

LIBRO: **MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES**

PARTE: **4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS**

TÍTULO: 05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

CAPÍTULO: 064. Selección y Clasificación del Grado de Desempeño (PG) de Cementos Asfálticos

A. CONTENIDO

Este Manual contiene el procedimiento para seleccionar y clasificar el grado de desempeño (PG) de los cementos asfálticos, convencionales o modificados, para ser utilizados en la elaboración de mezclas asfálticas que se utilicen en la construcción de carpetas, al que se refiere la Norma N·CMT·4·05·004, *Calidad de Cementos Asfálticos según su Grado de Desempeño (PG)*.

B. OBJETIVO

Este procedimiento permite determinar las temperaturas bajas y altas que se esperan en la carpeta asfáltica de un pavimento en un tramo carretero, ubicado en una zona geográfica determinada, las cuales servirán de base para seleccionar el cemento asfáltico según su grado de desempeño (PG) más adecuado para el clima de la zona en estudio, y luego clasificarlo de acuerdo con la intensidad de tránsito y la velocidad de proyecto u operación del tramo carretero.

C. REFERENCIAS

Este Manual se complementa con la Norma N·CMT·4·05·004, *Calidad de Cementos Asfálticos según su Grado de Desempeño (PG)*.

D. PROCEDIMIENTO PARA LA SELECCIÓN DEL GRADO DE DESEMPEÑO (PG)

Para seleccionar el cemento asfáltico más adecuado para una carpeta que se construirá en una zona geográfica con condiciones de temperaturas específicas, será necesario determinar las temperaturas máxima y mínima por lo menos en los últimos 20 años como se indica a continuación:

D.1. CÁLCULO DE LAS TEMPERATURAS MÁXIMA Y MÍNIMA

Los datos del clima en la zona geográfica, se pueden obtener a partir de las bases de datos del Sistema Meteorológico Nacional o de la Secretaría. También puede utilizarse otra fuente de información que sea confiable u oficial, preferiblemente que cuenten con datos estadísticos de más de 20 años.

Con los datos estadísticos del clima de la zona geográfica donde se vaya a realizar la obra, se calculan las temperaturas máximas y mínimas, de acuerdo con lo siguiente:

D.1.1. Cálculo de la temperatura máxima $T_{máx}$

Empleando la siguiente fórmula se calculan las temperaturas máximas esperadas en la carpeta en los sitios donde inicia ($T_{máx_1}$) y termina ($T_{máx_2}$) el 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 de la Norma N·CMT·4·05·004,

Calidad de Cementos Asfálticos según su Grado de Desempeño (PG). 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 sea mayor de ochenta y dos (82) grados Celsius se requerirá un diseño especial como se indica en el Inciso D.1.3. de este Manual.

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

Donde:

- $T_{máx_i}$ = Temperatura máxima calculada debajo de la superficie del pavimento asfáltico en el sitio, $i=1$ donde inicia el tramo e $i=2$ donde termina el tramo por construir, seleccionando la que resulte mayor de los dos valores, (°C)
- T_{airM} = Temperatura máxima promedio del aire de los 7 días consecutivos más cálidos registrados por lo menos en los últimos 20 años en la zona, (°C)
- Lat_i = Latitud en el sitio, $i=1$ donde inicia el tramo e $i=2$ 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)

D.1.2. Cálculo de la temperatura mínima, $T_{mín}$ de la zona geográfica donde se vaya a realizar la obra

Empleando la siguiente fórmula se calcula la temperatura mínima esperada en la carpeta ($T_{mín}$) 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.1.3. de este Manual.

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

Donde:

- $T_{mín_i}$ = Temperatura mínima calculada debajo de la superficie del pavimento asfáltico en el sitio, $i=1$ donde inicia el tramo e $i=2$ donde termina el tramo por construir, seleccionando la que resulte menor de los dos valores, (°C)
- T_{airm} = Promedio de las temperaturas mínimas anuales del aire registradas en al menos los últimos 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 las temperaturas mínimas anuales del aire registradas en al menos en los últimos 20 años en la zona, (°C)

D.1.3. Para aquellos casos de diseños especiales de mezclas asfálticas, donde las temperaturas máxima o mínima para seleccionar el grado de desempeño (PG) del cemento asfáltico resulte ser mayor o menor respectivamente a las indicadas en la Tabla 2 de la Norma N-CMT-4-05-004, *Calidad de Cementos Asfálticos según su Grado de Desempeño (PG)* (temperaturas máximas: sesenta y cuatro (64), setenta (70), setenta y seis (76) u ochenta y dos (82) grados Celsius, y temperaturas mínimas: 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.1.4. Las temperaturas máxima y mínima calculadas como se indica en la Fracción D.1. de este Manual, 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.

