

Selección y Clasificación de Cementos Asfálticos por Grado de Desempeño PG

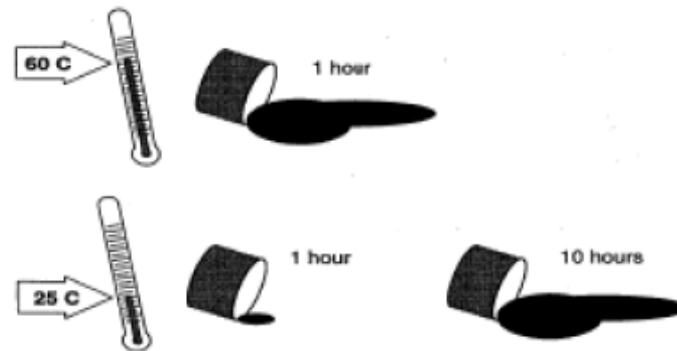


Dr. Jorge Alarcón Ibarra
Profesor e investigador
UMSNH
jorge.alarcon@umich.mx



Introducción

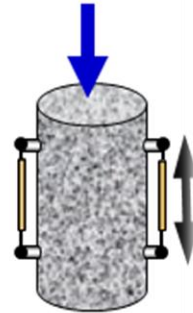
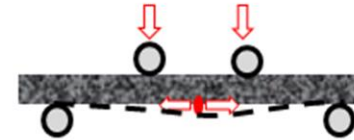
- El asfalto es un material bituminoso de color negro, constituido principalmente por asfaltenos, resinas y aceites, elementos que proporcionan características de consistencia, aglutinación y ductilidad;
- Es sólido o semisólido y tienen propiedades cementantes a temperaturas ambientales normales.
- Al calentarse se ablanda gradualmente hasta alcanzar una consistencia líquida



• Mezclas de alto desempeño



Herramientas de análisis



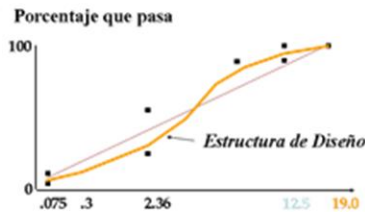
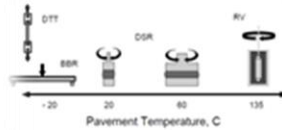
Velocidad de operación km/h	Nivel de ajuste		
	v > 70	20 < v ≤ 70	v < 20
Intensidad del tránsito (TL) ⁽¹⁾			
TL < 10 ⁶	Normal (S)	Alto (H)	Muy alto (V)
10 ⁶ ≤ TL ≤ 30 × 10 ⁶	Alto (H)	Alto (H)	Muy alto (V)
TL > 30 × 10 ⁶	Muy alto (V)	Muy alto (V)	Extremadamente alto (E)

(1) TL es el número de ejes equivalentes de E.2.1 acumulados durante el periodo de servicio del pavimento en el carril de diseño que en ningún caso será menor de diez (10) años, obtenido con el método de Ingeniería de la UNAM para la condición de daño superficial.

Selección de Materiales (Agregados y Asfalto)

Sistema

Pruebas de desempeño



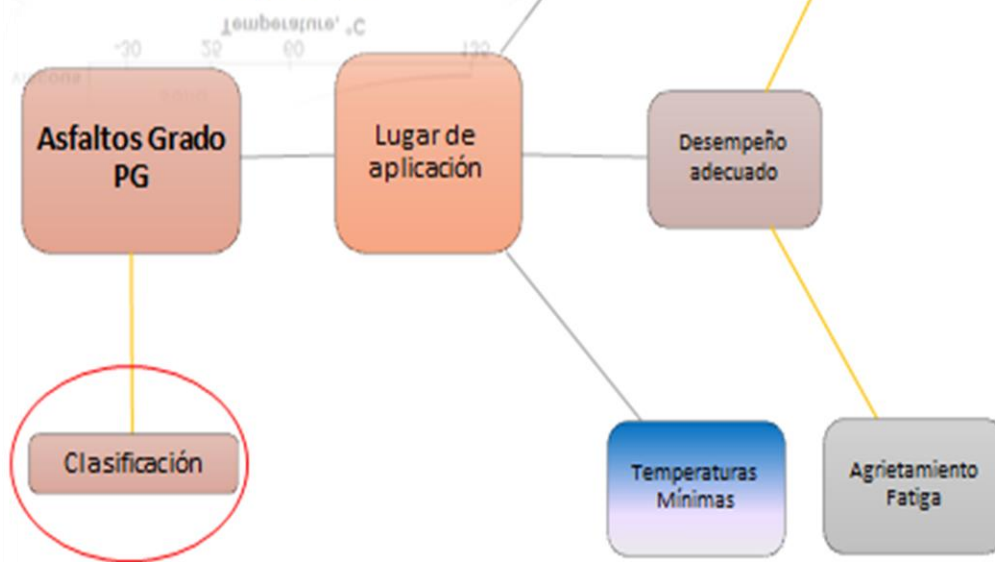
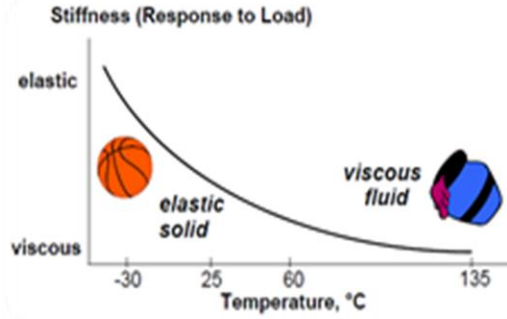
Tamaño Malla (mm) elevado a la potencia 0.45

Diseño de mezclas (Volumetría y Susceptibilidad a la humedad)



