

**LIBRO: CMT. CARACTERÍSTICAS DE  
LOS MATERIALES**

**PARTE: 4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS**

**TÍTULO:** 05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

**CAPÍTULO:** 004. *Calidad de Cementos Asfálticos según su Grado de Desempeño (PG)*

**A. CONTENIDO**

Esta Norma contiene los requisitos de calidad de los cementos asfálticos según su grado de desempeño (PG), para ser utilizados en la elaboración de mezclas asfálticas o para la fabricación de emulsiones asfálticas, que se utilicen en la construcción de carpetas o capas de rodadura, ya sea como cementos asfálticos convencionales o modificados.

**B. DEFINICIONES**

**B.1. CEMENTOS ASFÁLTICOS SEGÚN SU GRADO DE DESEMPEÑO (PG)**

Son aquellos cuyo comportamiento en los pavimentos está definido por las temperaturas máxima y mínima que se esperan en el lugar de su aplicación, por la intensidad del tránsito esperada y por la velocidad de operación de la carretera, a partir de las cuales se asegura un desempeño adecuado para resistir deformaciones, agrietamientos por temperaturas bajas y agrietamiento por fatiga, en condiciones de trabajo que se han correlacionado con pruebas y tratamientos especiales para producir simulaciones de envejecimiento a corto y a largo plazo. Estas pruebas miden propiedades físicas que pueden ser directamente relacionadas, mediante principios de ingeniería, con el comportamiento en obra, y forman parte de los productos del Programa de Investigación de Carreteras desarrollado por la Unión Americana, conocida como la Tecnología SHRP.

**B.2. GRADO DE DESEMPEÑO (PG)**

El grado de desempeño (PG por sus siglas en inglés, *Performance Grade*) es el rango de temperaturas, máxima a mínima, entre las que un cemento asfáltico convencional o modificado se desempeña satisfactoriamente. El grado de desempeño (PG) permite seleccionar el cemento asfáltico más adecuado para una determinada obra, en función del clima dominante, de la intensidad del tránsito esperada y de la velocidad de operación a que estará sujeta la carretera durante su vida útil.

Un cemento asfáltico clasificado como PG 64-16 tendrá un desempeño satisfactorio cuando trabaje a temperaturas tan altas como sesenta y cuatro (64) grados Celsius y tan bajas como menos dieciséis (-16) grados Celsius. Las temperaturas máximas y mínimas se extienden tanto como sea necesario con incrementos estandarizados de seis (6) grados. Sin embargo, para esta Norma, las temperaturas máximas se consideran entre sesenta y cuatro (64) y ochenta y dos (82) grados Celsius, y solo se considerarán temperaturas mínimas de menos dieciséis (-16) y menos veintidós (-22) grados Celsius.

Con los datos estadísticos del clima de la zona geográfica donde se vaya a realizar la obra, se determinarán las temperaturas mínimas y máximas de dicha zona geográfica, de acuerdo con lo indicado en la Cláusula D. de esta Norma.

Los requisitos de calidad del cemento asfáltico que se seleccione según su grado de desempeño (PG) para el clima de la zona donde se construirá la obra, se ajustarán de acuerdo con la intensidad del tránsito esperada en términos del número de ejes equivalentes de ocho coma dos (8,2) toneladas ( $\Sigma L$ ), acumulados durante el periodo de servicio del pavimento pero nunca menor de diez (10) años y de acuerdo con la velocidad de operación, como se indica en la Tabla 1 de esta Norma.

**C. REFERENCIAS**

Son referencias de esta Norma, las siguientes normas publicadas por la ASTM International, en EUA.

- ASTM D2872-12e1, *Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test)*;

- ASTM D6521–13, *Standard Practice for Accelerated Aging of Asphalt Binder Using a Pressurized Aging Vessel (PAV)*;
- ASTM D6648–08, *Standard Test Method for Determining the Flexural Creep Stiffness of Asphalt Binder Using the Bending Beam Rheometer (BBR)*, y
- ASTM D6084M-13, *Standard Test Method for Elastic Recovery of Bituminous Materials by Ductilometer*.

