sin algún ensayo si el Contratista proporciona un certificado de cumplimiento que verifique que el agua cumple con los límites de esta especificación de acuerdo a ensayos realizados dentro de los dos últimos años.

El agua aprobada para uso público por el Ministerio de Salud puede ser utilizada sin realizar ensayos.

- (b) Agua no potable o de calidad desconocida. El agua no potable o de calidad sospechosa deberá ser sometida a ensayos sin costo adicional para el Contratante de acuerdo con AASHTO T 26 antes de utilizarse en el proyecto, y deberá cumplir con los siguientes límites:

Tabla 3.3.3_32. LÍMITES PARA EL AGUA PARA MEZCLAS

Descripción	mínimo	Máximo
pH	6,0	8,0
ión cloro, %	-	0,15
ión sulfato, %	-	0,50
Total sólidos disueltos, ppm	-	6.500
Total sólidos suspendidos, ppm	-	2.000

Si cualquiera de los datos de ensayo está fuera de estos límites, el agua puede ser aceptada sobre la base de una evaluación de la reducción de la resistencia a los 7 días, que no deberá exceder de 10,0%. En ambientes marinos el porcentaje de ión cloro se deberá limitar a un valor máximo de 0,10%.

- (c) Agua reciclada para mezcla. El agua proveniente de operaciones de lavado puede ser utilizada para mezclas de concreto siempre que esté:
 - Dentro de los límites de ASTM C 94, Tabla 1. Criterios de aceptación para agua procedente de fuentes observables, y ASTM C 94, Tabla 2. Limitaciones químicas para agua de lavado. Adicionalmente, el peso específico máximo se limitará a 1,03.
 - Será ensayada en intervalos semanales por un período de 4 semanas como mínimo antes de su uso en el proyecto. La frecuencia de los ensayos puede ser reducida a períodos mensuales después que cada ensayo realizado no exceda los límites establecidos más arriba. Los ensayos requeridos incluyen ensayos físicos establecidos en la Tabla 1 de ASTM C 94, los ensayos químicos de la Tabla 2 de ASTM C 94 y los ensayos de peso específico. Los ensayos serán realizados sin costo adicional para el Contratante. Los resultados de los ensayos serán sometidos al Ingeniero antes del uso del agua en el proyecto.
 - Fabricada de un proceso de dilución antes que un proceso de concentración (un proceso de dilución es aquel en el que el agua es diluida extensivamente y agitada continuamente para mantener los sólidos en un estado de suspensión).

- Libre de agentes colorantes.
- No se utiliza si la temperatura ambiente es de 29,5°C o mayor.
- No se utiliza si la temperatura ambiente de 4,5°C o menor.
- No se utiliza en estructuras cubiertas.

B.7.9. Proporciones

Se suministrarán por escrito al Ingeniero las proporciones en peso de los siguientes materiales antes que sean utilizados en cualquier concreto comercial de grado específico.

- Mezclas incorporadoras de aire.
- Cemento.
- Cada tamaño de agregados.
- Ceniza de alto horno.
- Otros aditivos.
- Agua.

B.7.10. Propiedades del concreto comercial de grado específico

Se suministrará una mezcla trabajable de concreto comercial de grado específico que sea uniforme en composición y consistencia, y deberá tener las siguientes características:

- Aire ocluido. 4,0% a 7,0%.
- Asentamiento (slump). 12,5 cm o menor.
- Resistencia a la compresión. Mínimo 210 kg/cm² (3.000 psi) a los 28 días.
- Temperatura. 10°C mínimo a 32°C máximo.

B.7.11. Concreto mezclado en la obra

El concreto comercial de grado específico puede ser mezclado para los trabajos listados a continuación:

Tabla 3.3.3_33. TRABAJOS QUE PUEDEN SER EJECUTADOS CON CONCRETO COMERCIAL DE GRADO ESPECÍFICO MEZCLADO EN LA OBRA

Trabajo
Relleno para conductos eléctricos
Fundaciones de postes de vallas
Anclajes de barandas
Bloques de (trust) de sistemas de irrigación
Fundaciones de soportes de buzones de correo
Bloques de protección de salidas
Fundaciones de soportes de tubos cuadrados de señalización

B.7.12. Muestreos y ensayos de aceptación

- (a) Generalidades. Los muestreos y ensayos de aceptación se basarán en muestras obtenidas en el sitio de la obra de la descarga del vehículo de entrega. Todo el muestreo y ensayos deben ser realizados por un técnico calificado de control de calidad.

El concreto comercial de grado específico puede ser aceptado visualmente para los ítems de trabajo consignados en la Tabla 3.3.3_38.

- (b) Boletas de entrega. Cada carga de concreto comercial de grado específico será enviada con una boleta de entrega para registrar el origen, día, tiempo de mezclado, tamaño de la carga, y calidad de los constituyentes individuales de la carga. No se requerirá boleta de entrega para el concreto mezclado en el sitio de la obra.
- (c) Concreto comercial de grado específico plástico. La aceptación de concreto comercial de grado específico plástico se basará en los ensayos realizados por un técnico calificado de control de calidad, de acuerdo con las características mostradas en el numeral 3.3.3.4, (B.7.11) .
- (d) Concreto comercial de grado específico endurecido. La aceptación de concreto comercial de grado específico endurecido se realizará de acuerdo con el numeral 3.3.3.4, (B.7.11). Se vaciará un juego de cilindros por cada 15 m³, con un máximo de un juego por día.

B.7.13. Control de calidad

El control de calidad se realizará de acuerdo con la normativa vigente expuesta para HORMIGONES de las Especificaciones Técnicas para Construcción de las Normas Paraguayas.

B.7.14. Personal de control de calidad

Los técnicos encargados del control de calidad deberán ser técnicos calificados con certificación reconocida.

B.7.15. Construcción

- (a) Generalidades.
- i. Mezclado. El concreto comercial de grado específico será mezclado el tiempo necesario para asegurar la distribución uniforme de los materiales en la mezcla.
 - ii. Colocación. El concreto comercial de grado específico se colocará de acuerdo con las estipulaciones aplicables y como se indica a continuación:

- Se colocará utilizando las mejores prácticas usualmente aceptadas para evitar la segregación.
 - Se vibrará y nivelará para lograr un concreto denso y homogéneo, libre de vacíos y bolsas de piedras.
 - Se colocará en obra dentro de los 90 minutos después del mezclado.
- iii. Encofrados. Se suministrarán encofrados para el concreto comercial de grado específico de acuerdo a los especificado en las dimensiones que correspondan donde se necesite, aplicando las mejores prácticas usuales. Se colocará en los niveles y pendientes que se muestran en los planos de diseño o como sea instruido por el Ingeniero.
- iv. Clima. No se vaciará el concreto cuando la temperatura del aire esté debajo de 1,7°C sin aprobación del Ingeniero. El concreto fresco se protegerá del congelamiento si se espera que la temperatura del aire caiga por debajo de 1,7°C durante los primeros 5 días calendario después de la colocación.
- v. Curado. El concreto será curado con arpillera húmeda, lienzo, arena u otro material aceptable, y se mantendrá húmedo por un mínimo de 7 días calendario.

Los compuestos de curado pueden ser utilizados excepto en superficies de concreto o refuerzos de acero que quedará en contacto con los derrames del concreto adyacente. Se utilizarán compuestos de curado de acuerdo a lo siguiente:

Tabla 3.3.3_34. USO DE COMPUESTOS DE CURADO

Item	Tipo 1 ó 1D (transparente)	Tipo 2 (con pigmento blanco)
Bordillos de drenaje	*	*
Bordillos de pendiente de pavimento y pavimentos de berma	Sí	No
Aceras, rampas, rampas peatonales, cobertura de superficies, pasillos, bordillos e islas	*	*
“ Use el Tipo 2 excepto cuando el Ingeniero requiere Tipo 1 ó 1D		

Los compuestos de curado se utilizarán a una tasa de no menor a 1 galón por cada 14 m².

- (b) Terminado general de superficie. Se dará al concreto una terminación de superficies de acuerdo a lo siguiente, además de la terminación especificada para un ítem particular de trabajo.
- (c) Se dará a todas las superficies de concreto un acabado general de superficie antes de ejecutar una acabado de clase superior especificado para un ítem particular de trabajo. Un acabado general de superficie consiste de lo siguiente:
- i. En todas las superficies:
 - Se removerán los pernos de encofrados y pedazos de metal hasta una profundi-

dad de 2,5 cm (1"). En el caso de obras ubicadas cerca a la costa marítima hasta una distancia de 40 km de la costa, la remoción de pernos de encofrados y pedazos de metal se realizará hasta una profundidad de 5cm (2").

- Se removerán las bolsas de piedras y el concreto débil.
- Los huecos y depresiones serán rellenados en una profundidad mínima o diámetro de 12 mm (1/2") con un material de parchado aprobado.
- ii. En todas las superficies expuestas:
 - Se corregirán las protuberancias, rebabas, depresiones, manchas, decoloraciones y otras imperfecciones.
 - Si es requerido, se inclinarán las superficies formadas con relación a lo especificado en los planos en tasas que no excedan las siguientes cantidades por cada 3,0 m:
 - Juntas de estanqueidad: 3,0 mm (1/8").
 - Otras superficies expuestas: 38,0 mm (1,5").
 - Superficies ocultas: 25,0 mm (1").
 - Superficies expuestas sin pendiente, diferentes a pavimentos y aceras, con relación a un plano especificado, no deberán exceder de los siguientes límites, si es requerido:
 - En 3,0 m: 6 mm (1/4").
 - En 6,0 m: 10 mm (3/8").

El Ingeniero determinará la extensión de las reparaciones requeridas.

- (d) Reemplazo o reducción de precio. Se removerá el concreto representado por cilindros de ensayo que no lleguen a la resistencia mínima requerida y será reemplazado sin costo adicional para el Contratante. Si el Ingeniero determina que el concreto de resistencia baja es adecuado para el propósito específico, el Contratista puede aceptar una reducción de precio establecida por el Ingeniero en lugar de la remoción y reemplazo del concreto.

B.7.16. Medición

No se realizarán mediciones de cantidades para el concreto comercial de grado específico.

B.7.17. Pago

No se hará ningún pago por separado o adicional para el concreto comercial de grado específico. El pago de este trabajo estará incluido dentro de los ítems de trabajo donde el mismo sea requerido.

B.7.18. Material para recubrir el concreto

Deberá conformar los siguientes requerimientos para pinturas de emulsión de látex específicas para el curado de concreto fresco.

- (a) Fabricación. El material suministrado deberá cumplir con los siguientes requerimientos:
- Ser preparado en fábrica listo para su aplicación o para el mezclado en obra de múlt-

tiples componentes. Los materiales con varios componentes para mezclar deberán ser suministrados por el fabricante con cada componente en su proporción correcta y en envases separados listos para su mezclado en campo.

- Ser homogéneo, libre de contaminantes, y de una consistencia adecuada para el uso específico.
- Incluir aditivos para el control de asentamiento, asentamiento de pigmento, nivelación, secado y absorción más seco, peladuras o cualquier otra propiedad que afecte la aplicación y el curado.
- No requerir un pre tratamiento químico o material previo a la aplicación de la capa de imprimación excepto cuando así este estipulado específicamente en estas especificaciones.
- Incluir los tintes y colores requeridos a tiempo de su fabricación. Cuando se especifique la aplicación de capas sucesivas, cada capa deberá ser teñida para proporcionar un contraste entre capas. El material de teñido deberá ser compatible con el material de recubrimiento y no deberá ser perjudicial para su rendimiento.
- No variar en composición sin aviso previo del fabricante y aprobación del Ingeniero.

No se permitirán cambios en la fórmula.

Todas las capas en el sistema de protección provendrán del mismo fabricante.

Se aplicarán los materiales de protección antes de la fecha de expiración recomendada por el fabricante.

(b) Envasado. Los materiales deberán ser envasados de acuerdo a los siguientes requerimientos:

- Ser de plástico o acero, totalmente nuevos y con capacidad no mayor a 6 galones.
- Tener una tapa con agarradera para jalar con un aro de sello, y deberá estar equipada con orejas y agarradera.
- Cumplir con las Regulaciones para el Transporte de Materiales Peligrosos del MOPC, si existen, en caso alternativo se recomienda utilizar las Regulaciones para el Transporte de Materiales Peligrosos del Departamento de Transportes de Estados Unidos.
- Estar protegido si es necesario, para prevenir ataques del material de recubrimientos. El protector no deberá sobresalir del contenedor.
- Ser original y nunca abierto.
- Estar etiquetado con un certificado de cumplimiento de calidad que muestre lo siguiente:
 - Nombre del fabricante.
 - Título exacto del material de recubrimiento.
 - Número de especificación de la agencia, si existe alguna.
 - Número de lote de fabricación.
 - Fecha de fabricación.

- Fecha de expiración.
- Identificación de todas las sustancias tóxicas.
- Precauciones de manipuleo y aplicación.

B.7.19. Refuerzos de barras de acero corrugadas

A menos que sea especificado de otra manera o mostrado en los planos de diseño, todas las barras de refuerzo de acero deberán ser Grado 420 (Grado 60) y deberán conformar los requerimientos de ASTM A 706 ó AASHTO.

B.7.20. Lechadas de cemento portland

El material consistirá en una parte de cemento portland y tres partes de arena en peso, mezclada a fondo con una cantidad mínima de agua para producir una consistencia cremosa y densa. La arena deberá conformar los requerimientos establecidos para Agregados Finos de la presente especificación técnica.

B.7.21. Relleno preformado de juntas

El material preformado de relleno para juntas deberá ser suministrado por un proveedor registrado por el MOPC y aprobado por el Ingeniero, y cumplirá con lo establecido en AASHTO M 153 ó AASHTO M 213.

Los rellenos que cumplan con AASHTO M 213, excepto el binder, si son diferentes a un material bituminoso, podrán ser utilizados si cumplen con lo establecido en la presente especificación y se haya demostrado que son resistentes a corromperse y son a prueba de insectos dañinos por un período de al menos 5 años. A menos que sea especificado de otra manera o instruido por el Ingeniero, el Contratista podrá suministrar cualquier tipo establecido en esta especificación.

- Otros materiales. Cualquier modificación del concreto, áridos finos, áridos gruesos, ferrería, barras de enlace, conectores de perfil C y otros, serán objeto de una Especificación Técnica Especial a ser redactada por el Ingeniero.
- Identificación. Se colocará un código de identificación de forma permanente (con plantilla troquelada) en la cara superior o en la cara vertical más baja de cada barrera de concreto, código que identificará al fabricante de la barrera, la fecha de fabricación y el número pieza. Las piezas de barreras que no porten un código de identificación no serán aceptadas.

B.7.22. Reutilización de barreras de concreto

Barreras usadas de concreto prefabricado pueden ser utilizadas en instalaciones permanentes de acuerdo a lo siguiente:

- (a) Barreras nuevas utilizadas para aplicaciones temporales. Las barreras de concreto pre-moldeado utilizadas en aplicaciones temporales en el proyecto pueden ser reutilizadas en instalaciones permanentes si es que cumplen lo siguiente:
 - Están en buenas condiciones, sin roturas visibles, virutas o astillas.
 - Presentan una superficie de textura uniforme y buena apariencia.
 - Están exentas de marcas, excepto lo indicado en Identificación.
 - Tienen aplicadas dos capas de protección de un material con base de agua que cum-

pla los requerimientos de 3.3.3.3.2. (B.7.18) (Material para recubrir el concreto) después de su instalación en su posición final.

- (b) Barreras utilizadas en proyectos anteriores. Las barreras de concreto prefabricado utilizadas en anteriores proyectos pueden ser utilizadas en instalaciones permanentes con la condición que cumplan los requerimientos de este numeral y, antes de enviarlas al proyecto:
- El Contratista suministra la documentación necesaria de procedencia y calidad, que será aprobada por el Ingeniero antes de autorizar su ingreso a la obra.
 - Las barreras han sido restauradas a una condición “como nueva”, sin roturas visibles, virutas, astillas o bucles corroídos.
 - Las barreras presentan una superficie de textura y apariencia uniforme.
 - Las barreras están libres de marcas, excepto lo establecido en 1 Identificación.
 - Tienen aplicadas dos capas de protección de un material con base de agua que cumpla los requerimientos de 3.3.3.3.2. (B.7.18)(Material para recubrir el concreto) después de su instalación en su posición final.
- (c) Reparación de daños. Si cualquier segmento de una barrera de concreto es dañado por el Contratista durante o después de su instalación, será inmediatamente reparado a satisfacción del Ingeniero o reemplazado con una sección no dañada, a costo y responsabilidad del Contratista.
- (d) Control de calidad. El control de calidad se realizará de acuerdo con lo establecido en las Condiciones Generales del Contrato de Construcción.

B.8. Atenuadores de impacto (atenuadores de energía)

B.8.1. Descripción

- (a) Alcance. Este trabajo consiste en el suministro e instalación de atenuadores de impacto, conocidos también como atenuadores de energía para instalaciones permanentes.
- (b) Referencias requeridas. Si la ubicación o el método de instalación de los atenuadores de impacto son diferentes a las recomendaciones del fabricante, se deberá proporcionar planos de taller, inclusive para los componentes de concreto.

B.8.2. Materiales

Se suministrarán atenuadores de impacto de proveedores registrados por el MOPC y aprobados por el Ingeniero de acuerdo a la presente especificación.

Se permiten los siguientes tipos de atenuadores de impacto:

Tipo A: Dispositivo bloqueador, ensayo nivel 3; sólo para uso en banquina, angosto, mantenimiento regular.

Tipo B: Dispositivo bloqueador, ensayo nivel 3; para banquina, bifurcaciones y uso en separador central; angosto, mantenimiento regular.

Tipo C: Dispositivo no bloqueador, ensayo nivel 2; para banquina, bifurcaciones y uso en separador central; angosto; mantenimiento regular.

Tipo D: Dispositivo no bloqueador; ensayo nivel 2; para banquina, bifurcaciones y uso en

separador central; ancho; mantenimiento regular.

Tipo E: Dispositivo no bloqueador; ensayo nivel 3; para banquina, bifurcaciones y uso en separador central; estrecho; mantenimiento regular.

Tipo F: Dispositivo no bloqueador; ensayo nivel 3; para banquina, bifurcaciones y uso en separador central; ancho; mantenimiento regular.

Tipo G: Dispositivo no bloqueador; ensayo nivel 2; para banquina, bifurcaciones y uso en separador central; estrecho; bajo mantenimiento.

Tipo H: Dispositivo no bloqueador; ensayo nivel 2; para banquina, bifurcaciones y uso en separador central; ancho; bajo mantenimiento.

Tipo J: Dispositivo no bloqueador; ensayo nivel 3; para banquina, bifurcaciones y uso en separador central; estrecho; bajo mantenimiento.

Tipo K: Dispositivo no bloqueador; ensayo nivel 3; para banquina, bifurcaciones y uso en separador central; ancho; bajo mantenimiento.

El concreto deberá cumplir con los requerimientos del fabricante, y cuando el fabricante no hace alguna recomendación, el concreto deberá cumplir con lo establecido en el numeral 3.3.3.4, (B.7.1)(Refuerzos de barras de acero corrugadas).

El acero de refuerzo deberá cumplir con lo establecido en el numeral 3.3.3.4 (B.7)(Concreto comercial de resistencia específica).

Toda la ferretería, resina epóxica y misceláneos deberán cumplir con las recomendaciones del fabricante.

C. EQUIPOS

Se deberá disponer del equipo necesario para la correcta y oportuna ejecución de los trabajos especificados, incluyendo herramientas como barras de acero, picos, palas, llaves fijas o de expansión y pisones manuales.

C.1. Barreras de cable

C.1.1. Aparato de medición de tensión

Se medirá la tensión con un aparato de medición suministrado por el fabricante. A la terminación del proyecto, el aparato de medición pasará a propiedad del Contratante sin costo adicional.

C.1.2. Representante del fabricante

Si el fabricante requiere tener un representante en el sitio de la obra durante la instalación, el suministro de tal representante será por cuenta y responsabilidad del Contratista, sin costo adicional para el Contratante.

C.2. Barreras de concreto

C.2.1. Personal de control de calidad

El Contratista deberá incluir personal técnico calificado de control de calidad, mismo que deberá ser aprobado por el Ingeniero.

D. EJECUCIÓN

D.1. Barreras de cable

Las barreras de cable serán instaladas de acuerdo a las recomendaciones del fabricante en los sitios establecidos en el diseño. Los anclajes y traslapes de cables mostrados en los planos de diseño son aproximados. Los anclajes y traslapes de cables se instalarán de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

Se mantendrá un (log) de tensión que será entregado al Ingeniero una vez terminada la instalación de la barrera. El (log) registro de tensión deberá incluir la ubicación, fecha, hora, temperatura ambiente y las lecturas finales de tensión, y deberá estar firmado por la persona responsable de las lecturas de tensión. Junto con el registro de tensión se suministrará una copia de la gráfica de tensiones recomendadas por el fabricante.

Todas las verificaciones de tensión o ajustes requeridos por el fabricante deberán ser realizados dentro de los 30 días después de la instalación.

D.1.1. Terminales de barreras de cable

Los terminales serán instalados de acuerdo con las instrucciones del fabricante en los sitios indicados y como lo indique el fabricante del cable de barrera para cumplir con sus requerimientos mínimos. Se deberá asegurar que existe compatibilidad entre los terminales y el sistema de barrera de cable instalado.

D.1.2. Colocación

Los anclajes de concreto y fundaciones y los correspondientes rellenos serán ejecutados al menos dos semanas antes del tensionado de los cables. Los anclajes de concreto se ubicarán en las excavaciones tal como se muestra en los planos. La parte inferior de los anclajes será ejecutada de forma que tenga el máximo apoyo en la superficie debajo del mismo.

La excavación y el relleno serán ejecutados de acuerdo a lo indicado en los planos de diseño y a lo establecido en la presente especificación para fundaciones de barreras de vigas metálicas.

D.2. Barreras de vigas metálicas

D.2.1. Organización y coordinación del trabajo

El Contratista establecerá las fechas de construcción y la coordinación necesarias para mantener en un mínimo las interferencias con la construcción de capa base, imprimación y pavimento.

Todas la barandas de barreras laterales y de separador central (nuevas y reutilizadas), se colocarán en su sitio en corridas continuas.