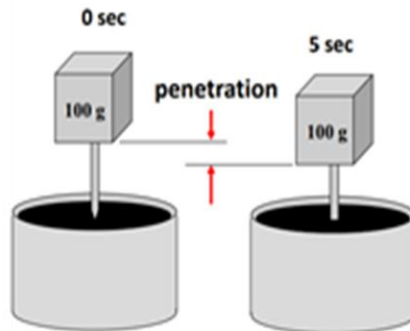
Propiedades del Asfalto





Transición de Clasificación del Asfalto

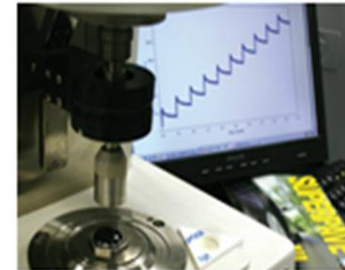
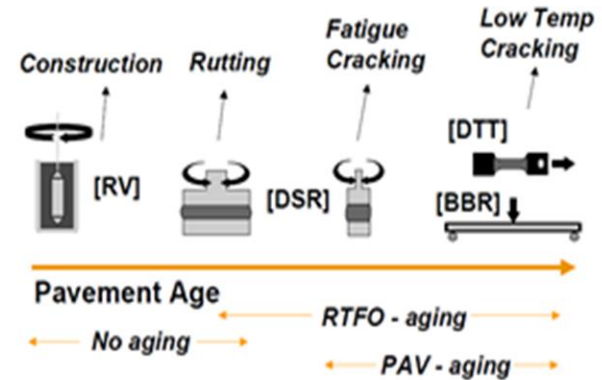
Grado Penetración
1900's



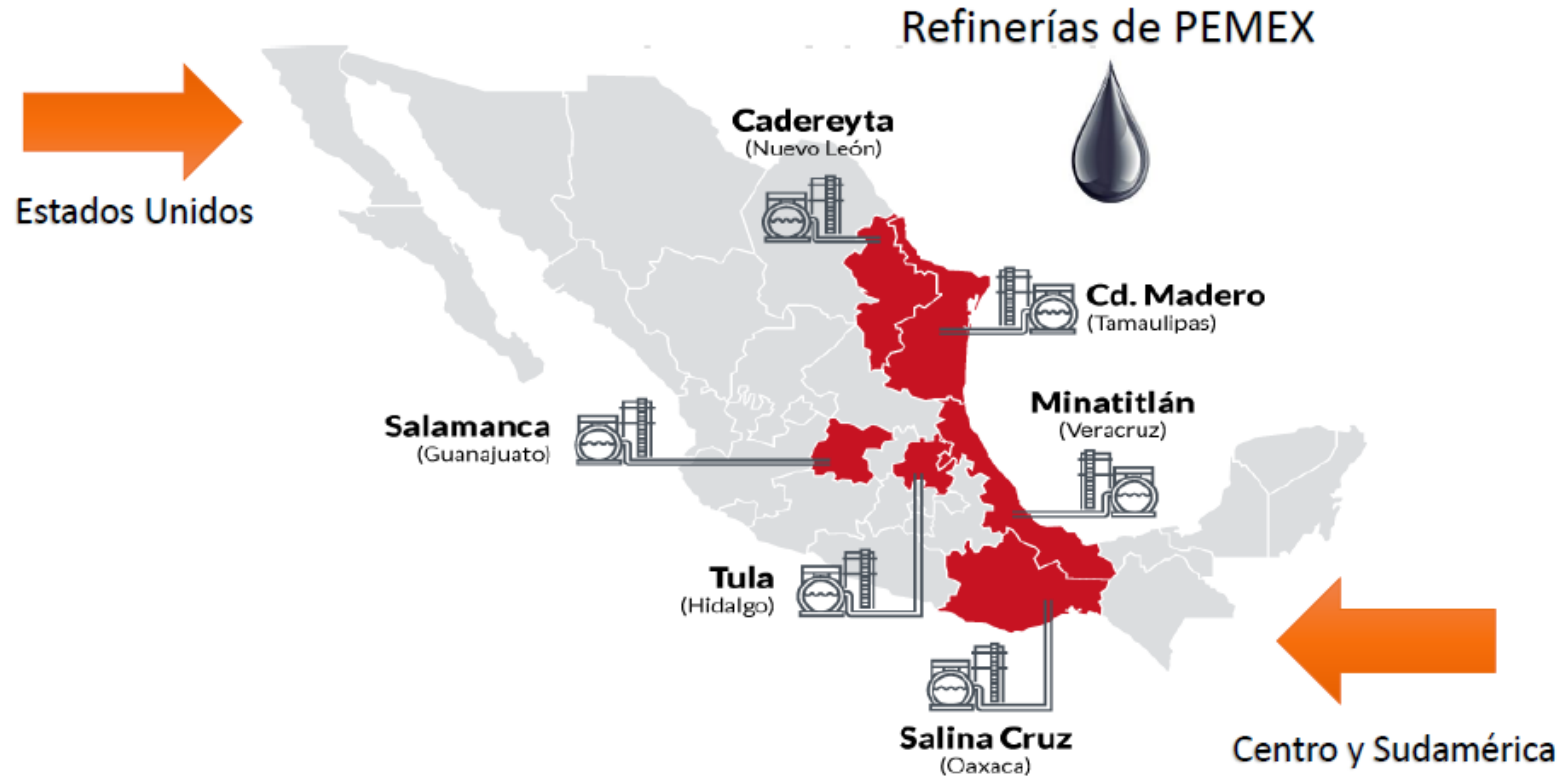
Grado Viscosidad
1950's



Grado PG
1990's



El asfalto en México



Clasificación de los Asfaltos

N.CMT.4-05-002/06

- Por el tipo de modificador

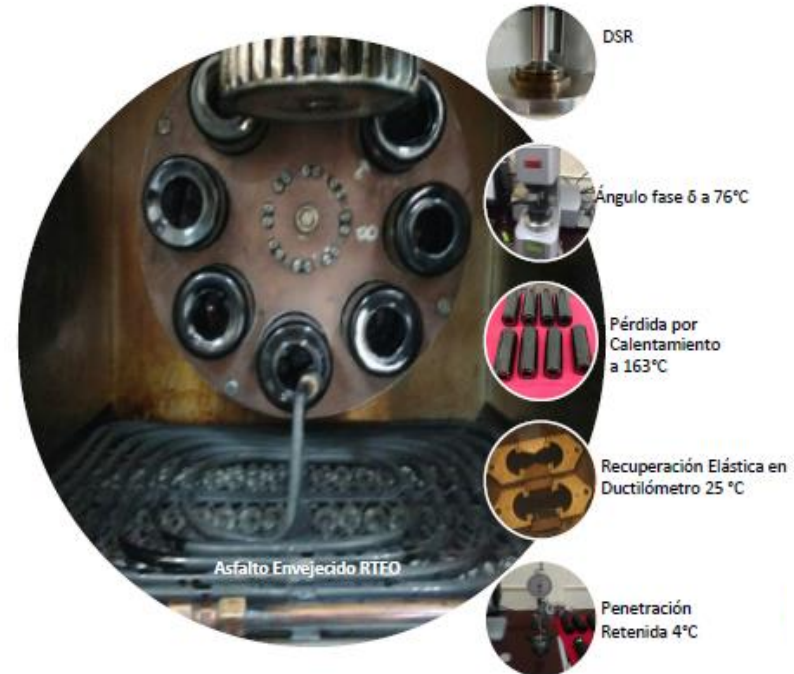
- Tipo I
- Tipo II
- Tipo III
- Hule molido