Además, esta Norma se complementa con los siguientes:

NORMA Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Calidad de Materiales Asfálticos .....	N-CMT-4-05-001
Muestreo de Materiales Asfálticos .....	M-MMP-4-05-001
Viscosidad Rotacional Brookfield de Cementos Asfálticos .....	M-MMP-4-05-005
Punto de Inflamación Cleveland en Cementos Asfálticos .....	M-MMP-4-05-007
Punto de Reblandecimiento en Cementos Asfálticos	M-MMP-4-05-009
Separación en Cemento Asfáltico Modificado .....	M-MMP-4-05-022
Recuperación Elástica por Torsión en Cemento Asfáltico Modificado .....	M-MMP-4-05-024
Módulo Reológico de Corte Dinámico .....	M-MMP-4-05-025
Prueba de Esfuerzo-Deformación-Recuperación Múltiple (MSCR) .....	M-MMP-4-05-055

**D. SELECCIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO SEGÚN SU GRADO DE DESEMPEÑO (PG)**

La selección del cemento asfáltico según su grado de desempeño (PG) considerará las temperaturas máxima y mínima de la zona donde se ubicará la obra, realizando un ajuste debido a la intensidad del tránsito y a la velocidad de operación de la carretera, de acuerdo con lo siguiente:

**D.1. TEMPERATURAS MÁXIMA Y MÍNIMA**

La determinación de las temperaturas máxima y mínima del pavimento en la zona donde se construirá la obra se realizará como se indica a continuación:

**D.1.1.** Con los datos estadísticos de la temperaturas máximas y mínimas de la zona donde se vaya a realizar la obra, se determinarán la temperatura máxima  $T_{máx}$ , y la temperatura mínima,  $T_{mín}$ , como sigue:

**D.1.1.1.** Empleando la siguiente fórmula se calculan las temperaturas máximas esperadas en la carpeta o la capa de rodadura en los sitios donde inicia ( $T_{máx1}$ ) y termina ( $T_{máx2}$ ) del tramo por construir y se elige como temperatura máxima del tramo ( $T_{máx}$ ) la que resulte mayor y se aproximará al valor superior más próximo de los considerados en la Tabla 2: sesenta y cuatro (64), setenta (70), setenta y seis (76) u ochenta y dos (82) grados Celsius. En el caso de tramos muy largos o con cambios de temperatura muy importantes, el proyecto se dividirá en tramos homogéneos, en los que se presenten variaciones iguales a un grado de desempeño PG o menores. En el caso de que la temperatura máxima calculada resultara mayor de ochenta y dos (82) grados Celsius se requerirá un diseño especial como se indica en el Inciso D.1.2. de esta Norma.

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

Donde:

$T_{máx_i}$  = 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%)

$\sigma_{T_{airM}}^2$  = 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)

SCT

**D.1.1.2.** Empleando la siguiente fórmula se calcula la temperatura mínima esperada en la carpeta o la capa de rodadura ( $T_{mín}$ ) del tramo por construir, eligiendo entre menos dieciséis (-16) y menos veintidós (-22) grados Celsius, en caso de resultar menor de menos veintidós (-22) grados Celsius se requerirá un diseño especial como se indica en el Inciso D.1.2. de esta Norma.

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

Donde:

$T_{mín}$  = 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 %)

$\sigma_{T_{airm}}^2$  = Desviación estándar de las temperaturas mínimas anuales del aire registradas en al menos en los últimos 20 años en la zona, (°C)

**D.1.2.** Para aquellos casos de diseños especiales de mezclas asfálticas, donde las temperaturas máxima o mínima para la selección del cemento asfáltico según su grado de desempeño (PG) sean mayor o menor respectivamente a las indicadas en la Tabla 2 de esta Norma (temperaturas máximas: sesenta y cuatro (64), setenta (70), setenta y seis (76) u ochenta y dos (82) grados Celsius, y temperatura mínima: menos dieciséis (-16) y menos veintidós (-22) grados Celsius), el diseño contará con la justificación técnica correspondiente y se someterá a la aprobación de la Secretaría.

**D.1.3.** Las temperaturas máxima y mínima determinadas como se indica en los Incisos D.1.1. y D.1.2. de esta Norma, determinan el rango de temperaturas entre las que el cemento asfáltico requerido se comportará satisfactoriamente, es decir el grado de desempeño (PG), por ejemplo, PG 64-16.