No se dejarán postes de barreras laterales y de separador central expuestos al tráfico por más de 24 horas antes de instalar las vigas de las barandas, las piezas de extremo y anclajes, y ajustar los pernos, a excepción de barandas de reemplazo que serán instaladas de acuerdo a lo establecido a continuación.

(a) Baranda lateral, baranda de separador central y barrera de concreto. En aquellas áreas donde la baranda lateral, la baranda de separador central o la barrera de concreto deben ser reemplazadas para sustituirlas con una barrera nueva o reutilizada, se ejecutará de acuerdo a lo siguiente:

- Instalar las unidades nuevas o reutilizadas dentro del mismo turno de trabajo cuando se retiró la unidad.

- Proteger el área con barreras temporales de concreto premoldeado con un tratamiento de extremos satisfactorio para el Ingeniero, hasta que la nueva unidad (nueva o reutilizada) sea instalada.

D.2.2. Excavación y relleno

Sometido a lo establecido en 3.3.3.3.4 (D.2.3.) se excavará hasta las líneas, pendientes y profundidades mostradas en los planos de diseño o indicados por el Ingeniero. Se realizarán los cortes en el pavimento con medios mecánicos, como ser cortadores de cuchillas o perforadores rotativos. Se realizarán los cortes debajo del pavimento con taladro u otros medios que eviten alteración indebida de las áreas colindantes. Se evitará dañar bases y pavimentos existentes. Se repararán o reemplazarán, como sea indicado, todos los materiales que resulten dañados, sin costo adicional para el Contratante. Se retirará el agua y materiales inapropiados que podrían afectar la estabilidad del relleno en aquellos lugares que deban ser rellenados. En áreas ocupadas por agregados, materiales bituminosos y pavimentos, el relleno se ejecutará con materiales en los mismos espesores y densidad que los materiales adyacentes. En otras áreas, se rellenará con material granular cumpliendo con los siguientes requerimientos.

- (a) Relleno de material granular seleccionado. Consistirá de arena durable, grava o una combinación de ambas, seleccionada como sea indicado de sitios de excavación específicos, y no contendrá partículas de dimensiones mayores a 7,5 cm (3”), o cualquier otro material inadecuado. Se podrá utilizar vidrio reciclado como sustituto para el relleno granular seleccionado.

El relleno se colocará en capas que no excedan 15 cm (6”) de espesor y se compactará cada capa hasta una condición firme y densa.

Las áreas adyacentes que queden afectadas o alteradas durante la excavación y el relleno, serán removidas, reemplazadas, reparadas o restauradas, como sea indicado por el Ingeniero sin costo adicional para el Contratante. El exceso de materiales será dispuesto fuera de los límites de la obra de acuerdo con las regulaciones ambientales vigentes y a una distancia mínima de 100 m de cualquier curso de agua.

D.2.3. Instalación de postes y anclajes

Los postes y anclajes se instalarán como indicado en los planos de diseño o como lo indique el Ingeniero. Si así se instruye, se instalarán postes de 2,45 m (8 pies). Se colocarán los postes en agujeros excavados o se hincarán en terreno. Si los postes son hincados a través de material de base, capa de superficie o pavimento, se repararán todos los daños como lo indique el Ingeniero.

Los postes y anclajes dañados durante la instalación serán removidos y reemplazados con otros elementos sólidos como indique el Ingeniero. Los postes y anclajes serán firmemente instalados en las líneas, pendientes y espaciamentos establecidos en los planos de diseño con una tolerancia de 12 mm (1/2”). Los anclajes, terminales y conexiones serán rígidamente adosados a otras estructuras tal como se muestra en los planos de diseño.

Cuando se requieran postes sobre alcantarillas cajón, pasos de ganado, pasos para equipos u otras estructuras de concreto, se colocarán placas de base o anclajes de placa de concreto como se muestra en los planos de diseño o lo indique el Ingeniero.

D.2.4. Instalación de barandas y otros componentes

Normalmente, todos los procesos de fabricación para piezas de barandas metálicas serán realizados en la fábrica o en el taller. Se limitarán a un mínimo los procesos de cortado y perforación en sitio, y si se hacen se ejecutarán de tal forma que no afecte la apariencia o calidad estructural del material. No se permitirá la realización de perforaciones con soplete o arco eléctrico.

Todas las superficies, terminados y protecciones dañados antes o durante la instalación serán restauradas a la condición que sea especificada. La reparación de extremos cortados de pernos

galvanizados, elementos de barreras y placas de respaldo, y de cualquier agujero perforados o punzados después del galvanizado de acuerdo con ASTM A 780. El contenido mínimo de zinc para el Método A2 es 94% en película seca.

Los bloques de pie serán fijados a los postes con dos clavos de cabeza plana para evitar la rotación.

Todos los pernos se ajustarán firmemente. Los pernos deberán tener la longitud suficiente para que puedan sobresalir ligeramente en la tuerca.

D.2.5. Barandas pintadas

Los proyectos que requieran la remoción y desmantelado de barandas metálicas pintadas requerirán de protección para el medio ambiente y se establecerán medidas de seguridad para los trabajadores. Si una barrera pintada es reutilizada en cualquier aplicación, deberá cumplir con las regulaciones ambientales y de OSHA vigentes en lo que se refiere a la remoción de la pintura.

D.3. Barreras de concreto

Las barreras de concreto vaciado en sitio serán construidas utilizando encofrados fijos, a menos que sea establecido de otra manera. Se utilizará el mismo diseño de barrera en cualquier tramos de la misma.

D.3.1. Línea y pendiente

Las secciones de barreras prefabricadas serán colocadas encima de la superficie del pavimento. Las superficies de pavimento construidas como parte de este proyecto tendrán la suavidad requerida antes de colocar la barrera. Si se requiere trabajo correctivo para superficies existentes para recibir las barreras de concreto, el trabajo de corrección será pagado por separado como un trabajo extraordinario.

Las secciones de barreras serán colocadas de tal manera que las juntas tengan un retiro no mayor a 3 mm (1/4") transversalmente y no más de 12 mm (1/2") verticalmente.

El tope y cara de la barrera serán construidos rectos y (true). La superficie del tope de las barreras deberá tener un ancho uniforme y libre de jorobas, huecos u otras irregularidades. Cuando un borde recto de 3,65 m (12 pies) cae en la cara superior de la barrera, la superficie no deberá variar más de 3 mm (1/4") desde el borde recto, excepto en un cambio de pendiente o en curvas. Para compensar las variaciones en la pendiente de una carretera y en la pendiente de la sección transversal, se ajustará la barrera sin costo adicional para el Contratante.

D.3.2. Construcción del concreto

Las barreras de concreto serán construidas de acuerdo a lo establecido en los numerales 3.3.3.3.4 (B.7.1) al (B.7.19) en lo que corresponda, a excepción de lo que específicamente se establezca en 3.3.3.3.4 (B.3).

D.3.3. Curado

(a) Barreras vaciadas en sitio. El curado de las superficies del concreto vaciado en sitio se realizará con uno de los siguientes métodos:

- i. Curado con agua. El concreto será cubierto con arpillera, lienzo u otro material satisfactorio y se mantendrá húmedo por al menos 7 días calendario.
- ii. Curado con pintura látex. Si es aprobado, la barrera podrá ser curada con pintura látex, utilizando el siguiente procedimiento:

- Se utilizará pintura látex suministrada por un proveedor aprobado.
- La primera capa será aplicada a una tasa de 14,0 m² por galón.
- La segunda capa será aplicada a la misma tasa que la anterior, con dirección de aplicación transversal a la dirección de aplicación de la primera capa.

Se considerará que las barreras curadas de esta forma cumplen con los requerimientos de terminación de superficie establecidos en el numeral 3.3.3.3.4. (D.3.5.), excepto que sean necesarias capas adicionales para proporcionar apariencia y cobertura uniforme para corregir el daño en la construcción.

(b) Barreras prefabricadas. El curado de superficies de concreto prefabricado se realizará por uno de los siguientes métodos:

- i. Curado con agua. El concreto será cubierto con arpillera, lienzo u otro material satisfactorio y se mantendrá húmedo por al menos 7 días calendario.
- i. Curado con vapor. El curado con vapor puede sustituir al curado con agua cuando se dispone de una adecuada construcción de cerramiento y de producción de vapor para minimizar la pérdida de calor y humedad. El vapor deberá estar a una humedad relativa de 100% para evitar la pérdida de humedad y para proporcionar el necesario exceso de humedad para la adecuada hidratación del cemento. No se aplicará el vapor de forma directa sobre las superficies del concreto.

El equipo productor de vapor será equipado al cerramiento con una válvula motorizada para el control del vapor con un sensor de temperatura que mida la temperatura dentro del cerramiento. El vapor será distribuido dentro del cerramiento a través de boquillas adecuadas ubicadas en cada lado del cerramiento a no más de 10 m del eje central o más cerca si es necesario, para mantener las unidades que están siendo curadas completa y uniformemente rodeadas de vapor.

El cerramiento será equipado con un termómetro registrador de 24 horas, y la temperatura será registrada en una gráfica cada período de 24 horas.

El vapor será aplicado después del endurecimiento inicial del concreto, como se establece en ASTM C 403. El curado del concreto continuará hasta que el concreto de la barrera tenga una resistencia mínima de 140 kg/cm², como sea determinado por los cilindros de prueba del Contratista o de la forma que sea aprobado.

D.3.4. Juntas para barreras de concreto vaciado en sitio

- (a) Juntas de construcción.** Las juntas de construcción serán ubicadas en el sitio de una junta de expansión o contracción. Si la instalación de la barrera es terminada en un sitio correspondiente a una junta de contracción, en ese sitio se construirá una junta de expansión antes de proceder con la colocación de la barrera tal como está mostrado en los planos de diseño.
- (b) Juntas de contracción.** Las juntas de contracción serán (score) o cortadas antes del endurecimiento inicial del concreto en el ancho y hasta la profundidad indicada en los planos.
- (c) Juntas de expansión.** Las juntas de expansión serán rellenadas con un relleno preformado de juntas. El relleno será colocado en su posición correcta en un lado de la junta antes de colocar concreto en el otro lado.

D.3.5. Terminación de superficies

Después de retirar los encofrados y mientras el concreto todavía está suave, se removerán todas las rebabas y marcas del encofrado, se repararán las bolsas de piedras y agujeros de diáme-

tro 9,5 mm o mayor con lechada de cemento portland conforme a lo establecido en el numeral 3.3.3.3.4, (D.3.16). Se evitará que la lechada se seque prematuramente.

Puede requerirse un trabajo adicional de terminación de superficie para barreras de concreto premoldeado en su posición final para que presenten una apariencia y textura uniforme.

El tope y lados de todas las barreras permanentes serán cubiertos con un mínimo de 2 capas de pintura látex de un proveedor aprobado. Se aplicarán capas adicionales si es necesario para proporcionar una cobertura de uniforme y de buena apariencia. Las superficies a ser cubiertas serán previamente saturadas a fondo con agua. Se aplicará la capa mientras la superficie está húmeda. La segunda capa puede ser aplicada cuando la capa anterior ya no se pegue a los dedos cuando se toca ligeramente.

D.3.6. Reemplazo o reducción de precio

Se procederá a la remoción o reemplazo de barreras representadas por cilindros de prueba que no lleguen a la resistencia mínima, sin costo adicional para el Contratante. Si el Ingeniero determina que una barrera de resistencia baja es adecuada para el propósito específico, la barrera puede ser aceptada de acuerdo a lo establecido en el numeral 3.3.3.3.4 (D.3.16)

D.3.7. Inspección

La fabricación de barreras fuera de una jurisdicción departamental del Paraguay general costos adicionales al MOPC. En este caso, los pagos por las barreras serán reducidos de acuerdo a lo que establezca el Ingeniero en una especificación técnica especial redactada para tal fin, aceptada por el Contratista y aprobada por el Contratante.

D.4. Atenuadores de impacto (atenuadores de energía)

La construcción y terminación de superficies de concreto será ejecutada de acuerdo a lo establecido en el numeral 3.3.3.3.4 (D.3) en lo que corresponda.

La preparación de superficies, mezclado y colocación de lechada epóxica en la construcción de paneles será ejecutada de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.

El ensamblado e instalación de sistemas atenuadores de impacto se realizará de acuerdo con las recomendaciones del fabricante y de acuerdo a los planos de taller correspondientes.

E. CONTROL POR EL INGENIERO

E.1. Barreras de cable

Durante la ejecución de los trabajos el Ingeniero adelantará los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y el funcionamiento del equipo empleado por el Constructor.
- Comprobar que los materiales utilizados cumplan las exigencias de la presente especificación.
- Verificar que la excavación sea correcta y que la defensa se instale de acuerdo con los planos y las instrucciones del fabricante de la barrera.
- Medir para efectos de pago, las cantidades de obra correctamente ejecutadas.

El Ingeniero verificará la correcta ejecución de las barreras de cable y aplicará los criterios de aceptación recomendados por el fabricante y lo establecido en los numerales 3.3.3.3.4, punto B, C y D de esta especificación.

E.2. Barreras metálicas

Durante la ejecución de los trabajos el Ingeniero adelantará los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y el funcionamiento del equipo empleado por el Constructor.
- Comprobar que los materiales utilizados cumplan las exigencias de la presente especificación.
- Verificar que la excavación sea correcta y que la defensa se instale de acuerdo con los planos y las instrucciones del fabricante de la lámina.
- Medir para efectos de pago, las cantidades de obra correctamente ejecutadas.

El Ingeniero verificará la correcta ejecución de las barreras de de perfiles metálicos y aplicará los criterios de aceptación recomendados por el fabricante y lo establecido en los numerales 3.3.3.3.4, punto B, C y D de esta especificación.

E.3. Barreras de concreto

Durante la ejecución de los trabajos el Ingeniero adelantará los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y el funcionamiento del equipo empleado por el Constructor.
- Comprobar que los materiales utilizados cumplan las exigencias de la presente especificación.
- Verificar que la excavación sea correcta y que la defensa se instale de acuerdo con los planos y las instrucciones del fabricante de la misma, cuando se trata de barreras prefabricadas.
- Medir para efectos de pago, las cantidades de obra correctamente ejecutadas.

El Ingeniero verificará la correcta ejecución de las barreras de concreto y aplicará los criterios de aceptación recomendados por el fabricante y lo establecido en los numerales 3.3.3.3.4, punto B, C y D de esta especificación.

E.4. Atenuadores de impacto (atenuadores de energía)

Durante la ejecución de los trabajos el Ingeniero adelantará los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y el funcionamiento del equipo empleado por el Constructor.
- Comprobar que los materiales utilizados cumplan las exigencias de la presente especificación.
- Verificar que la excavación sea correcta y que los atenuadores se instalen de acuerdo con los planos y las instrucciones del fabricante.
- Medir para efectos de pago, las cantidades de obra correctamente ejecutadas.

El Ingeniero verificará la correcta ejecución de los atenuadores de impacto y aplicará los criterios de aceptación recomendados por el fabricante y lo establecido en los numerales 3.3.3.3.4, punto B, C y D de esta especificación.

F. MEDICIÓN

F.1. Barreras de cable

Las cantidades de barrera de cable serán medidas sobre la base de la longitud medida entre centros de los postes de los extremos a lo largo de la línea y pendiente de cada corrida separada. La medición se realizará a través de los extremos de terminales y conexiones de barandas.

Las cantidades de terminales de barreras de cable y conexiones de la baranda de la barrera serán medidas sobre la base de piezas individuales.

F.2. Barreras de perfiles metálicos

Las cantidades de barreras de perfiles metálicos construidos bajo esta especificación se medirán de acuerdo a lo siguiente:

(a) Longitud. La medición basada en la longitud se realizará por alguno de los métodos siguientes:

- i. Método de conteo. Se contará el número de secciones estándar y se multiplicará por 3,81 m. Para los propósitos de esta especificación, una “sección estándar” se define como 3,81 m de barrera lateral o de separador central completa, sin importar el número de postes o perfiles metálicos utilizados.

Las secciones no estándar serán medidas entre centros de postes, y se adicionarán a la longitud total de las secciones estándar para cada corrida.

- ii. Método de longitud. La medición se realizará entre centros de los postes de los extremos o como se instruya, a lo largo de las líneas y pendientes de las corridas de cada tipo.
- iii. Unidad. La medición se realizará en la unidad vigente.

F.3. Barreras de concreto

Las cantidades de barreras de concreto se medirán sobre la base de longitud, de acuerdo a lo siguiente:

(a) Barreras vaciadas en sitio. Las barreras vaciadas en sitio serán medidas a lo largo de la línea y pendiente de cada corrida separada, incluyendo las secciones de extremo y las secciones de transición.

(b) Barreras prefabricadas. Las barreras prefabricadas se medirán por la longitud apoyada de cada de una sección estándar, tal como se muestra en los planos de diseño, multiplicada por el número de secciones estándar en cada corrida separada. Las secciones no estándar, secciones de extremo y secciones de transición serán medidas por separado y adicionadas a la longitud total de las secciones estándar.

F.4. Atenuadores de impacto (atenuadores de energía)

Las cantidades de atenuadores de impacto (atenuadores de energía) serán medidas en base de unidades, por conteo en cada sitio donde el sistema se ha instalado.

G. PAGO

G.1. Barreras de cable

Las cantidades aceptadas de barreras de cable en su posición final serán pagadas al Contratista de acuerdo a la unidad de medición en los siguientes ítems:

- a) Barrera de cable, Ensayo Nivel 3: (m).
- b) Barrera de cable, Ensayo Nivel 4: (m).
- c) Terminales de barrera de cable: (pza.)
- d) Conexiones de baranda para barrera de cable: (pza.).

Los ítems c) y d) incluyen todos los elementos especiales, soportes, postes y todos los elementos pertenecientes a la barrera y la ferretería.

El precio cubre todo el suministro e instalación de todos los materiales, el equipo, mano de obra e imprevistos necesarios para completar el trabajo como está especificado.

G.2. Barreras de perfiles metálicos

Las cantidades aceptadas de barreras de perfiles metálicos en su posición final serán pagadas al Contratista de acuerdo a la unidad de medición en los siguientes ítems:

- a) Baranda tipo ____: (m).
- b) Barrera de separador central: (m).
- c) Anclajes de barandas, tipo ____: (pza.).
- d) Piezas de extremo de baranda, tipo ____: (pza.).
- e) Transición de baranda: (pza.).
- f) Conexiones de baranda: (pza.).
- g) Terminales de baranda, tipo ____: (pza.).
- h) Extra por postes de ____ m: (pza.).
- i) Postes para barrera: (pza.).

En el ítem a), el tipo de baranda será insertado en el espacio en blanco. El ítem a) incluye todos los postes con placas de base de acero y bases de anclaje de concreto.

Los ítems a) y b) incluyen el proceso constructivo, a excepción de:

- Las piezas de extremo.
- Los anclajes.
- Las transiciones.
- Los costos extraordinarios de construcción incluidos en la conexión de barreras a los terminales de puentes existentes.

En el ítem c), el tipo de anclaje será insertado en el espacio en blanco.

En el ítem d), el tipo de pieza de extremo de la baranda será insertado en el espacio en blanco.

El ítem e) incluye la preparación de la baranda del puente o de la barrera de concreto para la transición e incluye los postes, perfiles, conectores de terminales, placas de conexión, pernos de anclaje, todos los elementos necesarios pertinentes y la ferretería.

El ítem f) incluye la preparación de la baranda del puente o de la barrera de concreto para la conexión e instalación de los conectores terminales cuando no hay una baranda de transición prevista, e incluye placas de conexión, pernos de anclaje, todos los elementos necesarios pertinentes y la ferretería.

En el ítem g), el tipo de terminal será insertado en el espacio en blanco. El ítem g) incluye los terminales de la baranda, postes, perfiles, guardias, piezas de extremo, puntales, tubos en el suelo, todos los elementos necesarios pertinentes y la ferretería.

En el ítem h), la longitud del poste será insertada en el espacio en blanco. El ítem h) incluye la instalación de postes de 2,44 m de largo o postes más largos en lugar de los postes estándar de 1,85 m. Los costos extra para postes más largos son costos que no están cubiertos y están incluidos en el precio unitario de uno o más de los otros ítems de pago listados.

El ítem i) incluye sólo la instalación de postes en el caso de reparaciones o mejoramientos de barreras existentes.

El precio cubre todo el suministro e instalación de todos los materiales, el equipo, mano de obra e imprevistos necesarios para completar el trabajo como está especificado.

No se realizará pago separado por los trabajos de excavación y relleno para este tipo de barreras.

G.3. Barreras de concreto

Las cantidades aceptadas del trabajo ejecutado bajo este numeral serán pagados al Contratista al precio unitario correspondiente, en la unidad de medición correspondiente, de acuerdo a los siguientes ítems:

- a) Barrera de concreto: (m).
- b) Barrera de concreto, alta: (m).

El precio cubre todo el suministro e instalación de todos los materiales, el equipo, mano de obra e imprevistos necesarios para completar el trabajo como está especificado.

No se realizarán pagos adicionales o por separado para las excavaciones y rellenos de los extremos enterrados de barreras de concreto.

G.4. Atenuadores de impacto (atenuadores de energía)

Las cantidades aceptadas de atenuadores de impacto (atenuadores de energía) instalados en su posición final serán pagadas al precio unitario correspondiente al ítem:

- a) Atenuador de impacto tipo _____”.

El tipo de atenuador de impacto será insertado en el espacio en blanco.

El precio cubre todo el suministro e instalación de todos los materiales, el equipo, mano de obra e imprevistos necesarios para completar el trabajo como está especificado.

No se realizarán pagos por separado o adicionales por transiciones, bases de concreto, y marcadores de objetos.

1. PARAMETROS BASICOS DE LA NORMA EUROPEA EN - 1317

Este Anexo no pretende en ningún aspecto describir la normativa europea denominada EN - 1317 para la certificación de barreras de contención, sino más bien, destacar los parámetros de mayor relevancia, para efecto del diseño de estas barreras, con la finalidad de aclarar los antecedentes entregados en el capítulo 6.500 de este Volumen.

1.1. Nivel de Severidad en el Impacto (índices de aceleración)

Este nivel de severidad, está asociado a las lesiones que sufrirán los ocupantes del vehículo en el momento del impacto. Este parámetro corresponde a una ponderación de las desaceleraciones que se producen en diferentes partes del cuerpo y en diferentes ubicaciones al interior del vehículo.