Características	Tipo de cemento asfáltico (Tipo de modificador)				
	AC-5 (Tipo I o II)	AC-20 (Tipo I)	AC-20 (Tipo II)	AC-20 (Tipo III)	AC-20 (Hule molido)
Del cemento asfáltico modificado:					
Viscosidad Saybolt-Furol a 135°C; s, máximo	500	1000	1000	1000	--
Viscosidad rotacional Brookfield a 135°C; Pa s, máximo	2	4	3	4	--
Viscosidad rotacional Brookfield (tipo Haake) a 177°C; Pa s, máximo	--	--	--	--	7
Penetración:					
□ A 25°C, 100 g, 5 s; 10-1 mm, mínimo	80	40	40	30	30
□ A 4°C, 200 g, 60 s; 10-1 mm, mínimo	40	25	25	20	15
Punto de inflamación Cleveland; °C, mínimo	220	230	230	230	230
Punto de reblandecimiento; °C, mínimo	45	55	55	53	57
Separación, diferencia anillo y esfera; °C, máximo	3	3	3	4	5
Recuperación elástica por torsión a 25°C; %, mínimo	25	35	30	15	40
Resiliencia, a 25°C; %, mínimo	20	20	20	25	30
Del residuo de la prueba de la película delgada, (3,2 mm, 50 g):					
Pérdida por calentamiento a 163°C; %, máximo	1	1	1	1	1
Penetración a 4°C, 200 g, 60 s; 10-1 mm, mínimo	--	--	--	--	10
Penetración retenida a 4°C, 200 g, 60 s; %, mínimo	65	65	65	55	75
Recuperación elástica en ductilómetro a 25°C; %, mínimo	50	60	60	30	55
Incremento en temperatura anillo y esfera; °C, máximo	--	--	--	--	10
Módulo reológico de corte dinámico a 76°C (G'/sen ²); kPa, mínimo	--	2,2	2,2	2,2	2,2
Módulo reológico de corte dinámico a 64°C (G'/sen ²); kPa, mínimo	2,2	--	--	--	--
Angulo fase (°) [visco-elasticidad], a 76°C; ° (grados), máximo	--	75	70	75	--

Clasificación de los Asfaltos

N.CMT-4-05-002/06

- Por el tipo de modificador



Clasificación de los Asfaltos

N-CMT-4-05-004/08

- Por su Grado de Desempeño

PG 64-22

Performance Grading
(Grado de Desempeño)

Temperatura mínima de
diseño

Media de los 7 días más
calurosos consecutivos de
los últimos 20 años

Grado de comportamiento	PG 64				PG 70				PG 76			PG 82			PG 88		
	-22	-26	-34	-40	-22	-26	-34	-40	-22	-26	-34	-22	-26	-34	-22	-26	-34
Temperatura máxima de diseño del pavimento (promedio de 7 días), °C	64				70				76			82			88		
Temperatura mínima de diseño del pavimento, °C	>-22	>-26	>-34	>-40	>-22	>-26	>-34	>-40	>-22	>-26	>-34	>-22	>-26	>-34	>-22	>-26	>-34
Asfalto original																	
Punto de inflamación Cleveland ⁽¹⁾ , °C, min.	230																
Viscosidad dinámica a 135°C ⁽¹⁾ , Pa s (P ⁽²⁾), máximo	3																
Módulo reológico de corte dinámico (G'/sen δ) ⁽¹⁾ , kPa, mínimo	1																
• Temperatura de prueba @ 10 rad/s; °C	64				70				76			82			88		
Después de prueba de película delgada y aire de horno ⁽¹⁾																	
Pérdida por calentamiento, %, máximo	1																
Módulo reológico de corte dinámico (G'/sen δ) ⁽¹⁾ , kPa, mínimo	2,2																
• Temperatura de prueba @ 10 rad/s; °C	64				70				76			82			88		
Después de envejecimiento en vasija de presión temperatura y aire																	
Temperatura de envejecimiento PAV; °C																	
• En climas normales	100				100				100			130			100		
• En climas desérticos	100				110				110			110			110		
Índice de endurecimiento físico ⁽⁴⁾ , máximo	Reportar																
Rigidización (G' sen α) ⁽¹⁾ , kPa, máxima	5 000																
• Temperatura de prueba @ 10 rad/s; °C	25	22	19	16	28	25	22	19	31	28	25	34	31	28	34	31	28
Rigidez de Flexión S _(t) ⁽¹⁾ , MPa, máximo (n=0,3 min)	300																
• Temperatura de prueba @ 60 s; °C	-12	-18	-24	-30	-12	-18	-24	-30	-12	-18	-24	-12	-18	-24	-12	-18	-24