**D.2. NIVEL DE AJUSTE DE LOS REQUISITOS DE CALIDAD PARA EL GRADO DE DESEMPEÑO (PG) SELECCIONADO**

Después de seleccionar el grado de desempeño (PG) del cemento asfáltico según el clima del sitio, como se indica en la Fracción anterior, se ajustarán sus requisitos de calidad eligiendo el nivel de ajuste que le corresponda de acuerdo con lo indicado en la Tabla 1 de esta Norma, considerando la intensidad del tránsito esperada y la velocidad de operación de la carretera, el cual se representará con una letra que indicará cuando el ajuste sea Normal (S), Alto (H), Muy Alto (V) o Extremadamente Alto (E) y que se agregará al grado de desempeño (PG).

Por ejemplo, si el grado de desempeño (PG) seleccionado de acuerdo con las temperaturas máxima y mínima es PG 76-16, la intensidad del tránsito es de veinte millones ( $20 \times 10^6$ ) de ejes equivalentes de ocho coma dos (8,2) toneladas ( $\Sigma L$ ) y la velocidad de operación es mayor de setenta (70) kilómetros por hora, entonces el nivel de ajuste será Alto (H) por lo que se requerirá un cemento asfáltico PG 76H-16.

**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  Intensidad del tránsito ( $\Sigma L$ ) [1]	Nivel de ajuste		
	$v > 70$	$20 \leq v \leq 70$	$v < 20$
$\Sigma L < 10^6$	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]  $\Sigma L$  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.

**E. REQUISITOS DE CALIDAD PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS SEGÚN SU GRADO DE DESEMPEÑO (PG)**

Los cementos asfálticos con los grados de desempeño (PG) seleccionados como se indica en la Cláusula D. de esta Norma, antes y después de envejecidos en el laboratorio para simular las condiciones del envejecimiento que se espera tengan durante su vida útil en la obra, cumplirán con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 2 de esta Norma.



**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 <sup>[1]</sup> , °C	≤ 64		≤ 70		≤ 76		≤ 82	
Temperatura mínima del pavimento <sup>[1]</sup> , °C	≥ -16	≥ -22	≥ -16	≥ -22	≥ -16	≥ -22	≥ -16	≥ -22
<b>Cemento asfáltico original</b>								
Punto de inflamación Cleveland <sup>[2]</sup> , °C, mín.	230							
Viscosidad rotacional 135°C <sup>[2]</sup> , Pa·s, máx.	3							
Punto de reblandecimiento <sup>[2]</sup> , °C, mín.	48				55			
Separación, diferencia anillo y esfera <sup>[2]</sup> , °C, máx.	-				2			
Recuperación elástica por torsión 25°C <sup>[2]</sup> , %, mín.	-				35			
Módulo reológico de corte dinámico <sup>[2]</sup> (G*/sen δ) <sup>[2]</sup> , kPa, mín.	1,0							
· Temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	64		70		76		82	
<b>Después de envejecimiento en horno RTFO <sup>[2]</sup></b>								
Pérdida por calentamiento <sup>[2]</sup> , %, máx.	1,0							
Recuperación elástica en ductilómetro <sup>[5]</sup> , 25°C, %, mín.	-				75			
Módulo reológico de corte dinámico (G*/sen δ) <sup>[2]</sup> , kPa, mín.	2,2							
· Temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	64		70		76		82	
<b>Tráfico Normal "S", Nivel de Ajuste (MSCR) <sup>[3]</sup></b>								
· Jnr a 3,2 kPa en MSCR <sup>[2][4]</sup> ; kPa-1, máx.	4,0							
· Temperatura de prueba, °C	64		70		76		82	
· Respuesta elástica, RE a 3,2 kPa en MSCR <sup>[2][6]</sup> ; %, mín.	-				25			
<b>Tráfico Alto "H", Nivel de Ajuste (MSCR) <sup>[3]</sup></b>								
· Jnr a 3,2 kPa en MSCR <sup>[2][4]</sup> ; kPa-1, máx.	2,0							
· Temperatura de prueba, °C	64		70		76		82	
· Respuesta elástica, RE a 3,2 kPa en MSCR <sup>[2][6]</sup> ; %, mín.	-				25			
<b>Tráfico Muy Alto "V", Nivel de Ajuste (MSCR) <sup>[3]</sup></b>								
· Jnr a 3,2 kPa en MSCR <sup>[2][4]</sup> ; kPa-1, máx.	1,0							
· Temperatura de prueba, °C	64		70		76		82	
· Respuesta elástica, RE a 3,2 kPa en MSCR <sup>[2][6]</sup> ; %, mín.	-				30			
<b>Tráfico Extremadamente Alto "E", Nivel de Ajuste (MSCR) <sup>[3]</sup></b>								
· Jnr a 3,2 kPa en MSCR <sup>[2][4]</sup> ; kPa-1, máx.	0,5							
· Temperatura de prueba, °C	64		70		76		82	
· Respuesta elástica, RE a 3,2 kPa en MSCR <sup>[2][6]</sup> ; %, mín.	-				40			