Por lo tanto, una barrera diseñada para contener un camión, no resulta adecuada si al ser impactada por un vehículo liviano, causa graves daños y/o la muerte de sus ocupantes. Debido a esto, se han desarrollado, a nivel mundial, parámetros que permiten cuantificar la severidad del impacto, y han sido definidos de la siguiente forma:

- THIV: Velocidad teórica de choque de la cabeza
- PHD: Deceleración de la cabeza tras el choque
- ASI: Índice de Severidad de la aceleración.

De estos, el THIV se refiere a la velocidad con que la cabeza choca con alguna parte al interior del vehículo, como por ejemplo; el parabrisas. En el caso del PHD y ASI, con estos parámetros se pretende medir y regular las deceleraciones que se producen al interior del vehículo. En el caso de grandes deceleraciones, se pueden generar desprendimiento de órganos internos, lo que probablemente cause la muerte de los ocupantes, de ahí la importancia de controlar estos parámetros.

En el caso del índice de severidad de la deceleración (ASI), se define de la forma siguiente:

$$ASI(t) = \sqrt{\left(\frac{a_x}{12g}\right)^2 + \left(\frac{a_y}{9g}\right)^2 + \left(\frac{a_z}{10g}\right)^2}$$

a_x : componente de la aceleración en el sentido de movimiento del vehículo.

a_y : componente de la aceleración perpendicular a a_x en el plano horizontal.

a_z : componente de la aceleración perpendicular a a_x en el plano vertical.

g : aceleración de gravedad.

Cuanto mayor es la capacidad de contención de una barrera, mayor es la dificultad de los fabricantes por desarrollar diseños que presenten adecuados indicadores del nivel de severidad para vehículos livianos. No se debe olvidar que las barreras deben otorgar adecuadas deceleraciones a los usuarios de cualquier vehículo.

Si bien los valores de aceptación se encuentran tabulados en la normativa, se entregan en carácter informativo los rangos máximos aceptados.

Tabla 1. NIVELES DE SEVERIDAD EN EL IMPACTO

Nivel de Severidad en el Impacto	Indice de Valores	
A	ASI \leq 1,0	THIV \leq 33 km/h
B	ASI \leq 1,4	PHD \leq 20g

De la Tabla anterior, el nivel de severidad en el impacto A, ofrece un mayor grado de seguridad a los usuarios que el nivel B y, debe preferirse en igualdad de condiciones.

En la Tabla siguiente, se pueden apreciar categorías de niveles de ancho de trabajo asociadas a los máximos anchos de trabajo esperados.

Tabla 2. ANCHOS DE TRABAJO

Niveles de Anchos de Trabajo	Valores Máximos Esperados (m)
W 1	W \leq 0,6
W 2	W \leq 0,8
W 3	W \leq 1,0
W 4	W \leq 1,3
W 5	W \leq 1,7
W 6	W \leq 2,1
W 7	W \leq 2,5
W 8	W \leq 3,5

1.2. Clasificación de Barreras Metálicas según Norma EN - 1317

Para efectos de clasificar este tipo de barreras, se incluyen a continuación Tablas con las características de las Pruebas de Impacto realizadas para distintos tipos de vehículos y, además, un agrupamiento de acuerdo a los diferentes niveles de contención.

Tabla 3. PRUEBAS DE IMPACTO NORMA EN - 1317

Prueba de Impacto	Velocidad de Impacto (km/hr)	Angulo de Impacto (°)	Masa Total del Vehículo (kg)	Tipo de Vehículo
TB 11	100	20	900	Auto
TB 21	80	8	1300	Auto
TB 22	80	15	1300	Auto
TB 31	80	20	1500	Auto
TB 32	110	20	1500	Auto
TB 41	70	8	10000	Camión Rígido
TB 42	70	15	10000	Camión Rígido
TB 51	70	20	13000	Bus
TB 61	80	20	16000	Camión Rígido
TB 71	65	20	30000	Camión Rígido
TB 81	65	20	30000	Camión Articulado

Tabla 4. NIVELES DE CONTENCION NORMA EN - 1317

Tipo de Contención	Nivel de Contención	Prueba de Aceptación
Contención Baja	T1	TB 21
	T2	TB 22
	T3	TB 41 y TB 21
Contención Normal	N1	TB 31
	N2	TB 32 y TB 11
Contención Alta	H1	TB 42 y TB 11
	H2	TB 51 y TB 11
	H3	TB 61 y TB 11
Contención Muy Alta	H4a	TB 71 y TB 11
	H4b	TB 81 y TB 11

2. PARAMETROS BASICOS DEL REPORTE 350 DE LA NCHRP

Este Anexo sólo entrega los parámetros básicos para la descripción de la normativa norteamericana para la certificación de barreras según el Reporte 350 de la NCHRP, para efecto del diseño de estas barreras, con la finalidad de aclarar los antecedentes entregados en el Capítulo 6.500 de este Volumen.

2.1. Aspectos Generales

El Reporte 350 del NCHRP describe la metodología para probar y evaluar un sistema de contención, además de, como se debe efectuar la selección de instalaciones nuevas, ya existentes o modificadas, para su prueba y evaluación. No obstante, al igual que en el caso de la normativa europea, se busca entregar y destacar algunos de los aspectos de mayor relevancia de esta normativa y no una descripción detallada de ella.

El contenido de este reporte establece los métodos de medición y mecanismos de control durante la ejecución de las pruebas de impacto, y paralelamente, se realiza una actualización de los contenidos en relación a los nuevos estándares de los vehículos y carreteras.

Existen seis niveles de prueba en el Reporte 350, que son también conocidos como TL1 al TL6 (Test Level), dependiendo del dispositivo que este siendo evaluado. Todos los niveles se aplican a las barreras longitudinales.

No obstante que actualmente las guías de selección de barreras de contención detalladas no existen, se asume que los dispositivos que aprueban el nivel TL1 serán utilizados para condiciones de nivel de servicio bajos, como en zonas de trabajo o en áreas urbanas donde las velocidades son de 50 km/h o menos. De esta forma, el nivel de prueba TL3 es el nivel mínimo para carreteras de alta velocidad y, los niveles TL4, TL5 y TL6 son especiales para los requerimientos de alto nivel de servicio de barreras longitudinales.

En lo que respecta a los dispositivos para los cuales el Reporte 350 definió pruebas y criterios de evaluación, se incluyen las barreras longitudinales laterales, centrales y de puentes. En estas, existen tres distintas zonas de las barreras longitudinales donde se debe tener especial cuidado; la barrera propiamente tal, la zona de transición, en la cual la barrera pudiera estar conectada a una barrera longitudinal con diferente grado de tensión lateral y, el extremo terminal de la barrera. Las dos primeras están incluidas dentro de las series de pruebas para barreras longitudinales y, la última, forma parte de las series de pruebas para los terminales y amortiguadores de impacto.

2.2. Criterios de Evaluación

El sistema de evaluación se realiza sobre la base de una tabla, que contiene los requisitos de aprobación, separados en tres categorías, que son suficiencia estructural, riesgo del ocupante y trayectoria del vehículo.

Tabla 5. CRITERIOS DE EVALUACION SEGUN REPORTE 350

Factores de Evaluación	Criterios de Evaluación
Suficiencia Estructural	A. El sistema debe contener y redirigir suavemente el vehículo; el vehículo no puede incrustarse o saltar sobre la instalación, aunque se permite una deflexión lateral controlada.
	B. La barrera debe funcionar en la forma prevista, rompiéndose, quebrándose o deformándose de acuerdo a las especificaciones que lo definen
	C. La barrera debe tener un comportamiento aceptable en cuanto al redireccionamiento, no debe tener elementos que penetren al vehículo o provocar una detención violenta
Riesgo del Ocupante	D. El habitáculo del vehículo no debe sufrir deformaciones importantes y no debe ser afectado por elementos que puedan penetrarlo o presentar un riesgo excesivo a sus ocupantes o a los otros usuarios de la vía. El vehículo debe permanecer estable durante y después de la colisión, aunque se admite un movimiento moderado.
	E. Elementos desprendibles, fragmentos u otras partes móviles del artículo de prueba o del vehículo, no debe bloquear la visión del conductor o causar pérdidas de control de otro tipo.
	F. El vehículo debe mantenerse en pie durante y después de la colisión, son aceptados movimientos laterales, giros verticales y horizontales moderados.
	G. Es recomendable que el vehículo no vuelque durante o después de la colisión, aunque no es esencial.
	H. La velocidad de impacto de un pasajero hipotético, sentado en el asiento del conductor, contra el interior del vehículo, debe ser máximo 12 m/s en longitudinal y 5 m/s en lateral, aunque se recomienda que no sean superiores a 9 y 3 m/s, respectivamente.
	I. Las aceleraciones negativas a la que se exponen los ocupantes no deben ser mayores a 20 Gs, aunque se recomienda no sean mayores a 15 Gs.
	J. Prueba opcional Las lesiones sufridas por los muñecos de prueba (Dummy Hybrid III) deben estar de acuerdo a lo especificado para su tipo.

Trayectoria del vehículo	K. Después de la colisión, es preferible que la trayectoria del vehículo no interfiera en el tránsito de las pistas adyacentes.
	L. La velocidad de impacto de los ocupantes en el sentido longitudinal, no debe exceder los 12 m/s y la aceleración negativa longitudinal no debe superar los 20 Gs.
	M. El ángulo de salida debe ser, de manera preferencial, inferior a 60% del ángulo de impacto, ambos medidos desde el momento que el vehículo deja de estar en contacto con la instalación.
	N. Se acepta la trayectoria del vehículo por detrás de los dispositivos.

En la Tabla anterior, los criterios de aceptación indicados son aplicables de manera selectiva, dependiendo del tipo de prueba a realizar.

2.3. Clasificación de Barreras Metálicas según Reporte 350

Las pruebas de impacto incorporan los requerimientos de barreras longitudinales, especificando por separado las pruebas a efectuar en un tramo continuo de longitud mínima y la zona de transición.

La longitud mínima de la zona de prueba esta definida por la tipología de la barrera, sin embargo, en el caso de barreras que funcionan con esfuerzos longitudinales a través de la viga, es un requisito de la prueba proveer los anclajes necesarios en los extremos del tramo, para efectos de simular un tramo continuo.

El punto de impacto está definido en la zona de más alto riesgo, que corresponde al tramo de barrera inmediatamente siguiente a la ubicación de un poste. La definición del punto de impacto, pretende cubrir la zona de mayor riesgo en cuanto a la posibilidad de enganchamiento o traba del vehículo, lo que no necesariamente coincide con la parte de la barrera donde la deflexión será mayor. La misma consideración es válida para el caso de las transiciones, donde el punto de impacto se define, por lo general, en la zona inmediatamente anterior al elemento más rígido.

La Tabla siguiente, correspondiente a la matriz de prueba para barreras longitudinales. Estas pruebas no son aplicables a todas las tipologías, tampoco deben realizarse con todos los vehículos descritos y se asume como opcional la utilización del 700C (700 kg.), pudiendo reemplazarse en algunos casos por las pruebas definidas para el vehículo 800C (800 kg.). Por otro lado, los criterios de evaluación indicados entre paréntesis no son obligatorios para la prueba descrita.

Tabla 6. PRUEBAS DE IMPACTO REPORTE 350

Nivel de Prueba (TL)	Sección de la Barrera	Designación	Condiciones de Impacto			Criterio de Evaluación
			Vehículo	Velocidad Nominal (km/hr)	Angulo Nominal 0°	
1	Longitud	1/10	820C	50	20	A,D,F,H,I,(J),K,M
		S1-10**	700C	50	20	A,D,F,H,I,(J),K,M
		1/11	2000P	50	20	A,D,F,L,M
	Transición	1-20*	820C	50	20	A,D,F,H,I,(J),K,M
		S1-20**	700C	50	20	A,D,F,H,I,(J),K,M
2	Longitud	2-10	820C	70	20	A,D,F,H,I,(J),K,M
		S2-10**	700C	70	20	A,D,F,H,I,(J),K,M
		2-11	2000P	70	25	A,D,F,L,M
	Transición	2-20*	820C	70	20	A,D,F,H,I,(J),K,M
		S2-20**	700C	70	20	A,D,F,H,I,(J),K,M
3 (Nivel Básico)	Longitud	3-10	820C	100	20	A,D,F,H,I,(J),K,M
		S3-10**	700C	100	20	A,D,F,H,I,(J),K,M
		3-11	2000P	100	25	A,D,F,L,M
	Transición	3-20*	820C	100	20	A,D,F,H,I,(J),K,M
		S3-20**	700C	100	20	A,D,F,H,I,(J),K,M
4	Longitud	4-10	820C	100	20	A,D,F,H,I,(J),K,M
		S4-10**	700C	100	20	A,D,F,H,I,(J),K,M
		4-11*	2000P	100	25	A,D,F,K,L,M
		4-12	8000S	80	15	A,D,G,M
	Transición	4-20*	820C	100	20	A,D,F,H,I,(J),K,M
		S4-20**	700C	100	20	A,D,F,H,I,(J),K,M
		4-21*	2000P	100	25	A,D,F,K,L,M
4-22	8000S	80	15	A,D,G,K,M		
5	Longitud	5-10	820C	100	20	A,D,F,H,I,(J),K,M
		S5-10**	700C	100	20	A,D,F,H,I,(J),K,M
		5-11*	2000P	100	25	A,D,F,K,L,M
		5-12	36000V	80	15	A,D,G,K,M
	Transición	5-20*	820C	100	20	A,D,F,H,I,(J),K,M
		S5-10**	700C	100	20	A,D,F,H,I,(J),K,M
		5-21*	2000P	100	25	A,D,F,K,L,M
5-22	36000V	80	15	A,D,G,K,M		
6	Longitud	6-10	820C	100	20	A,D,F,H,I,(J),K,M
		S6-10**	700C	100	20	A,D,F,H,I,(J),K,M
		6-11*	2000P	100	25	A,D,F,K,L,M
		6-12	36000T	80	15	A,D,G,K,M
	Transición	6-20*	820C	100	20	A,D,F,H,I,(J),K,M
		S6-20**	700C	100	20	A,D,F,H,I,(J),K,M
		6-21*	2000P	100	25	A,D,F,K,L,M
6-22	36000T	80	15	A,D,G,K,M		

Nota:

- (*) Indica que la prueba puede ser opcional
- (**) Indica que la prueba es opcional
- () Los criterios entre paréntesis son opcionales

Los niveles de prueba TL1 y TL2 son considerados adecuados sólo para barreras temporales, zonas urbanas de baja velocidad y vías locales.

El nivel TL3 es considerado el nivel de seguridad mínimo para carreteras, a pesar de no incluir pruebas con vehículos comerciales, por lo que su utilización se recomienda en condiciones de riesgo reducido o donde no tenga relevancia la componente de ese tipo tránsito.

BIBLIOGRAFÍA

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATOR AS THE NATIONAL STANDARD. Manual on Uniform Traffic Control Devices, Millennium Edition-MUTCD. December 2000.

MINISTERIO DE TRANSPORTE DE COLOMBIA. Manual de Señalización, año 2002.

MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES VIVIENDA Y CONSTRUCCIÓN (MTC) DEL PERÚ. Especificaciones Técnicas Generales para Carreteras EG-2000.

MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES VIVIENDA Y CONSTRUCCIÓN (MTC) DEL PERÚ. Manual de Dispositivos de Tránsito Automotor para Calle y Carreteras, junio 2002.

ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS. Manual de Carreteras Volumen III – Manual de Dispositivos de Control de Tránsito, año 2009.

SERVICIO NACIONAL DE CAMINOS (SNC – BOLIVIA). Manual de Dispositivos para el Control de Tránsito en Carreteras, Primera Versión, año 2004.

SECRETARIA GENERAL DE OBRAS. Manual de dispositivos para el control del tránsito en zonas urbanas y suburbanas. México D.F. 1986.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA). Manual on Uniform Traffic Control Devices, año 2003.

SECRETARÍA DE INTEGRACIÓN ECONÓMICA CENTROAMERICANA (SIECA). Manual de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito, año 2000.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y TELECOMUNICACIONES DE CHILE. Manual de Señalización de Tránsito e Instructivo de Aplicación, año 2001.

OREGON DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. Standard Specifications, año 2002 y año 2008.



TETÁ REMBIAPO
HA MARANDU
Motenondcha

Ministerio
OBRAS PÚBLICAS
Y COMUNICACIONES

**GOBIERNO
NACIONAL**

*Paraguay
de la gente*

Manual de Carreteras del Paraguay



UNIDAD

3

DISEÑO DE CARRETERAS

Volumen 3.4 - Diseño de Caminos de
Bajo Volumen de Tránsito

APC
ASOCIACION PARAGUAYA DE CARRETERAS

WORLD ROAD
ASSOCIATION
MUNDIALE
DE LA ROUTE
COMITÉ
NACIONAL
PARAGUAYO

Revisión 2019

UNIDAD 3 VOLUMEN 3.4
Diseño de caminos de bajo volumen de tránsito

INDICE

CAPITULO 3.4.1. INTRODUCCIÓN	1418
3.4.1.1. ANTECEDENTES GENERALES	1418
3.4.1.2. PROPÓSITO DE ESTE DOCUMENTO	1418
3.4.1.3. OBJETIVO.....	1419
3.4.1.4. ALCANCES.....	1419
3.4.1.5. ORGANIZACIÓN DE LA GUÍA.....	1420
CAPITULO 3.4.2. DISCUSIÓN ANTECEDENTES TÉCNICOS	1421
3.4.2.1. CONCEPTOS DE INGENIERÍA PARA LA EVALUACIÓN Y DISEÑO DE CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO.....	1421
3.4.2.2. CONCEPTOS GENERALES DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA	1422
3.4.2.3. CRITERIOS DE DISEÑO Y DEFINICIÓN REQUERIMIENTOS CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO	1425
CAPITULO 3.4.3. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN Y SELECCIÓN ADITIVOS	1427
3.4.3.1. EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE ADITIVOS TRADICIONALES	1428
3.4.3.2. EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE ADITIVOS NO-TRADICIONALES.....	1431
CAPITULO 3.4.4. PROTOCOLO DE DEFINICION DE ESPESORES MINIMOS	1433
CAPITULO 3.4.5. PROTOCOLO DE ENSAYO, MONITOREO Y SEGUIMIENTO EN TERRENO	1436
CAPITULO 3.4.6. INFORMACION QUE DEBE SER ENTREGADA POR EL PROVEEDOR DEL ADITIVO	1440
CAPITULO 3.4.7. REFERENCIAS.....	1442
CAPITULO 3.4.8. ANEXOS.....	1443

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.4_1. Resistencia mínima requerida según capa de la estructura	1431
Tabla 3.4_2. Correlación para obtener dato de CBR en función de tipo de material y ensayo	1437
Tabla 3.4_3. Cargas Pre-Configuradas.	1458

INDICE DE FIGURAS

Figura 3.4_1.: Fotografía de caminos colapsados durante las épocas de lluvia	1419
Figura 3.4_2. Fotografías caminos de bajo volumen pero con altas cargas de tráfico - Paraguay	1421
Figura 3.4_3. Camino sin Drenaje Lateral - Paraguay	1422
Figura 3.4_4. Evolución de la rigidez de los materiales estabilizados con cemento... ..	1426
Figura 3.4_5. Metodología General de Evaluación y Selección de Aditivos.	1428
Figura 3.4_6. Árbol de decisión para preselección de aditivos tradicionales (Adaptado de Referencias 1, 5 y 7)	1429
Figura 3.4_7. Árbol de decisión para preselección de aditivos tradicionales en función de objetivo	1430
Figura 3.4_8. Diagrama que define el peso por rueda del camión.....	1434
Figura 3.4_9. Interfase Herramienta Análisis Estructural	1435
Figura 3.4_10. Características DCP y Gráfico Tipo	1436
Figura 3.4_11. Fotografía LWD	1438
Figura 3.4_12. Muestra video georeferenciado tipo	1438
Figura 3.4_13.: Muestra de monitoreo de IRI en camino no pavimentado. Equipo Clase III.	1439
Figura 3.4_14. Casillas de Ingreso de Datos	1458
Figura 3.4_15. Datos del Proyecto.....	1458
Figura 3.4_16. Carga de Tránsito Representativa y Capacidad de Soporte Subrasante.....	1458
Figura 3.4_17. Definición de la Estructura de Pavimento. (a, b) Definidos por materiales disponibles localmente.....	1459

GLOSARIO DE TERMINOS

Estructura de un Camino:

Este término define al conjunto de capas de material que se utiliza para conformar la sección transversal de un camino y que está compuesto por la subrasante, una subbase (si aplica), una base (si aplica) y una carpeta de rodado.

Nota: Hay estructuras que pueden estar conformadas por una subrasante y una carpeta de rodado, es decir, que no poseen subbase ni base.

Aditivo:

Producto o compuesto, de origen natural, subproducto o elaborado químicamente, que se utiliza para la estabilización de materiales granulares y suelos. En este documento, este término es sinónimo de “Estabilizador” o “Producto”.

Estabilización:

En este documento el término estabilización define al procedimiento en el cual, un material no tratado (granular o suelo) es mezclado íntimamente con un producto (aditivo) con el fin de modificar las propiedades del material no tratado para efectos de cumplir con requerimientos específicos para su uso en la estructura de un camino.

CAPITULO 3.4.1. | INTRODUCCIÓN

3.4.1.1. ANTECEDENTES GENERALES

El presente documento se enmarca en el proyecto solicitado por el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones de Paraguay (MOPC) para elaborar una **Guía de Evaluación y Selección de Aditivos Estabilizadores de Materiales Granulares y Suelos**. La guía es parte de una serie de medidas que tienen como fin mejorar el estándar de la red de caminos administrados por la Dirección de Caminos Vecinales del MOPC.

Este documento fue desarrollado en base a la experiencia de los autores y la experiencia internacional recopilada a través de la revisión de una serie de documentos emitidos en las últimas dos décadas (Ver Referencias)

La elaboración de este documento fue financiada por el BID, a través de un contrato de servicios con la empresa consultora Alta Vía y por la contraparte técnica fue realizada por la Dirección de Caminos Vecinales del MOPC.