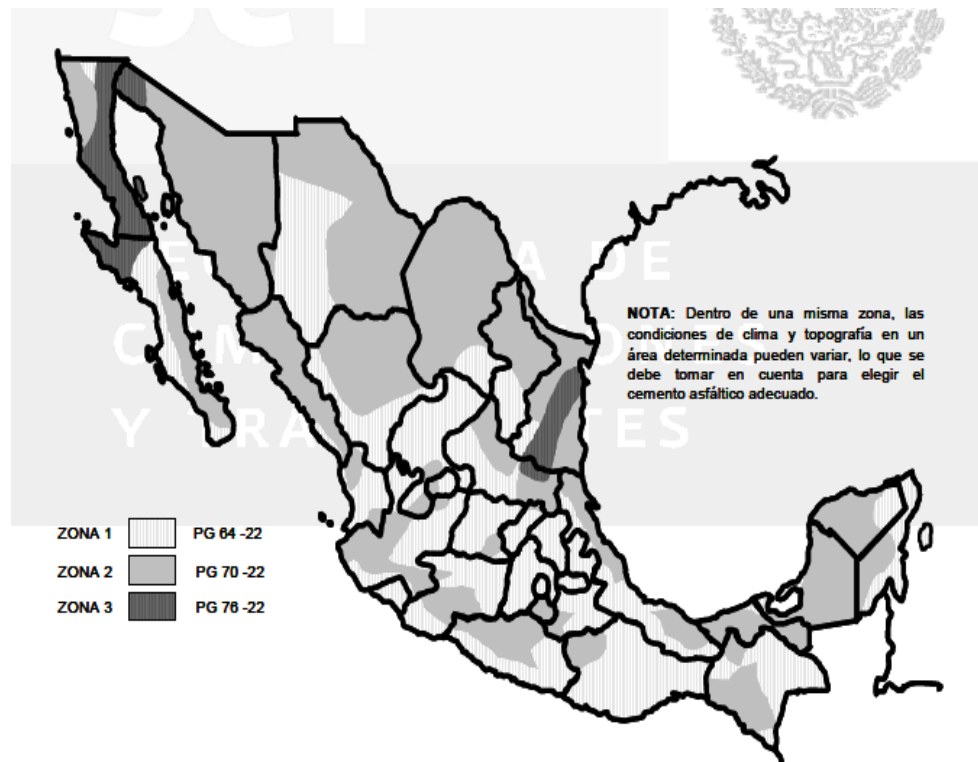


FIGURA 1.- Regiones geográficas para la utilización recomendable de cementos asfálticos Grado PG

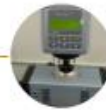
N-CMT-4-05-004/08

TABLA 1.- Ajustes del Grado PG seleccionado por clima de acuerdo con la intensidad del tránsito esperada y con la velocidad de operación

Intensidad del tránsito (ΣL_{10}) ^[1]	Grado PG seleccionado por clima	Ajuste por intensidad del tránsito	Ajuste por velocidad lenta (Entre 10 y 30 km/h)	Ajuste por tránsito detenido (Cruceros)
$\Sigma L_{10} < 10^6$	PG 64	PG 64	PG 70	PG 76
	PG 70	PG 70	PG 76	PG 82
	PG 76	PG 76	PG 82	PG 88
$10^6 \leq \Sigma L_{10} \leq 10^7$	PG 64	PG 70	PG 76	PG 82
	PG 70	PG 76	PG 82	PG 88
	PG 76	PG 82	PG 88	PG 88
$\Sigma L_{10} > 10^7$	PG 64	PG 76	PG 82	PG 88
	PG 70	PG 82	PG 88	PG 88
	PG 76	PG 88	PG 88	PG 88

[1] ΣL_{10} = Número de ejes equivalentes de 8,2 t (ESAL), esperado durante un periodo de servicio del pavimento de 10 años.

Clasificación de los Asfaltos



Viscosidad Dinámica
135 °C



Punto de Inflamación



DSR
 $G^*/\sin \delta > 1 \text{ kPa}$



Asfalto Envejecido PAV



VDO



DSR
 $G^*\sin \delta < 5 \text{ MPa}$



BBR



Asfalto Envejecido RTFO



RTFO



DSR
 $G^*/\sin \delta > 2.2 \text{ kPa}$

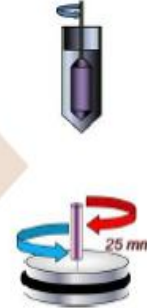


Pérdida por calentamiento



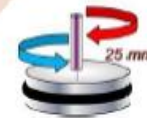
Estado Original

- Punto de Inflamación
- Viscosidad Rotacional
- Módulo Reológico de Corte Dinámico



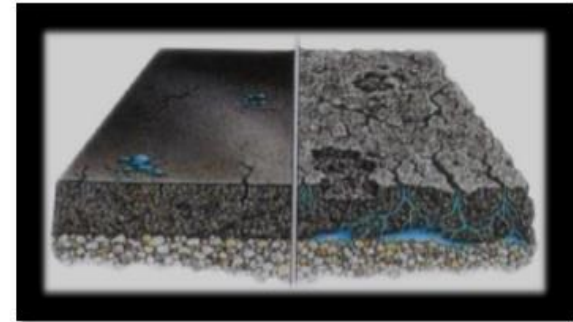
Asfalto
envejecido a
Corto Plazo

- Pérdida por Calentamiento
- Módulo Reológico de Corte Dinámico



Asfalto
envejecido a
Largo Plazo

- Módulo Reológico de Corte Dinámico
- Módulo Reológico a Flexión



Clasificación por Grado de Desempeño



Sin Presencia de
Agrietamiento Térmico
(Fisuraciones)



Incremento en su Desempeño

Sin Presencia de
Deformaciones Plásticas
(Roderas)



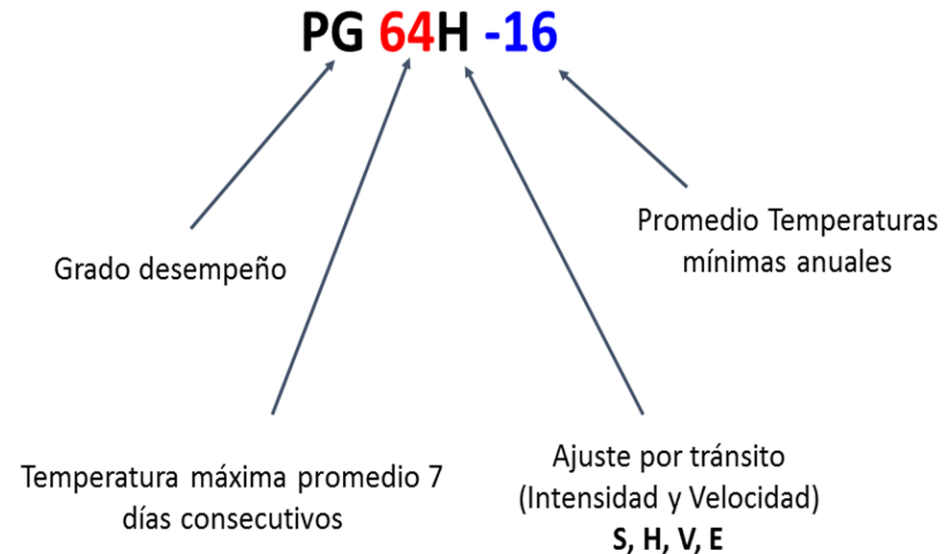
Clasificación de los Asfaltos

N·CMT·4·05·004/18

- Por su Grado de Desempeño

Clasificación por temperatura:

Calidad de Cementos Asfálticos según su
Grado de Desempeño (PG)
N·CMT·4·05·004/18



Temperatura Alta

- Con base en el modelo climático que depende de la temperatura máxima del aire en la zona.

$$T_{máx_i} = 54,32 + 0,78T_{airM} - 0,0025Lat_i^2 - 15,14\log(H + 25) + Z(9 + 0,61\sigma_{T_{airM}}^2)^{0,5}$$

Dónde:

$T_{máx_i}$ = Temperatura máxima calculada debajo de la superficie del pavimento en el sitio $i=1$ donde inicia el tramo o $i=2$ donde termina el tramo por construir, (°C)

T_{airM} = Temperatura máxima promedio del aire de los 7 días consecutivos más cálidos registrados por lo menos en los últimos de 20 años en la zona, (°C)

Lat_i = Latitud, en el sitio $i=1$ donde inicia el tramo o $i=2$ donde termina el tramo por construir, (°, con aproximación de 5 decimales)

H = Profundidad, (mm) (se recomienda usar 20 mm)

Z = Valor para el nivel de confiabilidad (distribución normal, se recomienda usar 2,055 para una confiabilidad de 98%)

$\sigma_{T_{airM}}$ = Desviación estándar de la temperatura de los 7 días consecutivos más cálidos registrados por lo menos en los últimos 20 años en la zona, (°C)

Temperatura Baja

- Con base en el modelo climático que depende de la temperatura mínima del aire en la zona.

$$T_{\min} = -1,56 + 0,72T_{\text{airm}} - 0,004Lat^2 + 6,26\log(H + 25) - Z(4,4 + 0,52\sigma_{T_{\text{airm}}}^2)^{0,5}$$

Dónde:

T_{\min} = Temperatura mínima esperada del pavimento asfáltico debajo de la superficie, (°C)

T_{airm} = Promedio de las temperaturas mínimas anuales del aire registradas en al menos los últimos 20 años en la zona, (°C)

Lat = Latitud del tramo de diseño, (°)

H = Profundidad, (mm) (se recomienda usar 20 mm)

Z = Valor para el nivel de confiabilidad (distribución normal, se recomienda usar 2,055 para una confiabilidad de 98 %)

$\sigma_{T_{\text{airm}}}$ = Desviación estándar de las temperaturas mínimas anuales del aire registradas en al menos en los últimos 20 años en la zona, (°C)

TABLA 1.- Nivel de ajuste de los requisitos de calidad para el grado de desempeño (PG) de acuerdo con la intensidad del tránsito y con la velocidad de operación

Velocidad de operación km/h	Nivel de ajuste		
	$v > 70$	$20 \leq v \leq 70$	$v < 20$
Intensidad del tránsito (ΣL) [1]			
$\Sigma L < 10^6$	Normal (S)	Alto (H)	Muy alto (V)
$10^6 \leq \Sigma L \leq 30 \times 10^6$	Alto (H)	Alto (H)	Muy alto (V)
$\Sigma L > 30 \times 10^6$	Muy alto (V)	Muy alto (V)	Extremadamente alto (E)

[1] ΣL es el número de ejes equivalentes de 8,2 t acumulados durante el periodo de servicio del pavimento en el carril de diseño que en ningún caso será menor de diez (10) años; obtenido con el método de Instituto de Ingeniería de la UNAM para la condición de daño superficial.

N·CMT·4·05·004/18

TABLA 2.- Requisitos de calidad para cementos asfálticos según su grado de desempeño (PG) y nivel de ajuste

GRADO DE DESEMPEÑO (PG)	PG 64		PG 70		PG 76		PG 82	
	-16	-22	-16	-22	-16	-22	-16	-22
Temperatura máxima del pavimento ^[1] , °C	≤ 64		≤ 70		≤ 76		≤ 82	
Temperatura mínima del pavimento ^[1] , °C	≥ -16	≥ -22	≥ -16	≥ -22	≥ -16	≥ -22	≥ -16	≥ -22
Cemento asfáltico original								
Punto de inflamación Cleveland ^[2] , °C, mín.	230							
Viscosidad rotacional 135°C ^[2] , Pa·s, máx.	3							
Punto de reblandecimiento ^[2] , °C, mín.	48				55			
Separación, diferencia anillo y esfera ^[2] , °C, máx.	-				2			
Recuperación elástica por torsión 25°C ^[2] , %, mín.	-				35			
Módulo reológico de corte dinámico ^[2] (G*/sen δ) ^[2] , kPa, mín.	1.0							
· Temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	64		70		76		82	

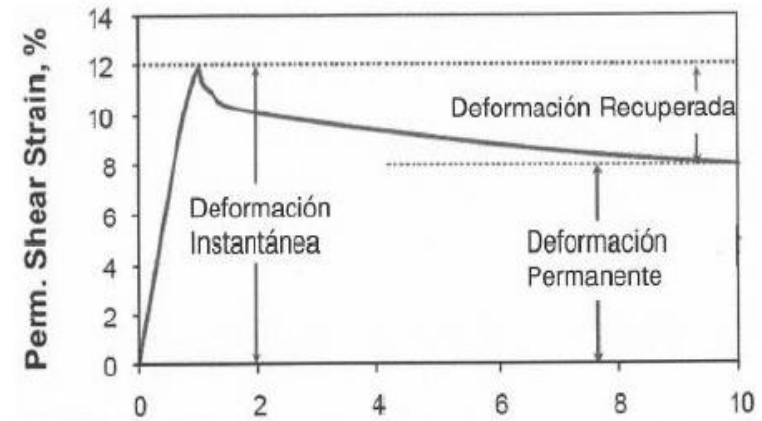
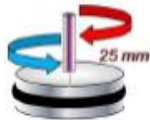
Después de envejecimiento en horno RTFO [2]				
Pérdida por calentamiento [2], %, máx.	1,0			
Recuperación elástica en ductilómetro [5], 25°C, %, mín.	-	75		
Módulo reológico de corte dinámico (G*/sen δ) [2], kPa, mín.	2,2			
· Temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	64	70	76	82
Traffic Normal "S", Nivel de Ajuste (MSCR) [3]	4,0			
· Jnr a 3,2 kPa en MSCR [2] [4]; kPa-1, máx.	4,0			
· Temperatura de prueba, °C	64	70	76	82
· Respuesta elástica, RE a 3,2 kPa en MSCR [2] [6]; %, mín.	-	25		
Traffic Alto "H", Nivel de Ajuste (MSCR) [3]	2,0			
· Jnr a 3,2 kPa en MSCR [2] [4]; kPa-1, máx.	2,0			
· Temperatura de prueba, °C	64	70	76	82
· Respuesta elástica, RE a 3,2 kPa en MSCR [2] [6]; %, mín.	-	25		
Traffic Muy Alto "V", Nivel de Ajuste (MSCR) [3]	1,0			
· Jnr a 3,2 kPa en MSCR [2] [4]; kPa-1, máx.	1,0			
· Temperatura de prueba, °C	64	70	76	82
· Respuesta elástica, RE a 3,2 kPa en MSCR [2] [6]; %, mín.	-	30		
Traffic Extremadamente Alto "E", Nivel de Ajuste (MSCR) [3]	0,5			
· Jnr a 3,2 kPa en MSCR [2] [4]; kPa-1, máx.	0,5			
· Temperatura de prueba, °C	64	70	76	82
· Respuesta elástica, RE a 3,2 kPa en MSCR [2] [6]; %, mín.	-	40		