E. CLASIFICACIÓN CEMENTO ASFÁLTICO SEGÚN SU GRADO DE DESEMPEÑO(PG) POR INTENSIDAD DE TRÁNSITO Y VELOCIDAD DE PROYECTO U OPERACIÓN DE LA CARRETERA

Dependiendo de la intensidad de tránsito y velocidad de proyecto u operación el cemento asfáltico se clasifica agregando la letra correspondiente adelante del valor de la temperatura máxima de la nomenclatura del cemento asfáltico de manera que se lea con el siguiente formato: *PG XX(Letra)- XX*. Las letras asignadas son Normal (S), Alto (H), Muy Alto (V) o Extremadamente Alto (E) de acuerdo con lo indicado en la Tabla 1 de este Manual.

Por ejemplo, si el grado de desempeño (PG) seleccionado es PG 76-16, la intensidad del tránsito es de veinte millones (20 x 10⁶) de ejes equivalentes (ΣL) de ocho coma dos (8,2) toneladas y la velocidad de proyecto u operación es mayor de setenta (70) kilómetros por hora, entonces la letra que se le asignará será: Alto (H) por lo que se requerirá un cemento asfáltico PG 76H-16.

TABLA 1.- Asignación por intensidad de tránsito y velocidad de proyecto u operación

Velocidad del proyecto u operación km/h Intensidad del tránsito (ΣL) [1]	Letra asignada		
	v > 70	20 ≤ v ≤ 70	v < 20
ΣL < 10 ⁶	Normal (S)	Alto (H)	Muy alto (V)
10 ⁶ ≤ ΣL < 30×10 ⁶	Alto (H)	Alto (H)	Muy alto(V)
ΣL ≥ 30×10 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.

F. EJEMPLO DE SELECCIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO SEGÚN SU GRADO DE DESEMPEÑO (PG) PARA UNA MEZCLA ASFÁLTICA

En este ejemplo se utilizó el tramo carretero de Santiago de Querétaro - Puebla, y los cálculos se muestran a continuación:

F.1. TEMPERATURAS MÁXIMA Y MÍNIMA

Los datos del clima en la zona geográfica, se obtuvieron de las bases de datos del Sistema Meteorológico Nacional.

F.1.1. Cálculo de la temperatura máxima *T_{máx_i}*

F.1.1.1. Con la información de las estaciones climatológicas seleccionadas, se calcula la temperatura máxima *T_{máx_i}* del inicio del tramo como se muestra a continuación:

$$T_{máx_1} = 54,32 + 0,78T_{airM} - 0,0025Lat_1^2 - 15,14log(H + 25) + z(9 + 0,61\sigma_{TairM}^2)^{0,5}$$

Donde:

$$\begin{aligned} T_{airM} &= 32,4 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ Lat_1 &= 20,58311^{\circ} \\ H &= 20 \text{ mm} \\ \sigma_{TairM} &= 0,79 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ Z &= 2,055 \text{ para un 98\% de confiabilidad} \end{aligned}$$

Sustituyendo los valores de temperatura de la estación, se calcula la temperatura máxima donde inicia el tramo, $Tmáx_1$:

$$Tmax_1 = 54,32 + 0,78(32,4) - 0,0025(20,58311)^2 - 15,14Log(20 + 25) + 2,055[9 + 0,61(0,79^2)]^{0,5}$$

$$Tmax_1 = 59,8^{\circ}\text{C}$$

F.1.1.2. Se calcula la temperatura máxima donde termina el tramo, $Tmáx_2$, sustituyendo los valores correspondientes:

$$Tmax_2 = 54,32 + 0,78T_{airM} - 0,0025Lat_2^2 - 15,14log(H + 25) + z(9 + 0,61\sigma_{TairM}^2)^{0,5}$$

Donde:

$$\begin{aligned} T_{airM} &= 33,3 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ Lat_1 &= 19,15814^{\circ} \\ H &= 20 \text{ mm} \\ \sigma_{TairM} &= 0,76 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ Z &= 2,055 \text{ para un 98\% de confiabilidad} \end{aligned}$$

$$Tmax_2 = 54,32 + 0,78(33,3) - 0,0025(19,15814)^2 - 15,14Log(20 + 25) + 2,055[9 + 0,61(0,76^2)]^{0,5}$$

$$Tmax_2 = 60,6^{\circ}\text{C}$$

De acuerdo con las temperaturas máximas $Tmáx_1$ obtenidas de $59,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y de $60,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente, se selecciona aquella que presenta la mayor temperatura máxima $Tmax_i$. El cemento asfáltico que puede cumplir con este requisito es el de grado de desempeño PG 64, de acuerdo con la Tabla 2 de la Norma N-CMT-4-05-004, *Calidad de Cementos Asfálticos según su Grado de Desempeño (PG)*.