3.4.1.2. PROPÓSITO DE ESTE DOCUMENTO

Al igual que en muchos países en desarrollo, la red de caminos vecinales o de bajo tránsito, está compuesta en muchos casos por soluciones que no cumplen con los requerimientos mínimos para garantizar el tránsito de vehículos durante todas las épocas del año. Particularmente durante el período de lluvias las estructuras de estos caminos colapsan principalmente porque la infraestructura anexa no está correctamente implementada - por ejemplo sistema de drenajes - y/o porque los materiales utilizados no son capaces de resistir las tensiones generadas por los vehículos, impidiendo el tráfico normal de estos (Ver Figura 3.4_1).

Una de las principales razones que dan origen al problema antes indicado, corresponde a la escasez (o alto costo) de materiales granulares idóneos para la construcción de caminos. En estos escenarios la utilización de técnicas de estabilización con aditivos surge como una alternativa para proveer materiales que sean capaces de resistir las sollicitaciones de tránsito.

El propósito de esta guía es entregar herramientas de ingeniería básica para el desarrollo de proyectos de mejoramiento de caminos de bajo tránsito que permitan la circulación segura de vehículos pesados en toda estación, resistir el desgaste superficial que genera en tránsito permanente de vehículos y minimizar las actividades de mantenimiento.

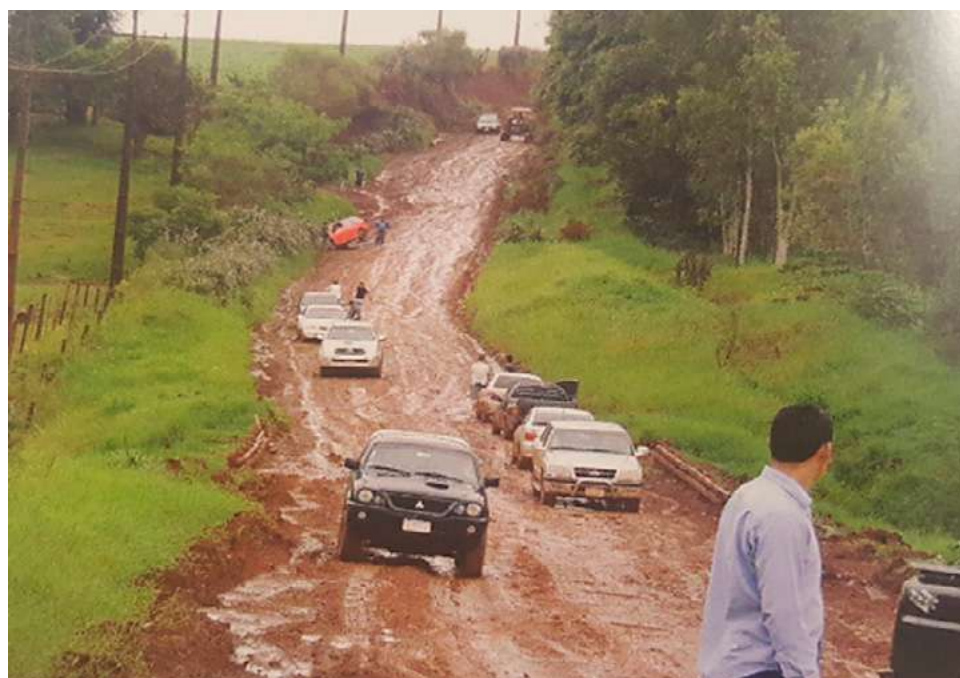


Figura 3.4_1.: Fotografía de caminos colapsados durante las épocas de lluvia

3.4.1.3. OBJETIVO

Esta guía tiene como objetivo definir las actividades y procesos a llevar a cabo para la evaluación y selección de aditivos utilizados para estabilizar o mejorar las propiedades de materiales granulares y suelos utilizados en la construcción de los caminos de bajo tránsito.

La guía tiene como objetivo específico proporcionar información específica sobre los aditivos disponibles, los mecanismos de estabilización, los materiales granulares y suelos donde es posible utilizarlos, ventajas y restricciones, métodos de ensayos y normativas, requerimientos de resistencia y durabilidad, entre otros elementos necesarios para cumplir con el objetivo principal.

3.4.1.4. ALCANCES

La guía propone protocolos de trabajo que permiten evaluar y seleccionar los aditivos factibles de ser utilizados como estabilizador de un material granular o suelo a ser utilizado como capa estructural de un camino, en función de los materiales disponibles, las condiciones medioambientales y los requerimientos estructurales – funcionales del proyecto. Asimismo, la guía entrega recomendaciones para el diseño del espesor de dicha capa, en función de la capacidad de soporte de la subrasante, la resistencia de las capas de la estructura y el tipo de tráfico.

Esta guía está estructurada considerando que las actividades de estabilización serán realizadas in-situ, a través de la aplicación de aditivos a los materiales existentes en un camino. La guía considera que, como etapa previa a la realización del proceso de estabilización, se llevará a cabo una etapa de evaluación a nivel de laboratorio que permitirá evaluar y seleccionar los aditivos factibles de ser utilizados, así como también las dosis que permitan cumplir con los requerimientos específicos del proyecto.

Esta guía no incluye el estudio de aditivos para supresión de polvo, no obstante mucha de la información provista sirve como apoyo para lo anterior.

Los protocolos, procedimientos y recomendaciones definidos en esta guía, son aplicables a los caminos de bajo volumen de tránsito. Es decir, se considera que estos caminos tendrán un flujo bajo de vehículos al día y su vida útil será entre 1 y 3 años.

Esta guía está desarrollada para que sea utilizada por profesionales y técnicos del área vial, incluyendo los administradores de proyectos y encargados de la toma de decisiones, ingenieros de caminos a cargo de proyectos de mejoramiento y conservación, técnicos involucrados en las tareas de evaluación de materiales y construcción, entre otros.

Esta guía fue elaborada para aquellos caminos que poseen un sistema de drenaje mínimo requerido, es decir, que poseen un terraplén o levantamiento mínimo sobre la cota de rasante y los elementos de drenaje requeridos (atravesos, alcantarillas y sumideros).

3.4.1.5. ORGANIZACIÓN DE LA GUÍA

Luego de los antecedentes generales presentados en el Capítulo 1, en Capítulo 2 se discuten antecedentes técnicos asociados a conceptos de ingeniería de caminos de bajo volumen de tránsito, conceptos de estabilización química y a los criterios que se deben exigir a los materiales estabilizados para ser utilizados como capa de la estructura de estos caminos.

En Capítulo 3 se presenta la metodología para evaluar y seleccionar los estabilizadores químicos.

En Capítulo 4 se presenta la metodología para definir los espesores mínimos a utilizar en la estructura del camino.

En Capítulo 5 se presenta el protocolo de ensayo, monitoreo y seguimiento en terreno

En Capítulo 6 se presentan los detalles de la información que debe ser entregada por cada uno de los proveedores respecto a las características de los aditivos que se comercializan.

En los Anexos se presenta información complementaria y necesaria para llevar a cabo las tareas de evaluación y selección de los aditivos, de acuerdo al siguiente esquema.

Anexo A. Métodos, Normas y Ensayos para suelos, materiales granulares y materiales estabilizados.

Anexo B. Antecedentes Aditivos Tradicionales

Anexo C. Antecedentes Aditivos No-Tradicionales

Anexo D. Metodología Análisis Estructural y Definición Espesores Mínimos Estructura

CAPITULO 3.4.2. | DISCUSIÓN ANTECEDENTES TÉCNICOS

3.4.2.1. CONCEPTOS DE INGENIERÍA PARA LA EVALUACIÓN Y DISEÑO DE CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO.

Los Caminos de Bajo Volumen de Tránsito (CBVT) constituyen una parte importante de la red vial interurbana de países en Latino América, presentando una gran variedad de estándares tanto geométricos como estructurales. En estos caminos (CBVT) generalmente se proponen proyectos con soluciones relativamente económicas en comparación a caminos que soportan mayores volúmenes de tránsito, sin embargo, es común ver que para este tipo de caminos la economía se traduce simplemente en una reducción de estándares sin fundamentos de ingeniería y en donde se justifica la menor inversión únicamente con argumentos económicos o administrativos.

Una problemática que se repite permanentemente en los CBVT de países en vías de desarrollo corresponde al hecho de que si bien son caminos con volúmenes de tráfico bajo (< 200 vehículos/día) el porcentaje de vehículos pesados es significativo, normalmente asociado al transporte de recursos del rubro ganadero, agrícola o minero, entre otros. Tal es el caso de lo que sucede en la región Sur-Oriental de Paraguay, donde la principal fuente de desarrollo está asociada a la industria de la Soja y Trigo, materia prima que es transportada en camiones que transitan a la carga máxima legal (Ver Figura 3.4_2). Otro aspecto que es necesario internalizar corresponde al hecho de que en estos caminos el control de cargas es casi nulo, y por lo tanto en muchas ocasiones los camiones circulan con cargas que están por sobre la máxima legal, generando tensiones en la estructura que superan en muchas veces la resistencia que son capaces de soportar las capas de la estructura.



Figura 3.4_2. Fotografías caminos de bajo volumen pero con altas cargas de tráfico - Paraguay

Lo antes señalado supone un desafío importante desde el punto de vista de la ingeniería de caminos, ya que si bien las soluciones utilizadas para bajos niveles de flujo vehicular normalmente son de baja inversión (económicas), las cargas de tráfico y el nivel de tensiones que éstas generan son las mismas que reciben pavimentos de carreteras de mayor importancia.

Esta problemática también se repite tanto con los estándares de drenaje, como los de diseño geométrico. En el primer caso, normalmente este tipo de caminos carecen de elementos de drenaje para el manejo de las aguas superficiales y subterráneas, lo cual impacta no solo el estándar superficial de los caminos, sino que también impacta significativamente la resistencia de los materiales granulares utilizados, toda vez que estos permanecen constantemente bajo condiciones de humedad (Ver Figura 3.4_3).

En el segundo caso, estos caminos normalmente son diseñados para velocidades baja de circulación, lo cual limita las posibles mejoras que puedan realizarse en el tiempo en términos de los materiales de la estructura y el aumento en la velocidad de circulación.



Figura 3.4_3. Camino sin Drenaje Lateral - Paraguay

En resumen, proveer soluciones para CBVT que garanticen el tránsito de vehículos durante todo el año (incluyendo los períodos de lluvias intensas) se transforma en una problemática muy difícil de resolver y para hacerlo es necesario ajustar la forma en que tradicionalmente se abordan estos tipos de caminos, incorporando conceptos, metodologías y herramientas de Ingeniería Básica que respondan a estos requerimientos.

3.4.2.2. CONCEPTOS GENERALES DE ESTABILIZACIÓN QUÍMICA

A. MECANISMOS Y OBJETIVOS DE LA ESTABILIZACIÓN

Desde el punto de vista de la Ingeniería de Caminos, es posible identificar 2 tipos de estabilización: a) Estabilización Mecánica, y b) Estabilización Química.

La Estabilización Mecánica cubre aspectos tales como la mezcla y compactación de materiales granulares, hasta el uso de geosintéticos y la incorporación de elementos menos convencionales. Esta temática no se discute ni analiza en esta guía, no obstante es importante considerar que la mezcla de materiales granulares u otros elementos, previo a la incorporación del aditivo, puede llegar a ser significativamente costo-eficiente para los objetivos que se buscan. Lo anterior se debe a que los aditivos pueden maximizar sus beneficios cuando el material cumple con características específicas, particularmente cuando se incorporan aditivos que reaccionan químicamente con la fracción fina de los materiales.

La Estabilización Química cubre la práctica de la incorporación de aditivos a un material granular para modificar sus propiedades mecánicas y/o propiedades de desempeño, entre las que se destacan las siguientes:

- Necesidad de aumentar la capacidad de soporte de los materiales granulares.
- Otorgar mayor estabilidad frente a la presencia de humedad y condiciones de saturación.
- Controlar todo tipo de reacción especial en los materiales granulares, tales como, control de retracción, control del efecto negativo de sales, expansiones excesivas, entre otras reacciones químicas no deseables.
- Controlar del deterioro superficial excesivo por efecto del tráfico de vehículos y el clima.
- Mejorar la trabajabilidad de materiales con altos índices de plasticidad.

En el proceso de estabilización química - a diferencia de los aditivos que son utilizados para la supresión de polvo - el aditivo se mezcla íntimamente con el material granular, de tal forma de lograr una homogenización óptima y de esta forma lograr generar los cambios a nivel físico-químico que permitan lograr el objetivo de la estabilización.

Por otra parte, el “nivel” de estabilización que se requiere lograr es variable y dependerá de los alcances del proyecto. De esta forma la incorporación de aditivo se puede utilizar como mejoramiento o como estabilización de los materiales. Por ejemplo, si lo que se requiere lograr es solamente mejorar la trabajabilidad del material existente (normalmente un material con alto porcentaje de finos de alta plasticidad y en estado húmedo) entonces la definición utilizada es la de Modificación de materiales y en estos casos las dosis de aditivos son generalmente bajas. Por otra parte si por ejemplo lo que se requiere lograr es aumentar la capacidad de soporte por un período extenso (1 o más años), entonces la definición utilizada es la de Estabilización de materiales

B. ADITIVOS Y CLASIFICACIÓN

En el contexto de la Estabilización Química de materiales granulares y suelos es posible identificar dos tipos de aditivos: a) Aditivos Tradicionales, b) Aditivos No-Tradicionales.

Se denominan aditivos tradicionales a aquellos productos que tienen suficiente respaldo técnico y experiencia empírica como para que el estudio de estos antecedentes permita llevar a cabo el proceso de estabilización de forma ordenada y con un grado de certidumbre acotado. Dentro de los aditivos considerados como Tradicionales, se encuentra el Cemento, la Cal y el Asfalto. En otros países también se considera como aditivo tradicional distintos tipos de Ceniza Volante y la mezcla de estas con cemento o cal⁽¹⁾. Para cada uno de estos aditivos se han elaborado un sinnúmero de documentos que presentan información concreta respecto a: a) los tipos de suelos y materiales granulares en los cuales pueden ser utilizados, b) los rangos de dosis que deben utilizarse, c) los efectos que producen en las propiedades de los materiales granulares, d) las restricciones de uso y e) los métodos de evaluación que deben utilizar para comprobar los beneficios, entre otros aspectos.

Nota: (1) En esta guía los diversos tipos de Ceniza Volante se consideran como aditivos No Tradicionales, básicamente por la escasa experiencia que existe en Paraguay en el uso de éstas para la estabilización.

Por otra parte, en el ámbito de los aditivos No-Tradicionales, es posible encontrar una gran variedad de productos con nombres comerciales que son definidos como aditivos o agentes estabilizadores, y en general, salvo casos específicos, no se indica ni respalda el mecanismo de

estabilización que da origen a su definición, ni tampoco el o los efectos específicos que produce su incorporación en los materiales granulares que se quiere estabilizar.

La selección y alcance relacionado a la utilización de estabilizadores no-tradicionales representa un desafío y una problemática especial de la ingeniería de caminos. Esta problemática se puede resumir de la siguiente forma basada en la experiencia de las últimas décadas:

- La variedad de productos disponibles en el mercado es significativamente amplia lo que hace difícil normalizar su uso del mismo modo que estabilizadores tradicionales. Una parte importante de aditivos corresponden a sub-productos de procesos industriales de los cuales normalmente se tiene muy poca información y otra parte menor de los productos disponibles en el mercado, corresponden a formulaciones químicas especiales las cuales en muchos casos están protegidas por patentes. En ambos casos estos productos no se encuentran normalizados en los documentos o manuales oficiales de construcción de los países en Latinoamérica.
- Algunos estabilizadores no-tradicionales se comercializan con mucho menos rigor que los estabilizadores tradicionales sin especificar claramente su origen de producción, su composición química y sus propiedades de ingeniería.
- Muchos estabilizadores químicos se promueven comercialmente como una solución de ingeniería sin distinguir claramente su alcance respecto de las diferentes posibles aplicaciones indicadas en el presente capítulo.
- Para algunos estabilizadores químicos se desconocen las propiedades mecánicas que otorga al material por lo cual no se puede dar respaldo al proyecto de diseño estructural. Los estabilizadores químicos no-tradicionales, no cuentan con el mismo nivel de experiencia, información y documentación de ingeniería que los estabilizadores tradicionales.
- La gran mayoría de los estabilizadores no-tradicionales ofrecen soluciones temporales cuya temporalidad depende de factores como tránsito, suelo y clima. En este sentido lo importante es conocer la temporalidad de cada uno de estos.
- Para algunos estabilizadores, los aspectos relativos a impacto ambiental no se encuentran debidamente abordados. Algunos de estos productos provienen de residuos secundarios de procesos industriales.

No obstante la problemática descrita, la experiencia indica que algunos estabilizadores no-tradicionales efectivamente pueden mejorar el desempeño de los materiales granulares y de esta forma proveer soluciones de corto y mediano plazo. Cuando esto último ocurre, el empleo de estabilizadores no-tradicionales puede llegar a ser costo-efectivo frente a alternativas en las cuales se ha considerado el empleo de estabilizadores tradicionales.

Por otra parte, aunque no existe suficiente respaldo técnico validado para cada uno de los aditivos no tradicionales, hoy en día en la bibliografía internacional se propone que estos sean agrupados en 7 u 8 familias según su origen (Referencias 1 y 2):

- Higroscópicos (Absorbentes de Humedad)
- Aditivos arcillosos
- Productos orgánicos derivados del petróleo
- Productos orgánicos (No derivados del petróleo)
- Emulsiones Electrolíticas
- Emulsiones de Polímeros Sintéticos
- Emulsiones Enzimáticas

Las estrategias utilizadas en diferentes países para incorporar dentro de sus normativas las alternativas de empleo de estabilizadores no-tradicionales, se han basado principalmente en la ejecución de tramos de prueba localizados, liderados por el equipo de profesionales que proveen o comercializan el aditivo, sin la realización de estudios formales a nivel de laboratorio que

definan la factibilidad de uso del aditivo en los materiales tratados ni la realización de programas de seguimiento que permitan establecer el desempeño y vida útil de las soluciones. Por lo tanto, este tipo de experiencias han quedado en el registro de las actividades realizadas por parte de la administración de la red vial, pero sin documentos concretos que permitan - con un grado de certeza aceptable - replicar estas experiencias en el resto de la red.

Para evitar esta realidad, esta guía entrega una metodología objetiva para la evaluación y selección de aditivos estabilizadores, basada – cuando es posible – en a) información específica obtenida de investigaciones objetivas y experiencias validadas, b) a través de un protocolo de evaluación a nivel de laboratorio que permita definir las propiedades y alcances de los materiales estabilizados y c) a través de un protocolo de seguimiento de los tramos de prueba que permita definir objetivamente el desempeño y vida útil de estos.

3.4.2.3. CRITERIOS DE DISEÑO Y DEFINICIÓN REQUERIMIENTOS CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO

Los caminos de bajo volumen de tránsito poseen una problemática especial de ingeniería y que grafica en el hecho de que si bien estos poseen bajo flujo de vehículos, en muchas ocasiones este flujo está compuesto por un gran porcentaje de vehículos pesados. Esta situación está presente particularmente en países en desarrollo y en aquellos países que son productores de materia prima agrícola, forestal, etc., tales como Paraguay, Chile, Perú, entre otros. Esta situación es crítica para el desempeño estructural de los caminos porque las capas de la estructura del camino se ven sometidas a tensiones de trabajo significativamente altas debido a que en general el diseño y dimensionamiento de estos responde a criterios y políticas que establecen un bajo nivel de inversión, lo cual se traduce en estructuras de bajo espesor y materiales de bajo soporte. Bajo este escenario, la estrategia correcta para proveer soluciones que sean capaces de resistir las cargas de tráfico durante todo el año, incluido el período de lluvias, debe considerar el análisis adecuado del nivel de tensiones que producen las cargas de los vehículos pesados en las capas de la estructura.

La guía que se presenta en este documento aborda y resuelve esta problemática a través de una sección que ayuda al usuario a definir los espesores mínimos que deben utilizarse, en función de las propiedades mecánicas de los materiales estabilizados, de la subrasante y de las cargas por eje de los vehículos pesados (ver Capítulo 4).

Asimismo, esta Guía define cuáles son los niveles de resistencia mínimo a garantizar en la capa de rodado y en las capas subyacentes, lo cual se realiza en función del ensayo CBR (California Bearing Ratio) o en función del ensayo de Compresión Simple. Para definir estos valores, se realizan las siguientes suposiciones:

- a. En la práctica, el administrador del proyecto lo que normalmente buscará realizar es estabilizar el material de la huella existente de tal forma de convertirlo en la capa resistente principal. En estos casos el camino quedará conformado por una capa estabilizada que cumplirá la función de carpeta de rodado y núcleo principal de resistencia. Según la capacidad de soporte de la subrasante, podrá o no existir una capa de subbase granular que ayude a proteger a la subrasante.
- b. Normalmente, no se colocará una superficie de protección sobre la capa estabilizada y esta quedará expuesta al desgaste que produce el tránsito.

Por lo tanto, sobre la base de los criterios definidos en los párrafos anteriores, en esta guía se establece que el valor mínimo a garantizar para la carpeta de rodado superficial será de CBR

70% evaluado en condiciones saturadas. Esta consideración se origina en el hecho de que un camión cargado a la máxima legal generará tensiones sobre la capa superficial que están cerca de los valores admisibles que proveen estos materiales.

Nota Importante: En caminos donde el tránsito de vehículos sea predominantemente liviano, entonces la resistencia de este material puede ser menor. En estos casos recomienda utilizar materiales en la carpeta de rodado que tengan una capacidad de soporte mayor a CBR 50%.

Respecto al parámetro obtenido del ensayo de Compresión Simple, es importante entender que la evolución de la capacidad de soporte de los materiales estabilizados con aditivos cementantes disminuye en el tiempo producto de los ciclos de carga. Lo anterior se origina por el hecho de que si bien estos aditivos (cemento, cal, o sus derivados) producen enlaces cementantes que permiten aumentar la resistencia, estos enlaces son frágiles y la cantidad de aditivo presente en el volumen de material granular es baja (dosis de 2 a 6% en función del peso del material granular). Por lo tanto, en la medida que la estructura es sometida a flexión debido al paso de los vehículos pesados, parte de estos enlaces se rompen, perdiéndose la resistencia generada por el aditivo. Esta situación ha sido discutida y documentada por una serie de investigaciones (Referencias 3 y 4) y sus alcances pueden ser analizados a través del gráfico que se presenta en Figura 3.4_4.