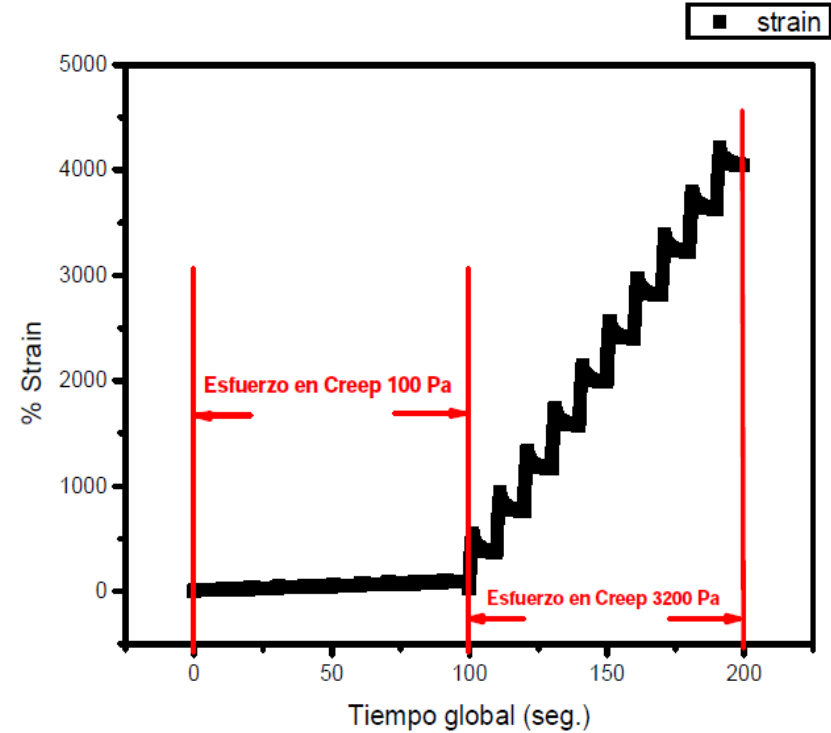
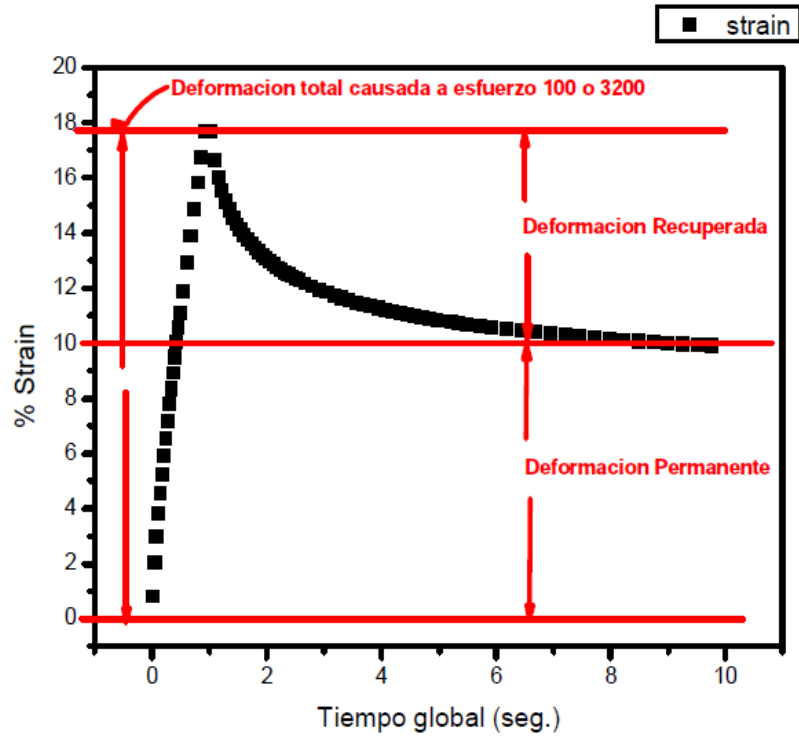
(1) Determinada como se indica en el inciso D.1. de esta Norma

Reómetro de Corte Dinámico (DSR)

M·MMP·4·05·055/17

- Prueba de Esfuerzo Multiple-Deformación-Recuperación Multiple (MSCR)