F.1.2. Cuando se presente una diferencia de temperatura máxima $Tmax_i$ entre el inicio y fin del tramo mayor a un grado de desempeño (PG), se divide el tramo en estudio en subtramos cuya temperatura sea más parecida.

F.1.3. Cálculo de la temperatura mínima $Tmín_i$

F.1.3.1. Con la información de las estaciones climatológicas seleccionadas, se calcula la temperatura mínima $Tmin_i$ de donde comienza el tramo; a continuación, se muestra el cálculo donde inicia el tramo:

$$Tmin_1 = -1,56 + 0,72T_{airm} - 0,004Lat_1^2 + 6,26Log(H + 25) - Z(4,4 + 0,52\sigma_{Tairm}^2)^{0,5}$$

Donde:

$$\begin{aligned} T_{airm} &= -1,2 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ Lat_1 &= 20,58311^{\circ} \\ H &= 20 \text{ mm} \\ \sigma_{Tairm} &= 2,055 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ Z &= 2,02 \text{ para 98\% de confiabilidad} \end{aligned}$$

Sustituyendo con los valores de temperatura de esta estación, se calcula la temperatura mínima donde inicia del tramo $T_{mín_1}$:

$$T_{mín_1} = -1,56 + 0,72(-1,2) - 0,004(20,58311)^2 + 6,26\text{Log}(20 + 25) - 2,055[4,4 + 0,52(2,02^2)]^{0,5}$$

$$T_{mín_1} = 1,0 \text{ °C}$$

F.1.3.2. Se calcula la temperatura mínima donde termina el tramo, $T_{mín_2}$, sustituyendo los valores correspondientes:

$$T_{mín_2} = -1,56 + 0,72T_{airm} - 0,004Lat_2^2 + 6,26\text{Log}(H + 25) - Z(4,4 + 0,52\sigma_{Tairm}^2)^{0,5}$$

Donde:

$$T_{airm} = -0,7 \text{ °C}$$

$$Lat_2 = 19,04139^\circ$$

$$H = 20 \text{ mm}$$

$$\sigma_{Tairm} = 1,38 \text{ °C}$$

$$Z = 2,055 \text{ para } 98\% \text{ de confiabilidad}$$

$$T_{mín_2} = -1,56 + 0,72(-0,7) - 0,004(19,04139)^2 + 6,26\text{Log}(20 + 25) - 2,055[4,4 + 0,52(1,38^2)]^{0,5}$$

$$T_{mín_2} = 2,1 \text{ °C}$$

F.1.4. De acuerdo con las temperaturas mínimas, $T_{mín_1}$ y $T_{mín_2}$ obtenidas, de 1,0 °C y de 2,1 °C, respectivamente, se selecciona aquella que presenta el valor menor de la temperatura mínima $T_{mín_i}$. El cemento asfáltico que puede cumplir con este requisito es el de grado de desempeño PG -16 de acuerdo con la Tabla 2 de la Norma N-CMT-4-05-004, *Calidad de Cementos Asfálticos según su Grado de Desempeño (PG)*.

F.1.5. Los resultados obtenidos indican que la mezcla asfáltica para el tramo Santiago de Querétaro-Puebla requiere de un cemento asfáltico con grado de desempeño (PG) 64 -16.

F.2. CLASIFICACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO SEGÚN SU GRADO DE DESEMPEÑO (PG) POR INTENSIDAD DE TRÁNSITO Y VELOCIDAD DE PROYECTO U OPERACIÓN

Continuando con el ejemplo para el que se toman en cuenta los factores de intensidad de tránsito y velocidad de operación del tramo carretero en estudio, se ha considerado una velocidad mayor a 70 kilómetros por hora y una intensidad de tránsito (ΣL) total de 13,3 millones de ejes equivalentes en su vida de diseño; con estos valores y de acuerdo con la Tabla 1 de este Manual, el cemento asfáltico requerido para el tramo carretero Santiago de Querétaro-Puebla se clasifica como (PG) 64H-16.

G. REPORTE DE RESULTADOS

Se reporta como resultado del procedimiento, la selección y la clasificación del cemento asfáltico según su grado de desempeño para el tramo carretero en estudio, de acuerdo con el formato: *PG XX(Letra)- XX*, al que se refiere la Cláusula E. de este Manual.

COMUNICACIONES

SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



SUBSECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA

Dirección General de Servicios Técnicos

Av. Coyoacán 1895

Col. Acacias, Benito Juárez, 03240

Ciudad de México

www.gob.mx/sct



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

Km 12+000, Carretera Estatal No. 431

"El Colorado-Galindo", San Fandila,

Pedro Escobedo, 76703, Querétaro

<https://normas.imt.mx>

normas@imt.mx