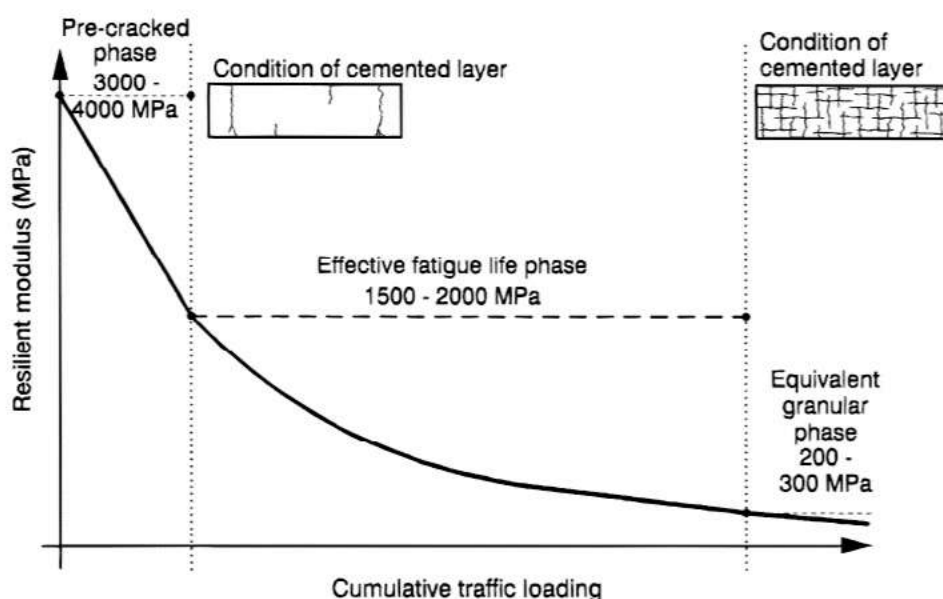


Figura 3.4_4. Evolución de la rigidez de los materiales estabilizados con cemento

La afirmación discutida en el párrafo anterior en la práctica se traduce en que la resistencia inicial evaluada a través del ensayo de Compresión Simple es significativamente superior a la resistencia representativa de este material en servicio (largo plazo). Por lo tanto, sobre la base de lo antes discutido, los materiales estabilizados que sean evaluados a través del ensayo de Compresión No Confinada, se les exigirá una resistencia mínima de 15,0 kg/cm² en condiciones de saturación.

CAPITULO 3.4.3.**METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN Y SELECCIÓN ADITIVOS**

Si bien en esta guía, y en la mayoría de los casos, el objetivo primario es el de aumentar la resistencia del material granular disponible, también es posible que el objetivo de la utilización de aditivos sea otro, como por ejemplo lograr mejorar la aglomeración del material o solo modificar las condiciones de trabajabilidad de estos. Por lo tanto, una de las primeras etapas del proceso de evaluación, corresponde a la definición del objetivo de la estabilización.

En Anexo A se presentan los ensayos propuestos según los objetivos definidos y se indica además cuales son las normas y protocolos que se pueden aplicar en cada uno de los casos.

Respecto a los aditivos tradicionales y no-tradicionales, el proceso de evaluación es básicamente el mismo. No obstante, en el caso de los aditivos tradicionales, se incorpora al procedimiento una herramienta de pre-selección de los aditivos tradicionales factibles de ser utilizados y se entregan procedimientos específicos tanto para la evaluación de los materiales estabilizados como para evaluar problemas específicos que se pueden originar debido a la presencia de sulfatos, sales o materiales orgánicos. De esta forma en Sección 3.1 se presentan detalles de la metodología para los Aditivos Tradicionales, mientras que en la Sección 3.2 se presenta la metodología para los Aditivos No-Tradicionales.

Luego de la etapa de preselección de los aditivos tradicionales, se lleva a cabo la etapa de evaluación a nivel de laboratorio, para efectos de cuantificar las propiedades de los materiales estabilizados y comparar los niveles de mejoramiento que se pueden lograr con la incorporación de los aditivos. Este proceso es aplicable tanto para aditivos tradicionales como no-tradicionales. Los resultados se evalúan en función del objetivo que se busca obtener. El proceso se cierra llevando a cabo la etapa de definición de los espesores mínimos para el camino en evaluación.

La Figura 3.4_5 presenta el diagrama de los pasos a llevar a cabo para la evaluación de los aditivos y materiales tratados.

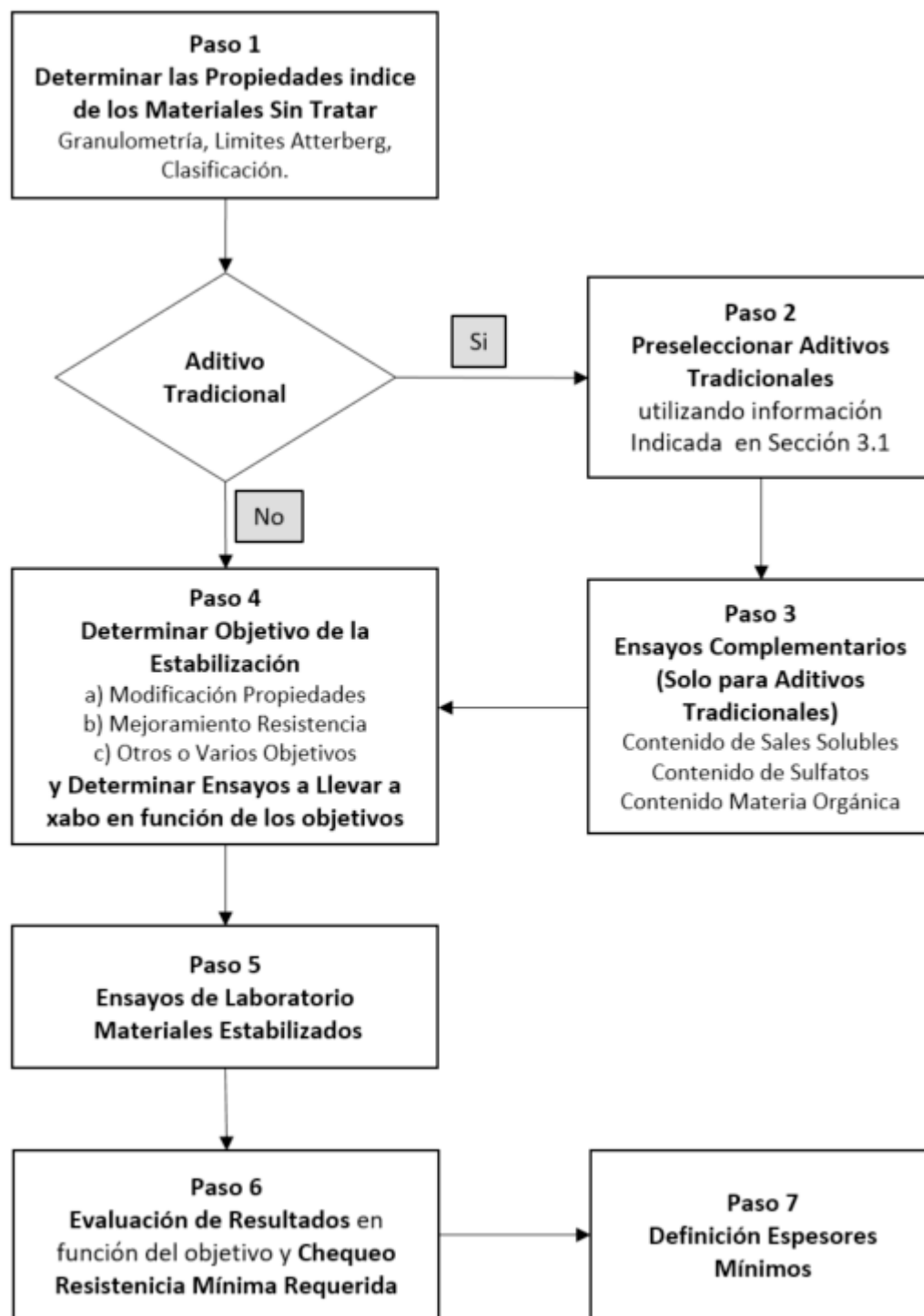


Figura 3.4_5. Metodología General de Evaluación y Selección de Aditivos.

3.4.3.1. EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE ADITIVOS TRADICIONALES

En esta sección se presenta la metodología de evaluación de los materiales estabilizados con aditivos tradicionales, es decir, Cemento, Cal o Asfalto. El procedimiento aquí indicado se basa en una serie de documentos internacionales (Ver Referencias 1, 5, 6 y 7) y permite pre-seleccionar los aditivos que son factibles de ser utilizados en función de las propiedades de los materiales a tratar.

En Anexo B se presentan antecedentes de cada uno de los aditivos tradicionales, indicando las principales propiedades, mecanismo de estabilización, beneficios y restricciones, entre otros aspectos importantes. En Anexo B además se presentan detalles técnicos específicos de los

ensayos a llevar a cabo para el chequeo de problemas asociados a la estabilización de estos aditivos con materiales con contenidos inadecuados de sales, sulfatos y materia orgánica.

En caso de que se requiera profundizar en cada uno de los conceptos y herramientas de evaluación asociados a la estabilización con estos aditivos tradicionales, se recomienda revisar los siguientes documentos:

- Estabilización con Cemento:
 - “Guide to Cement Modified Soils”, Portland Cement Association, USA 2008
 - “Manual de Estabilización de Suelos con Cemento o Cal”, Asociación Nacional Técnica de Estabilización de Suelos y Reciclado de Firmes”, España 2008.

- Estabilización con Cal:
 - “Lime-Treated Soil Construction Manual. Lime Stabilization & Lime Modification”, National Lime Association, USA 2004.
 - “Stabilization of Pavement Subgrades and Base Courses with Lime”. Dallas Little, 1995.
 - “Manual de Estabilización de Suelos con Cemento o Cal”, Asociación Nacional Técnica de Estabilización de Suelos y Reciclado de Firmes”, España 2008.

- Estabilización con Asfalto:
 - “TG2 - Technical Guideline: Bitumen Stabilised Materials. A Guideline for the Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen Stabilised Materials” 2nd Ed, Asphalt Academy, South Africa 2009.

PROTOCOLO DE EVALUACIÓN ADITIVOS TRADICIONALES

Paso 1: Evaluación propiedades índice de los materiales a tratar.

- Porcentaje (%) de finos pasantes malla #200 (Granulometría)
- Índice de Plasticidad (Límites de Atterberg)
- Proctor Modificado (Densidad)

Nota: Las normas de cada uno de los ensayos se presentan en Anexo A.

Paso 2: Preseleccionar aditivos factibles de ser utilizados utilizando árbol de decisión que se presenta en Figura 3.4_6.

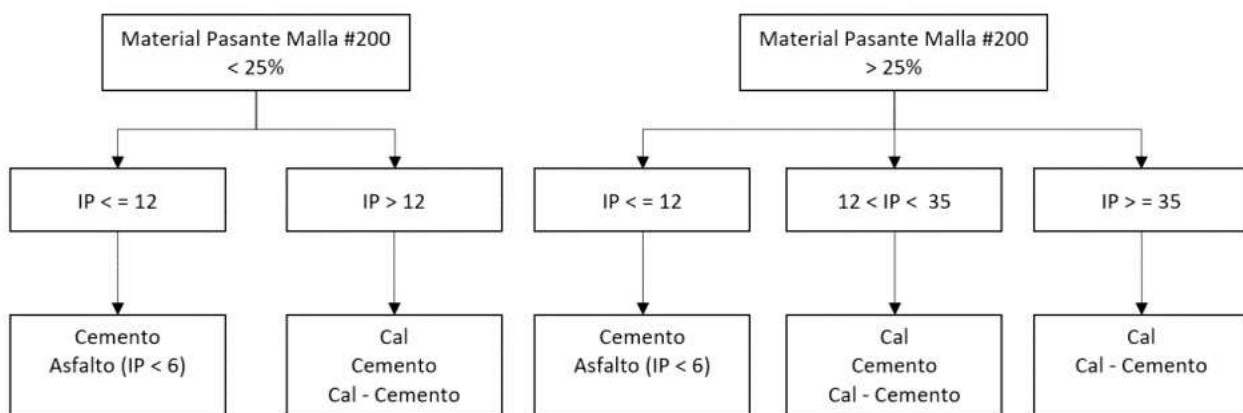


Figura 3.4_6.Árbol de decisión para preselección de aditivos tradicionales (Adaptado de Referencias 1, 5 y 7)

Alternativamente utilizar árbol de decisión para aditivos tradicionales que se presenta en Figura 3.4_7, el cual recomienda los tipos de aditivos en función del objetivo de la estabilización (Referencia 8)

	Objetivo	Tipo de Material	Método Recomendado
Estabilización de Subrasante	Mejorar capacidad de soporte	Granular grueso	SA; SC; MB
		Granular fino	SA; SC; MB
		Arcillas de bajo IP	SC; CMS; LMS; SL
		Arcillas de alto IP	SL; LMS
	Impermeabilización y erosión por lluvia	Arcillas de bajo IP	CMS; SA; CW; LMS; SL
	Control de retracción e hinchamiento	Arcillas de bajo IP	CMS; SC; CW; LMS; SL
Arcillas de alto IP		SL; LMS	
Estabilización de Base Granular (**)	Mejoramiento de materiales marginales (*)	Granular fino	SC; SA; MB
		Arcillas de bajo IP	SC; SL
	Mejorar capacidad de soporte	Granular grueso	SA; SC; MB
		Granular fino	SC; SA; MB
	Reducción del bombeo de finos	Granular fino	SC; SA; MB

(*) Materiales que no cumplen con Especificaciones Técnicas tradicionales

(**) En estos casos se asume la colocación de un sello superficial

Nomenclatura

- CMS: Suelo modificado con cemento
- CS: Cementante químico (cemento, cal)
- CW: Impermeabilizante Químico
- LMS: Suelo modificado con Cal
- MB: Mezcla de Materiales
- SA: Suelo Asfalto
- SC: Suelo Cemento
- SL: Suelo Cal

Figura 3.4_7. Árbol de decisión para preselección de aditivos tradicionales en función de objetivo

Paso 3: Evaluar propiedades complementarias de los materiales a tratar para verificar posibles restricciones.

- Contenido de sulfatos
- Contenido de material orgánico
- Contenido de Sales

Nota: Los detalles de estas restricciones se discuten en Anexo B.

Paso 4: Preparar los materiales y probetas estabilizadas siguiendo los lineamientos que se definen para los ensayos de laboratorio seleccionados, los cuales se presentan en Anexo A, y que están definidos de acuerdo al objetivo que se desea lograr a través de la estabilización.

Paso 5: Realizar ensayos de laboratorio de las propiedades mecánicas y desempeño a los materiales sin tratar y a los materiales estabilizados, de acuerdo al objetivo que se busca cumplir y utilizando los ensayos que se presentan en Anexo A.

Paso 6: Verificar si las propiedades evaluadas cumplen con los objetivos y criterios de selección definidos. Independiente si el objetivo de la aplicación de aditivos es o no mejorar la resistencia de los materiales sin tratar, los materiales utilizados en cada una de las capas deben cumplir con los criterios de resistencia mínima discutidos en Sección 2.3 de este documento y que se presentan en Tabla 3.4_1.

Tabla 3.4_1. Resistencia mínima requerida según capa de la estructura

Material utilizado en	CBR (%)	Compresión Simple (kg/cm2)
Capa de Rodadura	70	15,0
Base Granular	50	10,0
Subbase Granular	30	6,0
Subrasante	10	2,0

Si el objetivo es modificar las propiedades del material, entonces se deben cumplir las especificaciones técnicas definidas para el proyecto particular, tales como densidad, índice de plasticidad u otro.

3.4.3.2. EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE ADITIVOS NO-TRADICIONALES

En esta sección se presenta la metodología de evaluación de los materiales estabilizados con Aditivos No-Tradicionales. Salvo casos muy particulares, en general no existe suficiente información técnica para recomendar un aditivo no-tradicional a partir de las características de los materiales granulares a tratar. Por lo tanto, el proceso de evaluación se lleva a cabo evaluando directamente las propiedades de resistencia y/o desempeño que se busca cumplir, utilizando los ensayos correspondientes en cada caso.

No obstante lo anterior y de forma complementaria, en Anexo C se presenta un resumen de las características, ventajas y restricciones de las distintas familias de aditivos no-tradicionales identificadas hasta la fecha en la literatura internacional.

PROTOCOLO DE EVALUACIÓN ADITIVOS NO-TRADICIONALES

Paso 1: Evaluación propiedades índice y propiedades complementarias de los materiales a tratar

- Porcentaje (%) de finos pasantes malla #200 (Granulometría)
- Índice de Plasticidad (Límites de Atterberg)
- Densidad

Paso 2: Preparar los materiales y probetas estabilizadas siguiendo los lineamientos que se definen para los ensayos de laboratorio seleccionados, los cuales se presentan en Anexo A, y que están definidos de acuerdo al objetivo que se desea lograr a través de la estabilización.

Paso 3: Realizar ensayos de laboratorio de las propiedades mecánicas y desempeño a los materiales sin tratar y a los materiales estabilizados, de acuerdo al objetivo que se busca cumplir y utilizando los ensayos que se presentan en Anexo A.

Paso 4: Verificar si las propiedades evaluadas cumplen con los objetivos y criterios de selección definidos. Independiente si el objetivo de la aplicación de aditivos es o no mejorar la resistencia de los materiales sin tratar, los materiales utilizados en cada una de las capas deben cumplir con los criterios de resistencia mínima discutidos en Sección 2.3 de este documento y

que se presentan en Tabla 3.4_ 1. Si el objetivo es modificar las propiedades del material, entonces se deben cumplir las especificaciones técnicas definidas para el proyecto particular, tales como densidad, índice de plasticidad u otro.

CAPITULO 3.4.4.

PROTOCOLO DE DEFINICION DE ESPESORES MINIMOS

Con el objeto de facilitar al usuario de esta Guía el proceso de definición de los espesores de cada una de las capas a utilizar en la estructura, incluyendo aquella conformada con los materiales estabilizados, en esta sección se incluye un protocolo específico a llevar a cabo.

El protocolo de definición de los espesores toma como variables principales, el peso representativo por rueda del camión (T_x) y el nivel de soporte de la subrasante característico de los tramos del proyecto (S_x). El procedimiento de diseño de la estructura se basa en la metodología de análisis propuesta en el documento "An alternative Philosophy on the deterioration and design of low volumen roads" (Paige Green, 2015).

Esta metodología toma en consideración las tensiones máximas de trabajo que se generarán en la estructura a partir de las cargas máximas por eje esperadas. En otras palabras, esta metodología no considera el concepto de "fatiga del material", ya que se considera que son caminos con bajo flujo de tránsito y que poseen una vida útil entre 1 - 3 años.

Respecto al peso representativo por rueda del camión (T_x) se consideran 3 niveles del peso por rueda del Eje Simple Rueda Doble (Ver Figura 3.4_ 8):

- Peso por Rueda: 20 KN (2,0 toneladas aprox.). Corresponde a un camino local con tránsito de vehículos pesados ocasionales y mayormente tránsito de vehículos livianos.
- Peso por Rueda: 27 KN (2,7 toneladas aprox.). Corresponde a un camino local con tránsito permanente de vehículo pesados, pero que en términos relativos tiene un adecuado control de pesos por eje.
- Peso por Rueda: 35 KN (3,5 toneladas aprox.). Corresponde a un camino con tránsito permanente de vehículos pesados que transportan materia prima (madera, soja, entre otros) y que evidentemente no cumplen con la normativa legal respecto a pesos máximo por eje.

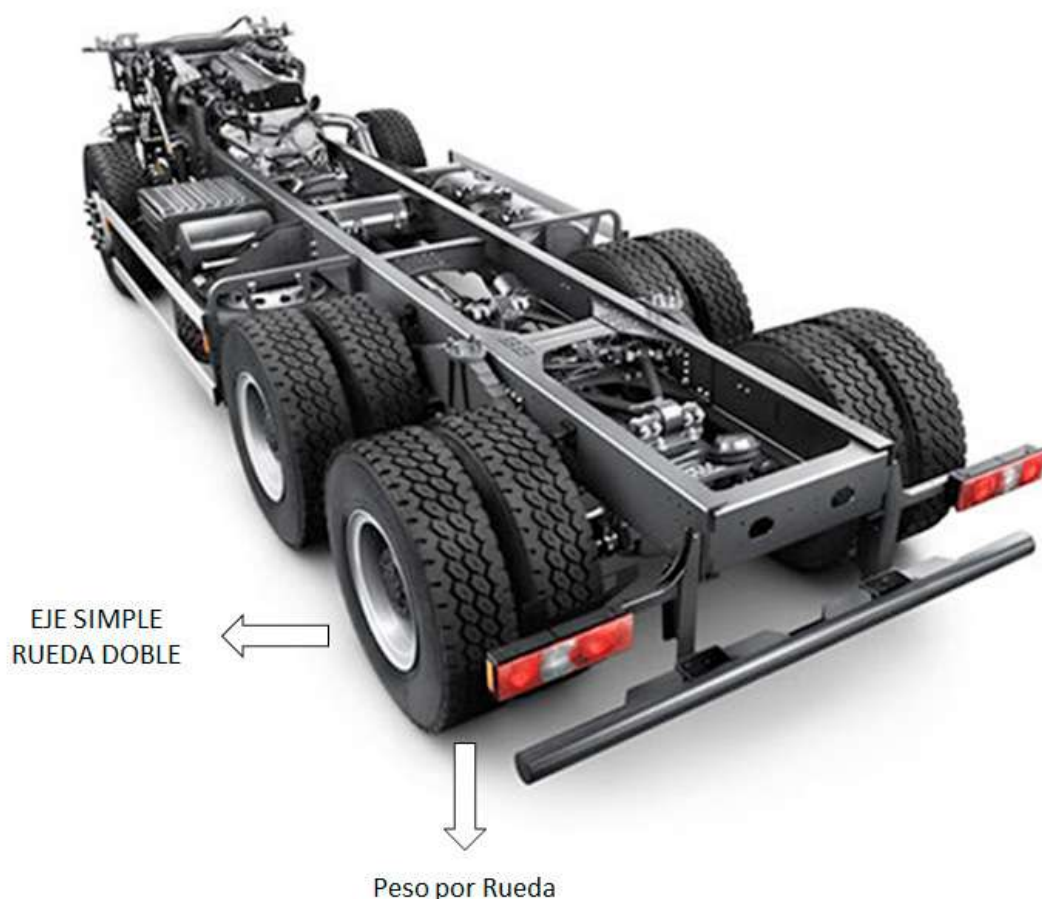


Figura 3.4_8. Diagrama que define el peso por rueda del camión

Respecto de la definición de la capacidad de soporte representativa (S_x), se deben realizar los ensayos definidos en la normativa del MOPC. La unidad a utilizar corresponderá al valor de CBR (California Bearing Ratio) el cual debe ser evaluado en condiciones de saturación. Las calicatas para la obtención de muestras de materiales para la realización de ensayos de mecánica de suelos deben ser realizadas cada 250 m como mínimo.