CONTINUACIÓN DE LA TABLA 2

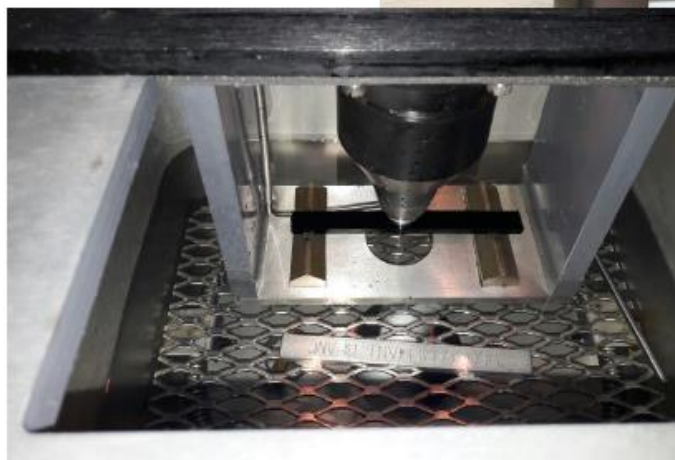
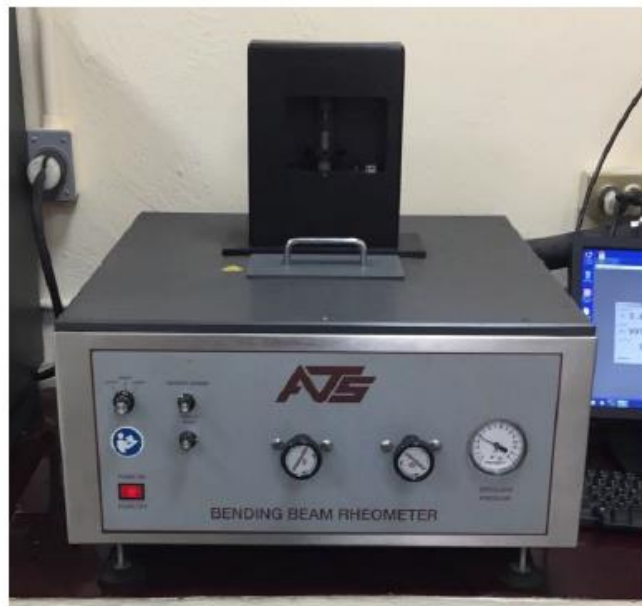
GRADO DE DESEMPEÑO (PG)	PG 64		PG 70		PG 76		PG 82	
	-16	-22	-16	-22	-16	-22	-16	-22
Temperatura máxima del pavimento ^[1] , °C	≤ 64		≤ 70		≤ 76		≤ 82	
Temperatura mínima del pavimento ^[1] , °C	≥ -16	≥ -22	≥ -16	≥ -22	≥ -16	≥ -22	≥ -16	≥ -22
Después de envejecimiento en horno a presión (PAV)								
Temperatura de envejecimiento PAV ^[2] , °C								
· En climas normales	100							
· En climas desérticos	100	110						
Rigidización (G*sen δ) ^[2] , kPa, máxima	5 000							
· Temperatura de prueba @ 10 rad/s; °C	28	25	31	28	34	31	37	34
Rigidez de Flexión ^[2]								
S(t) ^[1] , máximo 300 MPa	-6	-12	-6	-12	-6	-12	-6	-12
Valor m, mínimo 0,300								
· Temperatura de prueba, @ 60 s, °C								

[1] Determinada como se indica en el inciso D.1. de esta Norma

Reómetro de Viga a Flexión (BBR)

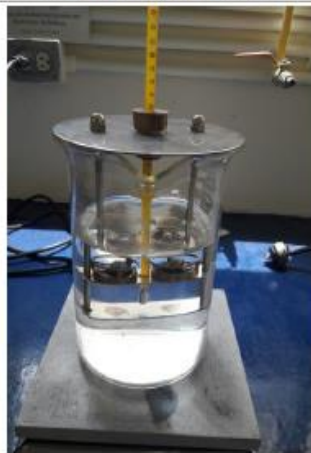
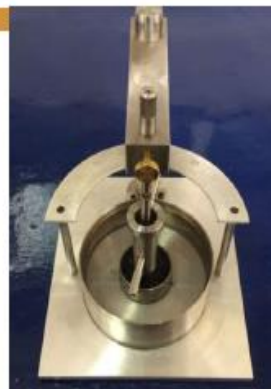
ASTM D6648-08

- Ensayo para la obtención del Módulo de Rigidez del asfalto a Flexión



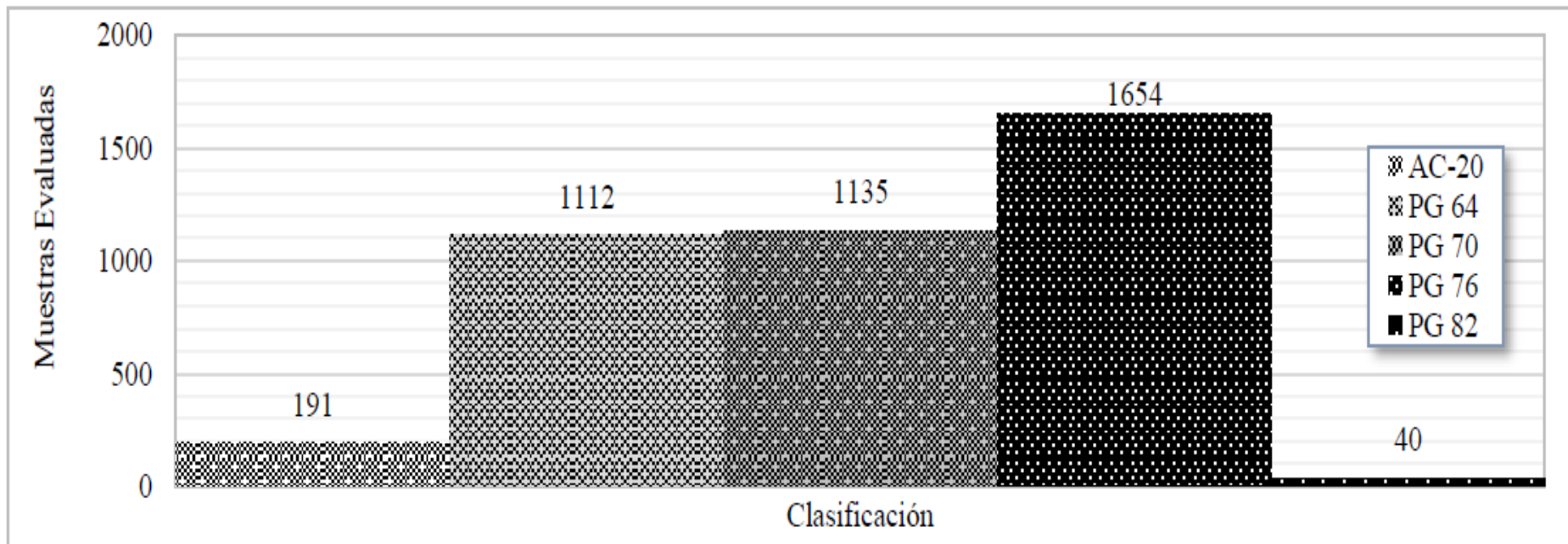
Otros Ensayos

Normativa/Manual	Ensayo	Unidad de Medición
Cemento Asfáltico Original		
M-MMP-4-05-007/00	Punto de Inflamación Cleveland	°C
M-MMP-4-05-009/00	Punto de reblandecimiento	°C
M-MMP-4-05.022/02	Separación, diferencia anillo y esfera	°C
M-MMP-4-05.024/02	Recuperación elástica por torsión a 25°C	%
ASTM D2872-12e1 Después de Envejecimiento en horno RTFO		
ASTM D6084M-13	Recuperación elástica en ductilómetro, 25°C	%