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

[2] Determinado mediante el procedimiento de prueba que corresponda, de las Normas y Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma.

[3] Los niveles de ajuste son los indicados en la Tabla 1 de esta Norma.

[4] Jnr representa la fluencia relativa del cemento asfáltico y la prueba con que se determina simula las condiciones de trabajo del cemento asfáltico durante la vida útil del pavimento.

[5] Determinado mediante el procedimiento de prueba correspondiente al método de ensayo A de la Norma ASTM D6084M-13.

[6] La respuesta elástica es el porcentaje de deformación recuperada en cada ciclo de esfuerzo-deformación-recuperación y permite determinar el comportamiento elástico y la susceptibilidad a la deformación del cemento asfáltico.

CONTINÚA LA TABLA 2

## CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

N-CMT-4-05-004/18

### 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 <sup>[1]</sup> , °C	≤ 64		≤ 70		≤ 76		≤ 82	
Temperatura mínima del pavimento <sup>[1]</sup> , °C	≥ -16	≥ -22	≥ -16	≥ -22	≥ -16	≥ -22	≥ -16	≥ -22
<b>Después de envejecimiento en horno a presión (PAV)</b>								
Temperatura de envejecimiento PAV <sup>[2]</sup> , °C	100							
· En climas normales	100				110			
· En climas desérticos	100				110			
Rigidización (G*sen δ) <sup>[2]</sup> , kPa, máxima	5 000							
· Temperatura de prueba @ 10 rad/s; °C	28	25	31	28	34	31	37	34
Rigidez de Flexión <sup>[2]</sup>	5 000							
S(t) <sup>[1]</sup> , 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.

[2] Determinado mediante el procedimiento de prueba que corresponda, de las Normas y Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma.

## F. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE LOS CEMENTOS ASFÁLTICOS

Con el propósito de evitar la alteración de las propiedades de los cementos asfálticos antes de su utilización en la obra, ha de tenerse cuidado en su transporte y almacenamiento, atendiendo lo señalado para ello en la Norma N-CMT-4-05-001, *Calidad de Materiales Asfálticos*.

## G. CRITERIOS PARA ACEPTACIÓN O RECHAZO

Para que un cemento asfáltico con un determinado grado de desempeño (PG) y nivel de ajuste, como cemento asfáltico o en emulsión asfáltica, sea aceptado por la Secretaría, antes de su utilización, el Contratista de Obra entregará a la Secretaría un certificado de calidad por cada autotanque o depósito que garantice la calidad del mismo y será motivo de rechazo el incumplimiento de cualquiera de los requisitos establecidos en esta Norma. En todo momento la Secretaría podrá verificar la calidad del cemento asfáltico. El certificado de calidad a entregar por el Contratista de obra será expedido por su laboratorio de control de calidad o por un laboratorio externo, que se encuentre aprobado en evaluación emitida por parte de la Secretaría en el área de asfaltos.

SCT



**H. BIBLIOGRAFÍA**

Asphalt Institute, *Background of SUPERPAVE Asphalt Mixture Design and Analysis*, Lexington, KY, EUA, (Nov. 1994).

American Association of State Highway and Transportation Officials, *Norma AASHTO M 320-17, Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder*, Washington, DC, EUA, (2017).

American Association of State Highway and Transportation Officials, *Norma AASHTO M 332-14, Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder Using Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test*, Washington, DC, EUA, (2014).

Federal Highway Administration, Report No. FHWA-RD-97-103, LTPP Seasonal Asphalt Concrete (AC) Pavement Temperature Models, McLean, VA, EUA, (1998).



SCT

SECRETARÍA DE  
COMUNICACIONES  
Y TRANSPORTES