Una vez definidos ambos valores (T_x y S_x) se utiliza la planilla que se presenta en Figura 3.4_9, la cual corresponde a una Macro de Excel que contiene una subrutina para definir los espesores mínimos. Esta metodología establece como requerimiento mínimo el uso de material de CBR 70% en la capa superficial de la estructura. A partir de este requerimiento y los valores de soporte de subrasante, se definen los espesores de carpeta de rodado (o base) y de la subbase (en caso de requerirse). Las celdas en naranja son las que deben ser completadas o ajustadas. Esta herramienta permite realizar un análisis al centímetro con el fin de optimizar lo mayor posible el diseño de la estructura.

En Anexo D se presenta un manual de uso de la herramienta de diseño en el cual se detallan todos los pasos a seguir, los criterios utilizados y la forma de obtener los espesores mínimos.

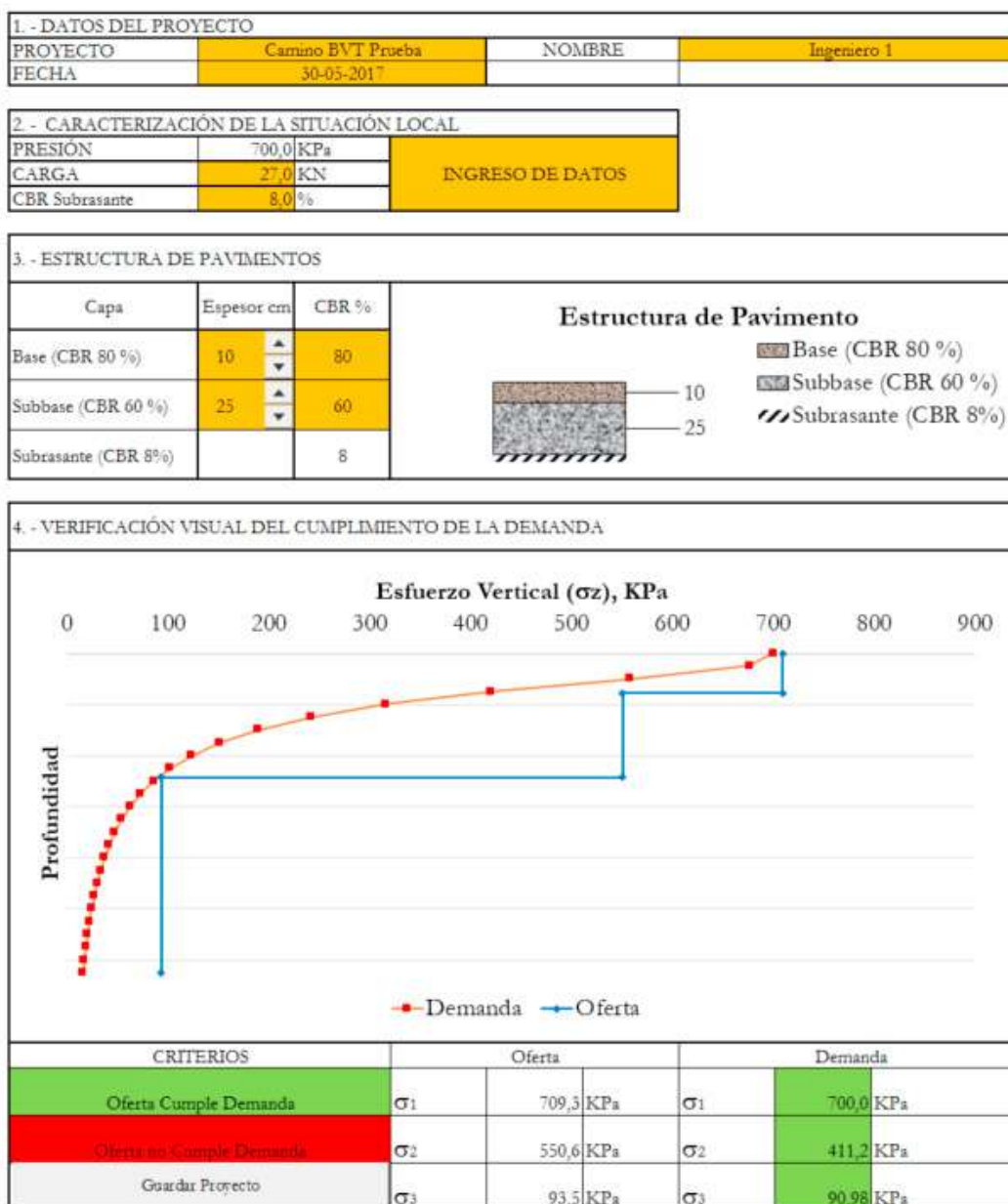


Figura 3.4_9. Interfase Herramienta Análisis Estructural

CAPITULO 3.4.5.

PROTOCOLO DE ENSAYO, MONITOREO Y SEGUIMIENTO EN TERRENO

El tramo de prueba en terreno deberá ser monitoreado utilizando principalmente ensayo de Cono Dinámico de Penetración (DCP), que utiliza un cono de ángulo 60°, un martillo de 8 kg y una altura de caída de 57,5 cm (Figura 3.4_10).

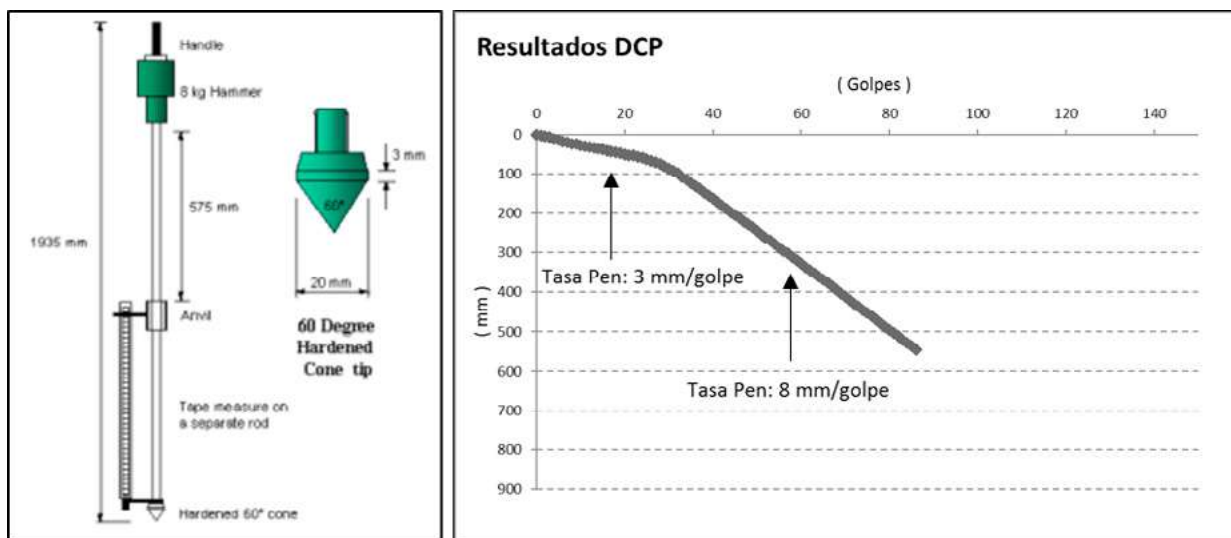


Figura 3.4_10. Características DCP y Gráfico Tipo

El ensayo deberá realizarse tanto a lo largo del tramo de pruebas como en los tramos contiguos a este que no fueron estabilizados (tramos no-tratados o tramo patrón), de acuerdo a las siguientes definiciones:

- Los ensayos, tanto en los tramos no-tratados como en el tramo tratado, deberán ser realizados en un mismo día calendario y procurando que las condiciones de humedad medioambiental sean las mismas. Es decir, si durante el día en que se realizan los ensayos comienza a llover copiosamente, entonces los trabajos deben detenerse. No existe restricción de realizar los trabajos con lluvia, pero todos los puntos ensayados deben ser realizados en las mismas condiciones de humedad.
- Los ensayos deben realizarse cada 50 m de distancia, tanto en el eje del camino como en la huella externa de cada uno de las pistas de tránsito. Los ensayos pueden realizarse a menor distancia de separación (mayor frecuencia), sin embargo, no se recomienda realizarlos a una distancia mayor a la aquí indicada.
- Los resultados deben registrarse en términos de mm/golpe promedio para cada una de las capas homogéneas identificadas y posteriormente obtener el dato de CBR utilizando una de las correlaciones que se presenta en Tabla 3.4_2.
- Cada uno de los puntos ensayados debe ser georeferenciado en el punto medio de la calzada y se debe tomar una fotografía panorámica del punto ensayado en el medio de la calzada para efectos de poder identificar posteriormente el mismo lugar de evaluación.
- El punto ensayado debe ser referenciado según la distancia (50m, 100m, 150m, etc) respecto al punto 0. Este último debe quedar claramente identificado a través de un letrero u

otro elemento de referencia que pueda ser fácilmente identificado por cualquier persona cada vez que se repita el ensayo.

- Este ensayo debe ser realizado según el siguiente programa, desde el día en que se realiza la construcción (día 0). Días 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 14, 21, 30, 45, 60, 90, 180.

Tabla 3.4_2. Correlación para obtener dato de CBR en función de tipo de material y ensayo

Investigador	Correlación	Numero de datos utilizados	Estudio Realizado en	Material Evaluado
Livneh	$\log(\text{CBR}) = 2.56 - 1.16 \log(\text{DCP})$	76	Laboratorio	Granular y Cohesivo
Livneh et. al.	$\log(\text{CBR}) = 2.45 - 1.12 \log(\text{DCP})$	135	Terreno y Laboratorio	Granular y Cohesivo
Harison	$\log(\text{CBR}) = 2.55 - 1.14 \log(\text{DCP})$	72	Laboratorio	Granular y Cohesivo
Smith and Pratt	$\log(\text{CBR}) = 2.56 - 1.16 \log(\text{DCP})$	Unknown	Terreno	Desconocido
Kleyn	$\log(\text{CBR}) = 2.61 - 1.26 \log(\text{DCP})$	2,000	Laboratorio	Desconocido
NCDOT	$\log(\text{CBR}) = 2.60 - 1.07 \log(\text{DCP})$	Unknown	Terreno y Laboratorio	Granular y Cohesivo
Norwegian Road Research (Ese et al.)	$\log(\text{CBR}) = 2.44 - 1.07 \log(\text{DCP})$	79	Terreno y Laboratorio	ABC
Webster et al.	$\log(\text{CBR}) = 2.46 - 1.12 \log(\text{DCP})$	116	Terreno	Diferentes tipos de suelos
Webster et al.	$\log(\text{CBR}) = 2.54 - 1.00 \log(\text{DCP})$	Unknown	Terreno	Material Clasif CH
Webster et al.	$\log(\text{CBR}) = 3.54 - 2.00 \log(\text{DCP})$	Unknown	Terreno	Material Clasif CL, CBR<10%

Fuente: García G, 2005

De forma complementaria, se podrá utilizar Deflectometría de impacto (FWD) para la evaluación de la capacidad de soporte de la plataforma. Se podrá utilizar tanto el deflectómetro liviano como el deflectómetro normal. Los niveles de carga utilizados deberán ser estudiados y definidos en común acuerdo con el MOPC. En caso de usar LWD (Light Weight Deflectometer) (Figura 3.4_ 11) los ensayos deben realizarse en los mismos días y siguiendo mismo calendario en que se realiza el ensayo DCP. Adicionalmente se requiere utilizar siempre el mismo plato de carga (misma área de contacto).

Como resultado de esta etapa se entregará un informe que incluya todos los resultados, de forma ordenada, con imágenes georreferenciadas de los puntos donde se realizaron los ensayos y con sus respectivas fotografías. Junto al informe se deben entregar los archivos Excel con la totalidad de los resultados registrados durante la realización de los ensayos DCP.



Figura 3.4_11. Fotografía LWD

Por otra parte en cada visita que se realice al tramo de prueba, se deberá registrar con videos georeferenciados la superficie del camino. Este registro debe realizarse colocando la cámara de video en la parte delantera de la camioneta, para registrar imágenes que permitan visualizar el estado de la superficie del camino, como la que se muestra en Figura 3.4_ 12. El levantamiento debe realizarse por pista, a una velocidad no mayor que 40 kph. El video debe tomarse tanto en el tramo como en los sectores contiguos a este, registrando al menos los 400 m anteriores y posteriores del tramo de prueba. Cada video debe ser almacenado con un código que indique claramente el proyecto específico, la fecha en la que se realizó, además de un comentario indicando punto de referencia para la identificación del video.



Figura 3.4_12. Muestra video georeferenciado tipo

Por último y como elemento de seguimiento complementario, se recomienda utilizar un equipo para medir IRI (Figura 3.4_ 13), para el cual se recomienda utilizar un equipo por respuesta (CLASE III). Se requiere realizar el levantamiento antes y después de la intervención, específicamente en los días 1, 30, 60, 90 y 180 luego de la intervención.

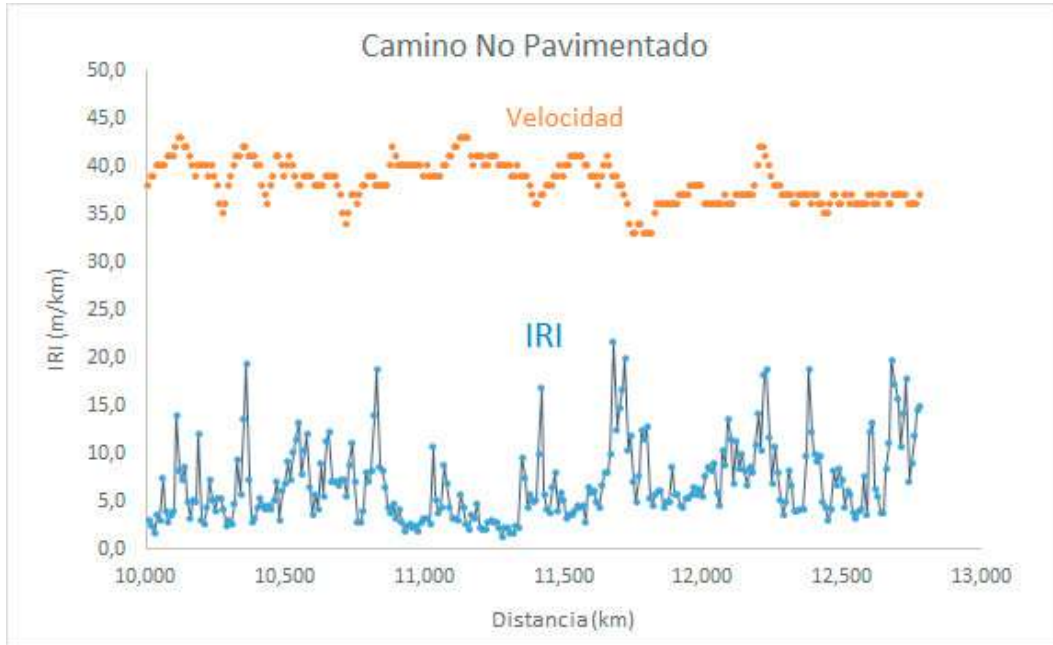


Figura 3.4_13.: Muestra de monitoreo de IRI en camino no pavimentado. Equipo Clase III.

CAPITULO 3.4.6.**INFORMACION QUE DEBE SER ENTREGADA POR EL PROVEEDOR DEL ADITIVO**

Cada vez que el encargado del proyecto se vea enfrentado a la evaluación de un nuevo aditivo, debe solicitar a la empresa comercializadora una serie de antecedentes referentes a este. Esta información tiene como objetivo conocer, entre otros, las propiedades y bondades del aditivo, el mecanismo de estabilización, los tipos de materiales granulares con el que tiene afinidad, la metodología de diseño de mezclas que se debe llevar a cabo y sus restricciones ambientales.

La información que deben entregar en un informe es, como mínimo, la siguiente:

- a. Hoja de seguridad del aditivo, indicando las propiedades físicas y químicas del aditivo (aditivo en polvo, líquido, emulsión, color, pH, viscosidad, rango de composición o componentes químicos)
- b. Estado legal del producto químico y del proveedor. Indicar si el estabilizador químico es propietario, patentado o franquiciado. Identificación de su fabricante, junto a la relación entre la sustancia química del proveedor y el fabricante.
- c. Informe que respalde el nulo o controlado impacto al medio ambiente. Esta información debe haber sido emitida por un organismo competente, nacional o internacional.
- d. Informe que indique las condiciones de manejo y almacenamiento requeridas (tipo de contenedor, período de almacenamiento, rango de temperaturas aceptables, circulación de aire, entre otras.)
- e. Informe que indique en detalle todos los componentes del estabilizador, sin indicar necesariamente los porcentajes. En este informe se debe declarar si el aditivo posee o no aditivos de tipo cementante (cemento, cal, Cement Kiln Dust, o cualquiera que produzca reacciones puzolánicas)
- f. Informe que explique técnicamente el mecanismo de estabilización con el cual se logra la mejora del material, indicando además las propiedades que es capaz de modificar/mejorar en el material granular tratado (reducción de permeabilidad; control de expansión; repelente de agua; aumento de resistencia, etc). El informe debe indicar por ejemplo si la estabilización se logra a través de intercambio catiónico, reacciones puzolánicas, entre otros. El informe debe indicar además como se abordan posibles restricciones relacionados a la efectividad del mecanismo de estabilización, como por ejemplo cuando hay presencia de sulfatos o de materiales orgánicos que pudiesen afectar el normal desarrollo del proceso de estabilización.
- g. Informe que indique el mecanismo de dilución, además de los insumos y características necesarias.
- h. Informe que indique los detalles del procedimiento de diseño de mezcla, es decir, de todo el proceso que es necesario llevar a cabo para establecer el contenido óptimo de aditivo en un material en particular.

- i. Informe que indique el procedimiento de construcción que se debe llevar a cabo, indicando equipos, metodología de mezclado y homogenización, técnicas de curado (de requerirse), características proceso de compactación, entre otras. El informe debe estar complementado por una EETT que pueda ser entregada a una empresa constructora para llevar a cabo los trabajos sin contratiempos.
- j. Documento referencial con antecedentes de proyectos ya realizados con este aditivo.

CAPITULO 3.4.7.

REFERENCIAS

- 1) USDA, 2009. Stabilization Selection Guide for Aggregate and Native Surfaced Low Volume Roads.
- 2) New Procedure for Selecting Chemical Treatments for Unpaved Roads. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2433, Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C., 2014, pp. 87–99.
- 3) Halles F, Thenoux G y González A, 2013. Stiffness Evolution of Granular Materials Stabilized with Foamed Bitumen and Cement. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, N° Vol. 2363, Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C. pp. 105-112
- 4) Theyse H.L, De Berr M. and Rust F.C, 1996. Overview of South African Mechanistic Pavement Design Method. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, N° 1539, Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C.
- 5) Little D, 1995. Stabilization of Pavement Subgrades and Base Courses with Lime.
- 6) Asphalt Academy, 2009. TG2 - Technical Guideline: Bitumen Stabilised Materials. A Guideline for the Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen Stabilised Materials.
- 7) Texas DOT, 2005. Guidelines for Modifications and Stabilization of Soils and Base for Use in Pavement Structures.
- 8) FHWA, 1979. Soil Stabilization in Pavement Structures, A User's Manual.
- 9) Paige-Green P., 2015. An Alternative Philosophy on the Deterioration and Design of Low Volumen Roads.
- 10) Asociación Nacional Técnica de Estabilización de Suelos y Reciclado de Firmes, 2008. Manual de Estabilización de Suelos con Cemento o Cal.
- 11) Portland Cement Association, 2008. Guide to Cement Modified Soils
- 12) TRB, 2005. Evaluation of Chemical Stabilizers. State of the Practice Report. Circular E-C086
- 13) National Lime Association, 2004. Lime-Treated Soil Construction Manual. Lime Stabilization & Lime Modification
- 14) TRB, 2009. NCHRP 144: Recommended Practice for Stabilization of Subgrade Soils and Base Materials. NCHRP Project 20-07.

CAPITULO 3.4.8.

ANEXOS

- Anexo A.** Métodos, Normas y Ensayos para suelos, materiales granulares y materiales estabilizados
- Anexo B.** Antecedentes Aditivos Tradicionales
- Anexo C.** Antecedentes Aditivos No-Tradicionales
- Anexo D.** Metodología Análisis Estructural y Definición Espesores Mínimos Estructura

ANEXO A. MÉTODOS, NORMAS Y ENSAYOS PARA SUELOS, MATERIALES GRANULARES Y MATERIALES ESTABILIZADOS

En este Anexo se presentan los ensayos y normas a llevar a cabo según el objetivo que se busca alcanzar.