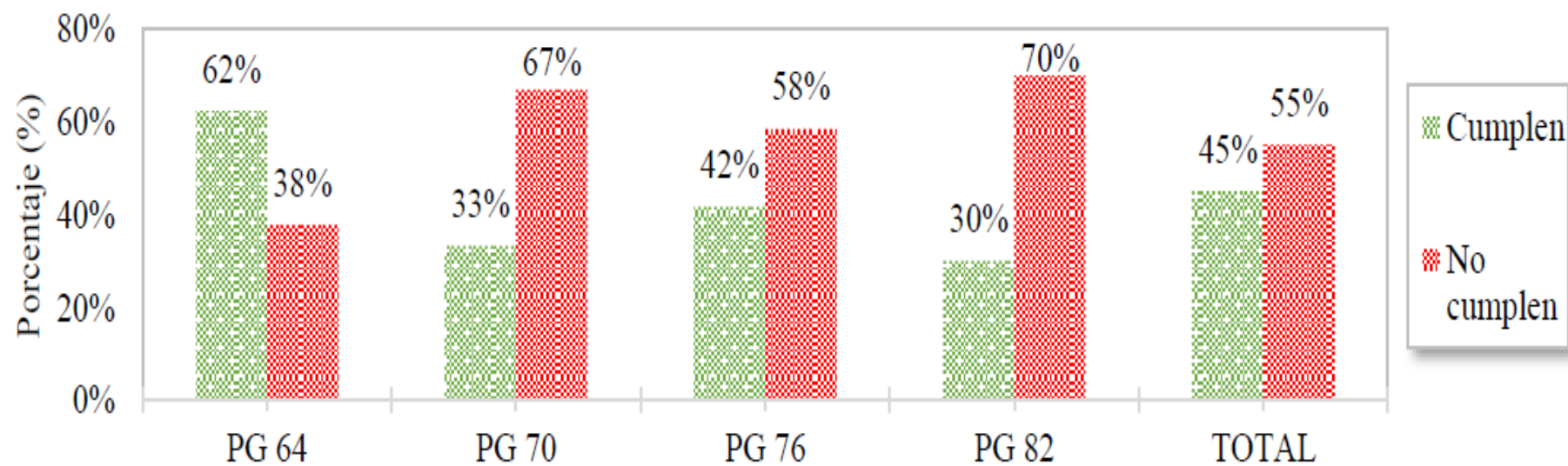




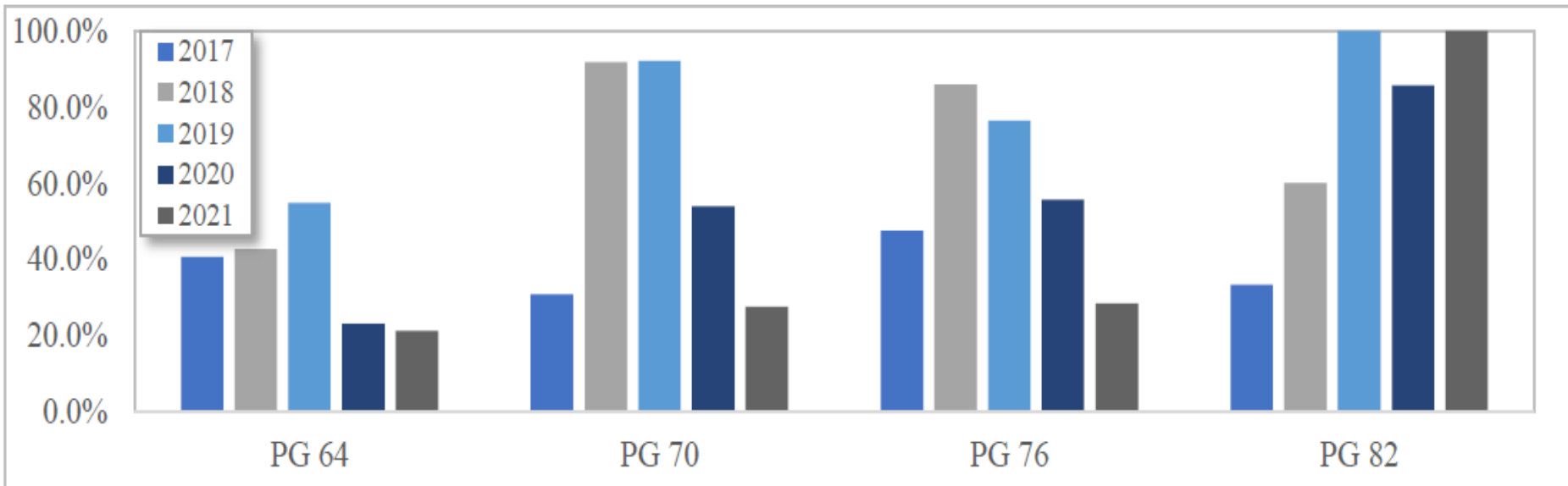
¿Qué resultados hemos
obtenido?



Muestras de asfalto ensayadas de 2017 a la fecha por la SICT



Muestras que cumplen / no cumplen con los requisitos de calidad



Porcentaje de muestras que incumplen por grado de desempeño por año

Conclusiones:

- Es de suma importancia determinar el Grado PG del asfalto a utilizarse en las obras carreteras ya que de esto depende en gran medida el desempeño a deformaciones y fatiga de las mezclas asfálticas.
- El asfalto Grado PG está definido por su desempeño a altas y bajas temperaturas en el lugar de aplicación.
- El Grado PG es una clasificación que depende fundamentalmente de la Temperatura y del Tránsito en donde se encuentra el proyecto carretero.
- La nueva clasificación simplifica y mejora la selección del asfalto adecuado.

Gracias por su atención!!!



Dr. Jorge Alarcón Ibarra
Profesor e investigador
UMSNH
jorge.alarcon@umich.mx