Ensayo	Norma 1	Norma 2	Propósito / Objetivo
Granulometría	AASHTO T88	ASTM D422	Determinar propiedades de los materiales granulares. Se utilizan para clasificación de los materiales
Límite Líquido	AASHTO T89		
Límite Plástico e Índice de Plasticidad	AASHTO T90	ASTM D4318	
Clasificación de Suelos (USCS)		ASTM D2487-98	
Densidad - Proctor Modificado	AASHTO T180	ASTM D 1557	Determinar densidad máxima de los materiales
CBR (California Bearing Ratio)	AASHTO T193	ASTM 1883	Determinar capacidad de soporte
Resistencia a la Compresión Simple (Cemento)	AASHTO T208	ASTM D1633	Determinar resistencia de los materiales estabilizados con Cemento
Resistencia a la Compresión Simple (Cal)		ASTM D5102	Determinar resistencia de los materiales estabilizados con Cal
Resistencia a la Tracción Indirecta	AASHTO T322		Determinar resistencia materiales estabilizados con asfalto
Módulo Resiliente	AASHTO T292 AASHTO T307		Determinar resistencia de los materiales granulares
Resistencia a la flexión		ASTM D1635	Determinar resistencia materiales cementados
Contenido Orgánico	AASHTO T194		Determinar componentes orgánicos en suelos
Valor de pH		ASTM D4972	Determinación del pH de los suelos
Retracción Potencial	AASHTO T92	ASTM D559	Determinar coeficiente de retracción de los materiales
Expansión Potencial	AASHTO T258		Determinar coeficiente de expansión de suelos
Contenido e Sulfatos	AASHTO T290		Determinar contenido de sulfatos en suelos

ANEXO B. ANTECEDENTES ADITIVOS TRADICIONALES

Los aditivos considerados tradicionales son Asfalto, Cemento y Cal. El mecanismo de estabilización que provee el Asfalto es relativamente simple y se basa directamente en las propiedades adhesivas que este provee. Existen ciertas restricciones asociadas al tipo de material granular y en general no se recomienda su uso cuando los materiales finos son muy plásticos.

En el caso del Cemento y la Cal, el mecanismo de estabilización se basa en el intercambio catiónico y las reacciones puzolánicas. El intercambio catiónico está asociado a una disminución de la plasticidad de los suelos, mientras que la reacción puzolánica es la responsable del aumento significativo de resistencia. La ocurrencia de uno o ambos sucesos depende de la presencia de ciertos componentes tanto en el aditivo como en los materiales a estabilizar. En este último caso existen además una serie de restricciones que han sido estudiadas en detalle y que están asociadas a la presencia de sulfatos, componentes orgánicos, sales, entre otros.

En algunos casos, el objetivo de la incorporación de aditivos corresponde solo a la “modificación” de ciertas propiedades, a diferencia de los casos en que lo que se busca es la estabilización de ciertas propiedades en el largo plazo. Ambas se diferencian en la cantidad de aditivo a utilizar.

Notas importantes Curado y Acondicionamiento de Probetas.

- a. Curado de probetas: Dado que la adquisición de resistencia de las mezclas estabilizadas con Cal en general se logra en el mediano o largo plazo, es necesario que el procedimiento de curado y acondicionamiento de las mezclas sea realizado correctamente. Para el caso de las mezclas estabilizadas con Cal, la norma recomienda que el proceso de curado (acelerado) se realice colocando las probetas en un horno a 40 °C por 7 días (ASTM D5102)
- b. Acondicionamiento de probetas: La resistencia de las probetas estabilizadas varía de forma significativa según el contenido de humedad de estas al momento del ensayo. Por lo tanto para efecto de evaluar correctamente el aporte de la Cal el contenido de humedad durante el ensayo debe ser equivalente en las probetas no tratadas y en las probetas estabilizadas.

A continuación se discute brevemente los principales aspectos de los procesos de estabilización con cada uno de estos tres aditivos y se presenta el protocolo de evaluación a nivel de laboratorio.

- **ESTABILIZACION CON CAL**

El tratamiento con cal de suelos arcillosos ayuda a reducir la plasticidad (permitiendo que el suelo sea más trabajable), aumentar la densidad, controlar hinchamiento y mejorar impermeabilidad otorgando mayor estabilidad bajo agua. La estabilización con Cal en general no permite la obtención de valores altos de resistencia inicial, sin embargo permite que esta mejore en el largo plazo, pudiendo transformar un suelo de baja resistencia en un suelo con capacidad de soporte suficiente para ser utilizado como suelo de fundación y en algunos casos como capa estructural (dependiendo del tipo de material granular, clima, entre otros factores importantes). En general la Cal no se utiliza para estabilizar capas de material que estarán expuestas al tránsito, debido a la baja capacidad de resistencia a la abrasión que poseen.

El primer paso del proceso de Estabilización con Cal, corresponde al denominado Intercambio Catiónico y posterior aglomeración de las partículas de la arcilla. Básicamente lo que sucede es que las moléculas de calcio reemplazan a las moléculas de sodio (Na) presentes en la arcilla. Este intercambio favorece la pérdida de humedad y la reestructuración de las moléculas de la arcilla logrando una nueva arcilla con menor plasticidad, lo cual en sí ya significa un aumento de densidad y resistencia. Posterior a este proceso se produce la denominada Reacción Puzolánica. El calcio al entrar en contacto con las arcillas, que poseen sílice y/o aluminio, producen los componentes denominados Silicatos de Calcio y Aluminatos de Calcio, los cuales son los responsables de la generación de componentes cementantes. Este proceso puede tomar meses en materializarse, razón por la cual la evaluación de los materiales tratados con Cal debe ser adecuadamente analizado.

Para efectos de garantizar que la estabilización de largo efectivamente se produzca, se debe realizar un ensayo denominado “Consumo Inicial de Cal”, el cual establece el contenido mínimo del aditivo a utilizar si lo que quiere lograrse es el aumento permanente de la resistencia en el tiempo.

Respecto a las restricciones en el uso de la Cal, la presencia de Sulfatos o Materia Orgánica en los materiales a tratar o en el agua que se utiliza en el proceso de mezcla, puede producir efectos negativos tales como la expansión de los materiales tratados o la pérdida de resistencia en el tiempo.

PROTOCOLO DETALLADO PARA EVALUACION MEZCLAS ESTABILIZADAS CON CAL

Previo a la realización de estas actividades, se requiere llevar a cabo los Pasos 1, 2 y 3 del Protocolo de Evaluación de Aditivos Tradicionales.

Actividad 1: Definir el contenido mínimo de Cal, utilizando el ensayo de Consumo Inicial de Cal (ICL) (Eades and Grimm pH test) especificado en la norma ASTM D6276. Usar el contenido de cal definido en este ensayo para iniciar los ensayos de Resistencia en Laboratorio.

Actividad 2: Chequear el contenido de sulfatos en los suelos/materiales a estabilizar utilizando ensayo de la norma AASHTO T290. Si contenido de sulfatos es menor que 0,3% (3000 ppm) entonces se puede proceder normalmente con los ensayos de laboratorio de resistencia o trabajabilidad. Si el contenido es mayor que 0,3%, entonces se deben realizar una serie de acciones previas, las cuales se detallan en documento “Report to Support the Development of Stabilizing of Sulfate Rich Subgrade Soils and To Support the Revision of AASHTO Test Method T290”.

Actividad 3: Chequear presencia de suelos con componentes orgánicos a través del método ASTM D2974. En todos los casos se recomienda que los suelos a estabilizar no posean más de 1 a 2% de componentes orgánicos. En caso de que esto suceda se recomienda reemplazar el material por otro compatible.

Una vez realizados estos chequeos, continuar con protocolo de evaluación de aditivos tradicionales: Pasos 4, 5 y 6; preparación y ensayos de probetas en laboratorio, y chequeo de propiedades de los materiales tratados.

- **ESTABILIZACION CON CEMENTO**

La incorporación de cemento a los materiales granulares ayuda a aumentar la resistencia, controlar el hinchamiento potencial, e incrementar la durabilidad de los materiales tratados. El proceso de adquisición de resistencia es similar al que se produce en la reacción puzolánica, pero ocurre rápidamente y los materiales tratados ya adquieren resistencia a las pocas horas de incorporado el aditivo.

Salvo casos puntuales, la estabilización con Cemento no se utiliza para estabilizar capas de material que estarán expuestas al tránsito, debido a la baja capacidad de resistencia a la abrasión que poseen.

Esta guía está enfocada a la estabilización con cemento, es decir, al mejoramiento de las propiedades del material granular/suelo estabilizado, lo que es distinto a un suelo cementado. La diferencia radica en el contenido de cemento a incorporar, el cual se recomienda no supere el 3% en función del peso seco del material a estabilizar. Los materiales “cementados” usan contenidos en el rango de 5 a 7%. Estos último transforman al material granular/suelo en un material muy rígido y con otros problemas tales como las grietas por retracción.

El proceso de curado de los materiales estabilizados con cemento debe realizarse cuidadosamente y se debe garantizar que la capa tratada se mantenga húmeda al menos durante los primeros 7 días luego del proceso de construcción.

Al igual que en la estabilización con Cal, especial cuidado debe tenerse cuando se está en presencia de materiales con sulfatos o componentes orgánicos. En estos casos se deben llevar a cabo los mismos protocolos de control que los indicados para la estabilización con Cal.

Asimismo, al igual que en la estabilización con Cal, para la correcta evaluación del aporte que produce el cemento el proceso de curado y acondicionamiento de las probetas debe ser correctamente llevado a cabo.

PROTOCOLO DETALLADO PARA EVALUACION MEZCLAS ESTABILIZADAS CON CEMENTO

Previo a la realización de estas actividades, se requiere llevar a cabo los Pasos 1, 2 y 3 del Protocolo de Evaluación de Aditivos Tradicionales.

Actividad 1: Chequear el contenido de sulfatos en los suelos/materiales a estabilizar utilizando ensayo de la norma AASHTO T290. Si contenido de sulfatos es menor que 0,3% (3000 ppm) entonces se puede proceder normalmente con los ensayos de laboratorio de resistencia o trabajabilidad. Si el contenido es mayor que 0,3%, entonces se deben realizar una serie de acciones previas, las cuales se detallan en documento “Report to Support the Development of Stabilizing of Sulfate Rich Subgrade Soils and To Support the Revision of AASHTO Test Method T290”.

Actividad 2: Chequear presencia de suelos con componentes orgánicos a través del método ASTM D2974. En todos los casos se recomienda que los suelos a estabilizar no posean más de 1 a 2% de componentes orgánicos. En caso de que esto suceda se recomienda reemplazar el material por otro compatible.

Actividad 3: Chequear presencia de suelos con componentes orgánicos a través del método ASTM D2974. En todos los casos se recomienda que los suelos a estabilizar no posean más de 1 a 2% de componentes orgánicos. En caso de que esto suceda se recomienda reemplazar el material por otro compatible.

Una vez realizados estos chequeos, continuar con Protocolo de Evaluación de Aditivos Tradicionales: Pasos 4, 5 y 6; preparación y ensayos de probetas en laboratorio, y chequeo de propiedades de los materiales tratados.

- **ESTABILIZACION CON ASFALTO**

Las propiedades adhesivas del asfalto permiten mejorar la impermeabilización de los materiales tratados, aumentando además la resistencia de estos. La estabilización con asfalto se puede realizar a través de dos técnicas: Asfalto Espumado o Emulsión Asfáltica.

En esta guía se permite la utilización de asfalto en materiales/suelos con $IP < 6$; y en general no es recomendado para solucionar problemas asociados a altos contenidos de humedad y plasticidad. No obstante lo anterior, cuando se está en presencia de un material con $IP > 6$, es posible modificarlos a través de la incorporación de Cal, hasta lograr los niveles de plasticidad exigidos.

Por otro lado, aunque en esta guía se permite la utilización de asfalto en suelos con altos contenidos de finos, normalmente este aditivo es utilizado en arenas y suelos bien graduados con bajos contenidos de finos (menos de 20% de finos pasante en malla #200).

Los valores de contenido de asfalto para el proceso de estabilización, pueden variar entre 2 y 6% en relación al peso seco del material tratado. Para los ensayos de laboratorio, en el caso de utilizar emulsión asfáltica, se recomienda utilizar contenidos iniciales entre 3 y 4%. En el caso de utilizar asfalto en forma de espuma (asfalto espumado), se recomienda utilizar contenidos iniciales entre 2 y 3%.

ANEXO C. ANTECEDENTES ADITIVOS NO-TRADICIONALES

En esta sección se presentan antecedentes disponibles respecto a las distintas familias de Aditivos No-Tradicionales:

- Higroscópicos (Absorbentes de Humedad)
- Aditivos arcillosos
- Productos orgánicos derivados del petróleo
- Productos orgánicos (No derivados del petróleo)
- Emulsiones Electrolíticas
- Emulsiones de Polímeros Sintéticos
- Emulsiones Enzimáticas
- Nanopartículas

Para cada uno de estos aditivos a continuación se presenta información general de cada uno de ellos, junto a antecedentes referentes al Mecanismo de Estabilización, Dosis, Aplicación, Desempeño Esperado y Restricciones.

- **C-1. Aditivos Higroscópicos**

A. Información General

Llamados también “sales”, a este grupo pertenecen los aditivos del Tipo Cloruro de Sodio, Cloruro de Magnesio, Cloruro de Sodio. Se utilizan tanto para la mitigación de polvo como para estabilización. En ambos casos su uso aplicación se realiza en la carpeta de rodado de la estructura del camino.

Entre los nombres comerciales más comunes, se encuentran: DowFlake, RoadMaster, Dust-Off, Bischofita, RoadSalt, etc.

B. Mecanismo de Estabilización

La principal propiedad de estos aditivos es su capacidad de absorber humedad del medio ambiente (higroscopicidad) junto a la capacidad que tienen de disminuir la tasa de evaporación (Delicuescencia). La incorporación de este aditivo a la matriz granular permite que estos se mantengan “aglomerados” gracias a la presencia de moléculas de agua en la matriz. La incorporación de estos aditivos no aumenta significativamente la capacidad de soporte de los materiales, sin embargo mejora la trabajabilidad y permite el aumento de la densidad, lo cual si permite mejorar el desempeño de los materiales durante su vida útil.

Al no aumentar la resistencia o capacidad de soporte de los materiales, es condición necesaria que los materiales no-tratados por si solos cumplan con los requerimientos de capacidad de soporte definidos para la estructura del camino. Además se debe restringir el máximo porcentaje de finos a valores del orden de 15% para garantizar una adecuada textura en la carpeta de rodado,

La capacidad higroscópica de estos aditivos es distinta según el tipo de aditivo, lo cual afecta el desempeño de estos según las condiciones medioambientales. En particular mientras el Cloruro de Sodio tiene una humedad de equilibrio del orden de 78%, el Cloruro de Calcio tiene una humedad de equilibrio en el rango de 30 a 35%. Este punto de equilibrio define el tango en el cual el aditivo comienza a absorber humedad del medio ambiente, además de la tasa de absorción.

La dosis para estabilización que se utilizan están en el rango de 3 a 5% de aditivo (en peso del producto sin diluir) en función del peso del material granular compactado seco. La dosis a utilizar depende de una serie de variables entre las que destacan la humedad medioambiente del lugar donde se emplaza el proyecto (rango y promedio), además del contenido de finos y su plasticidad. En general se recomienda que los materiales a tratar posean un índice de plasticidad menor a 10 e incluso menor cuando las condiciones de operación del camino son más exigentes (presencia de curvas, velocidad de tránsito alta, entre otros)

No se recomienda su uso en sectores donde la geometría del proyecto es muy sinuosa ni en zonas con altas pendientes, salvo condiciones muy particulares en la que un estudio de ingeniería valide objetivamente su forma de uso, dosificación y restricciones.

C. Desempeño

El desempeño de estas soluciones dependerá del tráfico, las condiciones medioambientales y las propiedades del material a estabilizar. Estos aditivos son muy solubles en agua, por lo tanto

la lluvia aumenta significativamente la tasa de deterioro de estos. No obstante, aplicaciones superficiales de este mismo aditivo en forma de sello, permiten recuperar de forma rápida y efectiva el desempeño de la capa estabilizada.

El uso de estos aditivos como estabilización puede garantizar un buen desempeño en el rango de 1 año, con mantenimiento rutinario mínimo, siempre y cuando se cumplan las consideraciones aquí indicadas.

En caso que los materiales tratados sean predominantemente finos y la superficie de la capa tratada posea una baja textura, podrían generarse condiciones de resbalamiento en presencia de humedad. Por lo tanto, en el proceso de diseño de la mezcla se debe procurar lograr una granulometría que garantice una textura superficial con un coeficiente de roce mínimo para los vehículos.

- **C-2. Aditivos Arcillosos**

A. Información General

A este grupo pertenecen los siguientes aditivos: Arcilla; Bentonita; Montmorilonita. Estos aditivos corresponden a suelos naturales compuestos por minerales de arcilla, principalmente Montmorilonita.

Entre los nombres comerciales más comunes, se encuentran: Pelbron; Stabilite; VolClay. (Nombres comerciales en EEUU)

B. Mecanismo de Estabilización

La principal propiedad de estos aditivos es la cohesión, lo cual permite aglomerar naturalmente a los materiales granulares que carecen de esta propiedad. Este aditivo se adhiere a las partículas de la matriz fina del material a tratar, generando una matriz cohesiva que es capaz de mantener aglomerados los materiales granulares. Estos aditivos además tienen una alta afinidad con el agua, razón por la cual el exceso de dosis producirá problemas de estabilidad por la alta presencia de humedad.

Las dosis de estabilización que se utilizan están en el rango de 3 a 10% de aditivo (en peso del producto) en función del peso del material granular compactado seco. La dosis a utilizar depende de una serie de variables entre las que destacan la humedad medioambiente del lugar donde se emplaza el proyecto (rango y promedio), además del contenido de finos del material a tratar.

La efectividad de estos aditivos se ve afectada por la mineralogía de los materiales a tratar. Mientras que la Montmorillonita, la cual posee carga negativa, se adherirá correctamente a los materiales provenientes de piedra caliza, será repelida por los agregados ígneos que también poseen carga negativa.

C. Desempeño

La incorporación de estos aditivos no produce un aumento significativo de resistencia salvo cuando las condiciones del entorno son secas, ya que en ese ambiente el material pierde humedad y al contraerse permite el aumento de la cohesión en la matriz. Este aumento de resistencia es relativo y desaparece rápidamente cuando las condiciones de humedad vuelven a la normalidad.

La incorporación de estos aditivos permite mejorar la resistencia a la abrasión, no obstante es un mejoramiento marginal que no elimina la necesidad de mantener periódicamente la superficie. Asimismo, en caso la superficie quede expuesta al tránsito, en condiciones secas el tránsito igualmente generará emisiones de polvo lo cual se puede minimizar a través de la utilización de un aditivo supresor de polvo.

La vida útil de estas capas estabilizadas dependerá directamente de las propiedades y capacidad de soporte del material granular a tratar, la cual quedará supeditada al tipo y volumen de tránsito del proyecto.

- **C-3. Productos Orgánicos Derivados del Petróleo**

A. Información General

A este grupo pertenecen los siguientes aditivos: emulsiones asfálticas; adhesivos bituminosos; asfaltos cortados (en retirada debido a su impacto medioambiental); entre otros.

Entre los nombres comerciales más comunes, se encuentran: CSS-1; Fuel Oil; PennSuppress; Road Pro.

B. Mecanismo de Estabilización

Estos aditivos poseen por sí mismos propiedades adherentes. La incorporación de estos aditivos al material granular permite que las partículas que componen la matriz se adhieran entre sí, mejorando la resistencia y disminuyendo la afinidad al agua. La capacidad de adherencia de estos aditivos es de origen, es decir, no depende de otros materiales o procesos químicos, lo cual garantiza que las propiedades adherentes del aditivo se mantengan estables en el tiempo.

Estos aditivos funcionan muy bien con una gran cantidad de materiales granulares y suelos, en particular con un porcentaje de finos menor a 25% y con índices de plasticidad menor a 10. Las dosis utilizadas son muy amplias y dependen de las propiedades específicas del material granular a tratar.

C. Desempeño

El desempeño de los materiales tratados con estos aditivos es variable y dependerá no solo del tipo de aditivo utilizado sino también de las propiedades de los materiales a ser tratados y de las condiciones de operación del proyecto.

La incorporación de estos aditivos mejora sustancialmente la resistencia y vida útil de los materiales tratados, la cual puede superar los 5 años considerando mantenimiento periódico del tramo tratado. En general se considera que la incorporación de estos aditivos permite la reducción de la pérdida de agregado en un 50%.

- **C-4. Productos Orgánicos (No derivados del petróleo)**

A. Información General

A este grupo pertenecen los aditivos derivados de plantas y árboles que incluyen productos en base de glicerina, lignosulfonatos, productos basados en melaza y azúcar, aceites vegetales (soja, linaza o aceite de palma) y resinas de brea. Todos estos componentes poseen propiedades adhesivas propias, que no dependen de reacciones químicas adicionales.

Entre los nombres comerciales más comunes, se encuentran: Dustac; Polybinder; Dustbinder; TerraPave, entre otros.

B. Mecanismo de Estabilización

Los componentes de estos aditivos poseen propiedades adhesivas naturales que permiten la aglomeración de los materiales granulares y suelos cuando son mezclados con estos. En el caso de los Lignosulfonatos, estos tienen además propiedades higroscópicas que permiten los materiales tratados permanezcan húmedos y de esta forma aglomerados debido a la presencia de moléculas de agua.

Pueden ser utilizados con una amplia variedad de suelos, con contenidos de finos entre 8 y 30%, y con índices de plasticidad entre 8 y 20. Estos aditivos no funcionan correctamente en materiales arenosos, ya que los suelos permeables favorecen la dilución de estos componentes en presencia de agua.

C. Desempeño

El desempeño de los materiales tratados con estos aditivos es muy variable, dependiendo de las propiedades de los materiales no-tratados y de las condiciones de operación (tránsito y clima). La resistencia de los suelos tratados con estos aditivos puede llegar a duplicarse en estado seco, pero en condiciones de humedad, puede darse el caso en que el aumento de resistencia sea nula.

En general la vida útil de las capas tratadas con estos aditivos es menor a 3 años, considerando un plan adecuado de mantenimiento que debe incluir aplicaciones periódicas de riegos de conservación en la superficie utilizando una solución con aditivos.

En caso que los materiales tratados sean predominantemente finos y la superficie de la capa tratada posea una baja textura, podrían generarse condiciones de resbalamiento en presencia de humedad. Por lo tanto, en el proceso de diseño de la mezcla se debe procurar lograr una granulometría que garantice una textura superficial con un coeficiente de roce mínimo para los vehículos.

- **C-5. Emulsiones Electrolíticas**

A. Información General

A este grupo pertenecen los siguientes aditivos y sus derivados: Estabilizadores Electrolíticos; Estabilizadores Iónicos; Estabilizadores Electroquímicos.

Entre los nombres comerciales más comunes, se encuentran: CBR Plus; Road Bond EN-1; Terra-bond; TerraStone.

B. Mecanismo de Estabilización

Las emulsiones electrolíticas contienen compuestos químicos que modifican las propiedades electroquímicas de la superficie de las moléculas de los suelos. Esta modificación permite que los materiales tengan una carga eléctrica específica y en general se utilizan para que las moléculas de agua que están dentro de la estructura del suelo sean reemplazadas por otras moléculas, lo cual permite que el suelo tratado pierda su afinidad por el agua.

Muchas de las emulsiones electrolíticas son patentadas y de propiedad exclusiva, por lo que la composición exacta de estos aditivos junto al mecanismo de estabilización no es información que está disponibles públicamente y de esta forma resulta difícil agrupar o clasificar las diversas emulsiones con precisión.

No obstante lo anterior, en términos generales estos aditivos son utilizados en suelos con mínimo 10% de material fino y un índice de plasticidad mínimo de 10.

C. Desempeño

Altas dosis de estos compuestos en materiales específicos, permiten la obtención de una capa de material de mediana resistencia que en ciertas condiciones puede utilizarse como capa superficial de un camino. De acuerdo a la literatura, en general permiten aumentar la resistencia entre un 30% y 50% respecto del material no-tratado (en función del parámetro CBR). Asimismo, correctamente utilizados, permiten que la vida útil pueda llegar a ser de 3 años, considerando mantenimiento rutinario cada 6 meses.

No obstante, el rendimiento y la aplicabilidad de las emulsiones electrolíticas, además de las propiedades y desempeño de los materiales tratados, puede variar de un producto a otro. Además, los productos son frecuentemente reformulados y por lo tanto es posible que los estudios de casos específicos ya no sean representativos de un producto actual. De esta forma, se recomienda que la selección de una emulsión electrolítica sea siempre acompañada de pruebas específicas para cada uno de los materiales utilizados.

- **C-6. Emulsiones de Polímeros Sintéticos**

A. Información General

A este grupo pertenecen los siguientes aditivos: Acrilatos (homopolímeros y copolímeros); acetatos (homopolímeros y copolímeros) y vinil acrílico.

Las emulsiones de polímeros sintéticos están compuestas principalmente de polímeros de acrílico o de acetato, que son especialmente diseñados y producidos para su uso como estabilizador de suelos y materiales granulares. Estos aditivos también son obtenidos como subproductos de las industrias de pinturas y adhesivos.

Entre los nombres comerciales más comunes, se encuentran: SoilSement, Terrabond, Earthbound, Polypavement, PX-300

B. Mecanismo de Estabilización

Los polímeros que son parte de la estructura molecular de estos aditivos provocan que luego de la mezcla de estos con el material no-tratado, se forme un enlace químico entre las partículas del suelo y las partículas del aditivo, creando un material denso y resistente a la humedad.

En general, las emulsiones poliméricas se pueden usar en la mayoría de los suelos. Sin embargo, ciertos aditivos son más efectivos que otros el tipo específico de material. De acuerdo a la literatura, estos aditivos pueden utilizarse en muchos tipos de materiales incluyendo las arenas, las arcillas y los limos, y en general funcionan mejor en arenas limosas con contenidos de finos entre 5 y 20%.

C. Desempeño

La incorporación de estos aditivos a materiales granulares y suelos permite aumentar la resistencia de estos hasta un 200%. La resistencia, en términos del ensayo de compresión simple, de suelos tratados con estos aditivos puede llegar a rangos entre 50 y 150 Kg/cm².

De acuerdo a la experiencia disponible, una estructura de un camino correctamente diseñada y mantenida, que posea una capa de rodado con material estabilizado con estos aditivos puede tener una vida útil superior a 5 años. Asimismo se indica que, correctamente diseñados, este tipo de materiales estabilizados forma una capa resistente a la abrasión y que es capaz de proveer una textura que no se ve significativamente afectada en presencia de lluvia y que por lo tanto es capaz de mantener una adecuada resistencia al deslizamiento.

- **C-7. Emulsiones Enzimáticas**

A. Información General

A este grupo pertenecen los aditivos del tipo Emulsiones Enzimáticas y las Enzimas. Estos aditivos se producen a partir de materiales naturales o a partir de subproductos de la industria de procesamiento de alimentos.

Entre los nombres comerciales más comunes, se encuentran: Perma-Zyme; Terrazyme; EMC Squared, entre otros.

B. Mecanismo de Estabilización

Las emulsiones enzimáticas contienen enzimas (moléculas de proteínas) que reaccionan con las moléculas del suelo para formar un enlace cementante, el cual estabiliza la estructura del suelo y reduce la afinidad de estos por el agua.

Las emulsiones enzimáticas funcionan en una variedad de suelos siempre y cuando haya una cantidad mínima de partículas de arcilla. La literatura disponible indica que el contenido mínimo de partículas de arcilla debe ser 10% y el índice de plasticidad de estas debe ser de mínimo 8. Asimismo se indica que estos aditivos funcionan mejor en materiales con porcentajes de arcilla entre 12% - 24% y con un índice de plasticidad entre 8 y 35.

C. Desempeño

La incorporación de estos aditivos a materiales granulares y suelos permite aumentar la resistencia de estos entre un 30% y 300%.

Siempre y cuando los materiales no tratados cumplan con requerimientos mínimos de resistencia y composición, la incorporación de estos aditivos permite lograr una capa de rodado resistente que puede utilizarse como carpeta de rodado.

De acuerdo a la experiencia disponible, se indica que una estructura de un camino correctamente diseñada y mantenida, que posea una capa de rodado con material estabilizado con estos aditivos puede tener una vida útil de hasta 5 años. Durante el período de mantenimiento es posible que se requiera aplicar riegos de una solución con estos aditivos para rejuvenecer la superficie.

- **C-8. Nanopartículas**

A. Información General

Los aditivos con compuestos nanotecnológicos, tienen partículas inferiores a los 100 nanómetros y por lo general pertenecen a la familia de los Acrilatos y los Silanos.

Este tipo de aditivos iónicos, trabaja a nivel molecular de la partícula de suelo, generando cambios en la superficie y concediéndoles propiedades hidrófobas en forma permanente. Este tipo de aditivos mantiene la transpirabilidad del material tratado y mejora la adherencia con materiales bituminosos.

Estos aditivos al contener sílice en su composición, pueden ser aplicados en cualquier tipo de suelos, utilizando dosajes previamente comprobados en laboratorio que van de 0.3 a 1.5 kg/m³ de suelo compactado.

Los aditivos con nanopartículas estabilizadores de suelos más comunes, son los Organosilanos y los Nanocopolimeros, que se encuentran en el mercado con el nombre comercial de Terrasil y Zycobond.

B. Mecanismo de Estabilización

Los nanomateriales estabilizadores de suelos, trabajan sobre la superficie de las partículas del suelo, uniéndose a los radicales libres de hidrogeno de la superficie, impidiendo que las moléculas de agua sean absorbidas por el suelo generando un alto grado de impermeabilización de la misma. Esta impermeabilización impide la absorción de agua disminuyendo la susceptibilidad del mismo y reduciendo los índices de hinchamiento y absorción en los suelos.

Los cambios químicos sobre las superficies permiten una mayor densificación del suelo, aumentando los parámetros de resistencia o capacidad portante de los suelos tratados.

Las uniones generadas por los nanomateriales de la familia de los Silanos, son flexibles y otorgan resiliencia al material estabilizado; así mismo el uso de nanomateriales acrílicos, permite controlar la emisión de polvo del material tratado, actuando como un aglomerante de las partículas finas.

Con los nanomateriales se pueden realizar estabilizaciones mixtas, incorporando cantidades mínimas de cemento (1% al 3%), si las exigencias de resistencia lo ameritan.

C. Desempeño

Los nanomateriales permiten aumentar la capacidad portante de los suelos tratados en un 200% a su capacidad portante inicial. La cantidad de aditivos a colocar dependerá de los parámetros de resistencia que se requieran en las especificaciones técnicas.

Las estructuras de un camino correctamente diseñado con nanomateriales, es siempre más económica y duradera en el tiempo que las estructuras convencionales, ya que las estructuras que se estabilizan con esta tecnología quedan protegidas de las afectaciones climáticas.

Para poder tener un buen desempeño de un suelo estabilizado, tanto en laboratorio como en campo, se deben seguir los protocolos señalados por el fabricante de esta tecnología.

De acuerdo a la experiencia disponible, una estructura de un camino correctamente diseñada y mantenida, que posea una capa de rodado con material estabilizado con estos aditivos puede tener una vida útil superior a 5 años. Asimismo se indica que, correctamente diseñados, este tipo de materiales estabilizados forma una capa resistente a la abrasión y que es capaz de proveer una textura que no se ve significativamente afectada en presencia de lluvia y que por lo tanto es capaz de mantener una adecuada rugosidad para la circulación de los vehículos. Así mismo la capa de rodamiento tratada con estos materiales presenta una disminución sustancial de la emisión de polvo en temporada seca, mejorando la visibilidad del camino y mejorando las condiciones de salubridad de la poblaciones vecinas.

ANEXO D. METODOLOGÍA ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y DEFINICIÓN ESPESORES MÍNIMOS

El siguiente documento define el procedimiento que debe llevarse a cabo para el dimensionamiento referencial de caminos de Bajo Volumen de Tránsito con capas estabilizadas. Este procedimiento se apoya en una planilla Excel que posee una rutina computacional que permite definir los espesores mínimos recomendados para cada una de las capas de la estructura en función de las características del tráfico, la capacidad de soporte representativa de la subrasante y la resistencia de los materiales de la estructura.

En la planilla, los campos que se deben completar tienen fondo naranja, tal como se muestra en la siguiente figura 3.4_14.



Figura 3.4_14. Casillas de Ingreso de Datos

Ingreso de Datos del Proyecto

El primer paso consiste en completar los datos referenciales del proyecto según se muestra en la siguiente Figura 3.4_15.

DATOS DEL PROYECTO			
PROYECTO	Camino BVT Prueba	NOMBRE	Ingeniero I
FECHA	17-04-2017		

Figura 3.4_15. Datos del Proyecto

Caracterización de la Situación Local

En esta sección se debe ingresar el Nivel de Carga representativo de los camiones pesados, utilizando el parámetro de carga por rueda en KN, además de ingresar el valor de soporte representativo de la subrasante utilizando el parámetro CBR.

CARACTERIZACIÓN DE LA SITUACIÓN LOCAL			
Carga por Rueda	32,0	KN	INGRESO DE DATOS
CBR Subrasante	3,0	%	

Figura 3.4_16. Carga de Tránsito Representativa y Capacidad de Soporte Subrasante

El espectro cargas está pre-configurado en la planilla, según se muestra en la siguiente Tabla.

Tabla 3.4_3. Cargas Pre-Configuradas.

Carga (KN)	Valor equivalente (Ton)
20	2,0
27	2,7
35	3,5

Ingreso de la Estructura de Pavimentos

En esta sección, se debe ingresar el espesor inicial y la capacidad de soporte de los materiales de cada una de las capas de la estructura.

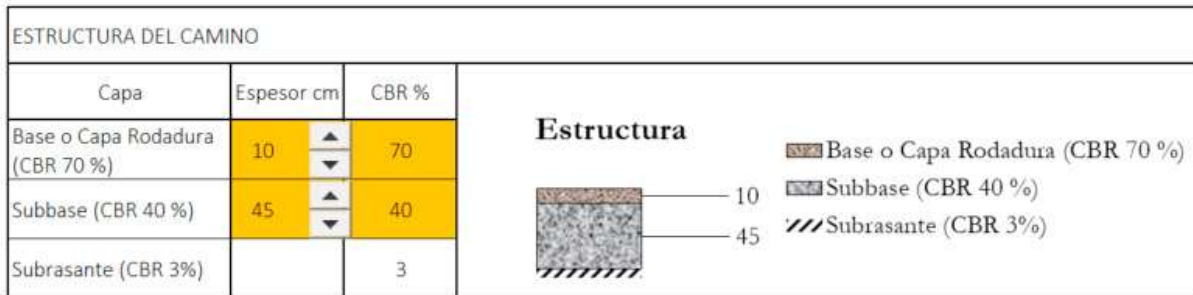
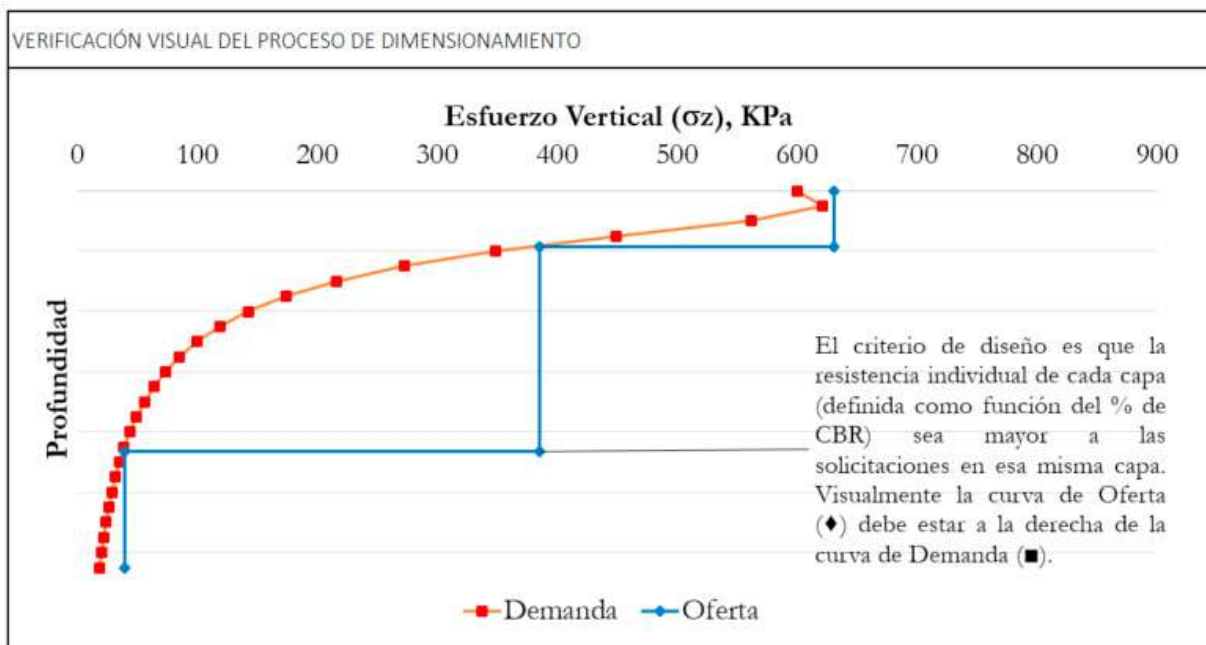


Figura 3.4_17. Definición de la Estructura de Pavimento. (a, b) Definidos por materiales disponibles localmente.

Definición de los espesores

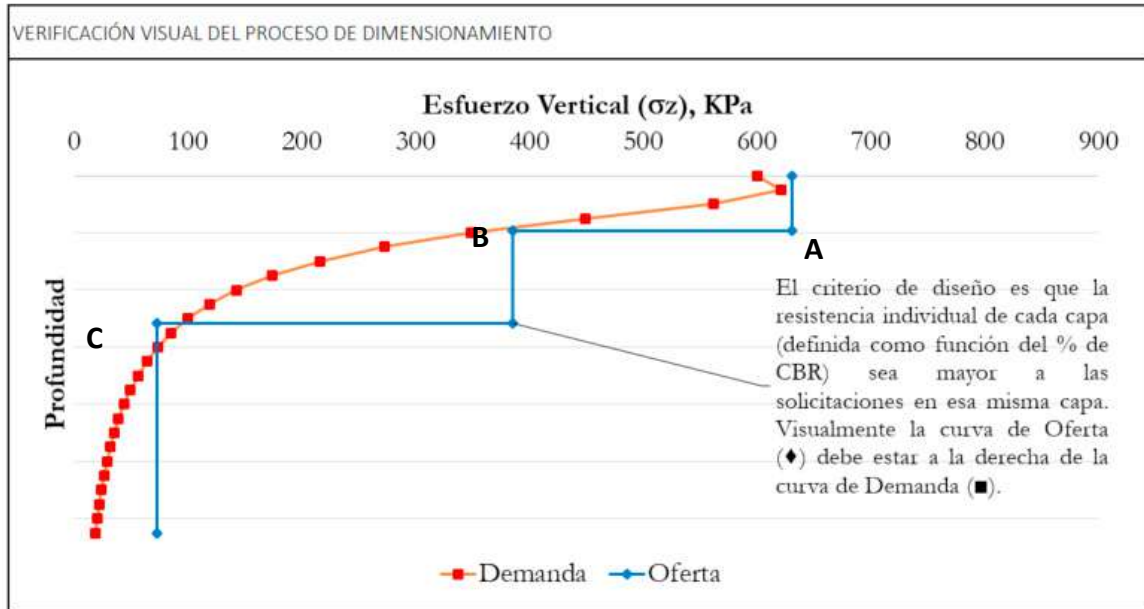
Producto de la carga de la rueda definida como representativa, la estructura se ve sometida a cierto nivel de tensiones, las cuales se representan a través de la línea roja (■) (curva de demanda) que se muestra en la siguiente Figura. A su vez, la capacidad de soporte de cada una de las capas permite definir el nivel de tensiones admisible de cada una de ellas, representada en la Figura través de las líneas azules (◆) (curvas de oferta). En términos prácticos las tensiones admisibles (oferta) deben ser mayores a las tensiones de trabajo (demanda), lo cual se traduce que las líneas azules deben estar siempre por debajo de la curva roja.



A modo de ejemplo, en las siguientes Figuras se muestra el proceso de diseño de la estructura indicada.

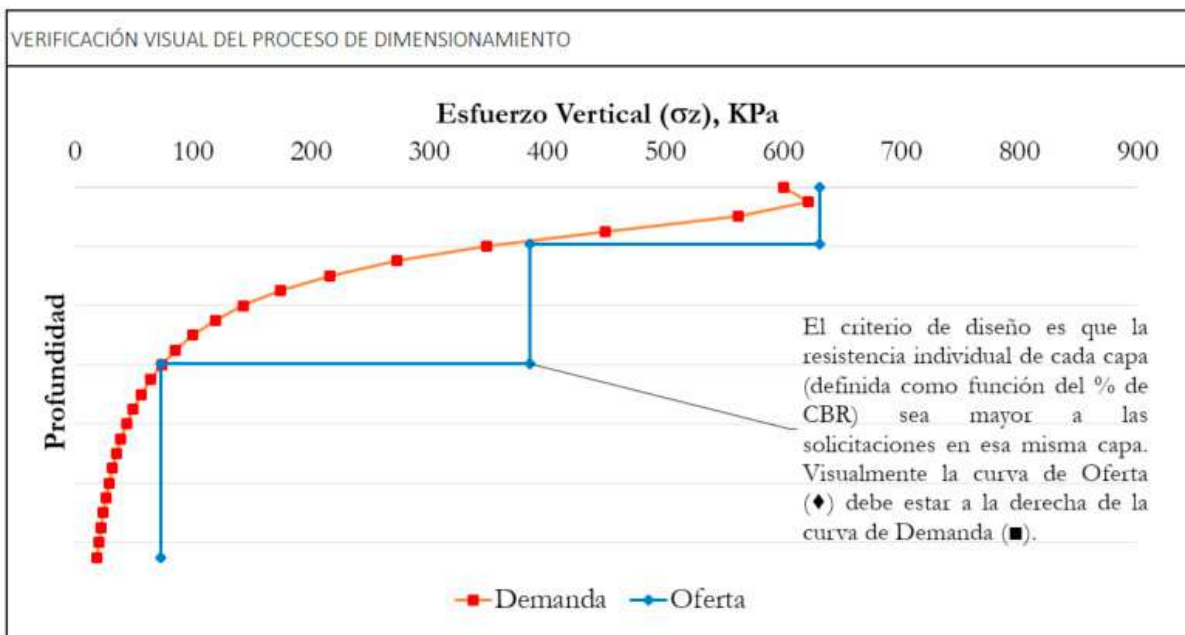
Iteración 1.

Diseño no cumple en Puntos A y B, pero no cumple en Punto C.



Capa	Espesor cm	CBR %
Base o Capa Rodadura (CBR 70 %)	12	70
Subbase (CBR 40 %)	25	40
Subrasante (CBR 6%)		6

Solución: Aumentar espesor de la subbase a 31 cm. Diseño cumple en cada uno de los 3 puntos críticos.



Capa	Espesor cm	CBR %
Base o Capa Rodadura (CBR 70 %)	12	70
Subbase (CBR 40 %)	31	40
Subrasante (CBR 6%)		6

FICHA TECNICA

<p>1. Tipo Informe Informe Técnico</p>	<p>2. Fecha Informe 30 de Noviembre de 2018</p>
<p>3. Título del Informe Guía para la Evaluación y Selección de Aditivos para la Estabilización de Suelos y Materiales Granulares</p>	
<p>4. Autor (es) Felipe Halles; Guillermo Thenoux; Rodolfo Segovia; Fernando Paniagua.</p>	
<p>5. Resumen y Alcances</p> <p>Este documento corresponde a una Guía Referencial que establece los pasos a llevar a cabo para el desarrollo de <u>proyectos de ingeniería que incluyan la utilización de aditivos para la estabilización</u> de una o más capas de la estructura del camino.</p> <p>En este documento se detallan los pasos a seguir, los ensayos a realizar, normativas y criterios a utilizar, <u>para evaluar y seleccionar aditivos</u> para su uso como estabilizadores de suelos y materiales granulares.</p> <p>Este documento fue desarrollado para su aplicación en caminos de bajo volumen de tránsito, pero con presencia de vehículos pesados.</p> <p>Este documento entrega además herramientas desarrolladas específicamente para dimensionar la estructura del camino sobre la base de las propiedades específicas de los materiales estabilizados a utilizar.</p>	