

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

PARTE: **4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS**

TÍTULO: 05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

CAPÍTULO: 072. *Determinación de la Razón de Expansión y la Vida Media del Cemento Asfáltico Espumado*

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento para determinar la razón de expansión y la vida media del cemento asfáltico espumado e identificar el contenido óptimo de agua y la temperatura adecuada en la producción del cemento asfáltico espumado, a que se refiere la Norma N·CMT·4·05·006, *Calidad de Cementos Asfálticos para Mezclas Asfálticas Espumadas* y el Manual M·MMP·4·05·066, *Método de Diseño para Mezclas con Material Pétreo Recuperado y Cemento Asfáltico Espumado*.

B. OBJETIVO DE LA PRUEBA

Esta prueba permite determinar la razón de expansión y la vida media del cemento asfáltico espumado considerando distintos contenidos de agua inyectada y temperaturas del cemento asfáltico, con el objetivo de identificar el contenido óptimo de agua inyectada y la temperatura que permitan el adecuado espumado para el cemento asfáltico.

C. REFERENCIAS

Este Manual se complementa con la Norma N·CMT·4·05·006, *Calidad de Cementos Asfálticos para Mezclas Asfálticas Espumadas* y el Manual M·MMP·4·05·066, *Método de Diseño para Mezclas con Material Pétreo Recuperado y Cemento Asfáltico Espumado*.

D. EQUIPO

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado o verificado, según sea el caso, limpio y completo en todas sus partes.

D.1. UNIDAD DE CEMENTO ASFÁLTICO ESPUMADO

Capaz de producir cemento asfáltico espumado a una tasa de 50 a 200 g por segundo. La unidad estará equipada con una vasija controlada por un termostato, capaz de mantener una masa de 10 kg de cemento asfáltico a una temperatura constante comprendida entre 160 y 190 ± 5 °C. Además, estará equipada con un sistema de inyección de agua, en el que la masa de agua inyectada en el cemento asfáltico caliente pueda variar de 0 a 5 ± 0,25 %, en masa del cemento asfáltico. Será capaz de inyectar aire comprimido con una presión de aire de 1 MPa (10 bares). Contará también con una varilla de medición y un contenedor donde se vierta directamente el cemento asfáltico espumado producido por la unidad. Un esquema de la unidad de cemento asfáltico espumado se muestra en la Figura 1 de este Manual.

D.2. CONTENEDOR DE LA UNIDAD

Metálico y cilíndrico, con un diámetro de 275 ± 5 mm y capacidad de 20 L.

D.3. VARILLA DE MEDICIÓN O REGLA GRADUADA

Metálica graduada con marcas o puntas. La distancia entre cada una de las marcas o puntas indicará la expansión de una masa de 500 g de asfalto al espumarse en el contenedor de la unidad de cemento asfáltico espumado en número de veces.

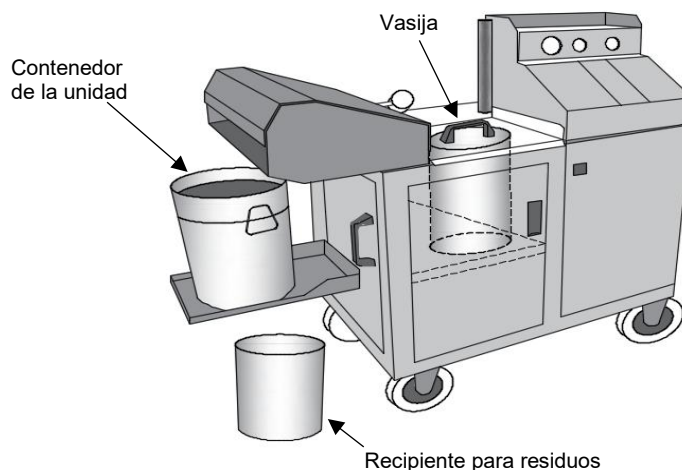


FIGURA 1.- Unidad de cemento asfáltico espumado

D.4. HORNOS

D.4.1. Para precalentar el cemento asfáltico antes de la prueba, capaz de mantener una temperatura en el rango de 105 a 180 ± 1 °C.

D.4.2. Para precalentar el contenedor de la unidad de cemento asfáltico espumado, con las dimensiones adecuadas para el contenedor de la unidad y capaz de calentarlo a una temperatura de 75 °C.

D.5. BALANZA

Con capacidad de al menos 10 kg y una resolución mínima de $0,1$ g.

D.6. TERMÓMETRO INFRARROJO

Con un rango de medición de 0 a 200 °C y una resolución de 1 °C.

D.7. CRONÓMETRO

Digital con una resolución de $0,2$ s.

D.8. VASO DE PRECIPITADOS

De plástico con capacidad de 500 mL.

D.9. PROBETA

De vidrio con capacidad de 50 mL.

D.10. RECIPIENTES PARA RESIDUOS

Dos, de acero, adecuados para contener el cemento asfáltico y el cemento asfáltico espumado, con capacidad de 10 L.

D.11. EQUIPO DE SEGURIDAD

Para protección personal, consistente de bata de manga larga, guantes con protección química o de carnaza capaces de resistir una temperatura de 200 °C, mascarilla para polvos (respirador) tipo N90, calzado de seguridad, anteojos transparentes resistentes a químicos y protección auditiva.

E. MATERIALES

Todos los materiales por emplear serán de alta calidad, considerando siempre la fecha de su caducidad.

E.1. CEMENTO ASFÁLTICO

El cemento asfáltico que se utilice para la prueba cumplirá con los requisitos de calidad descritos en la Norma N·CMT·4·05·006, *Calidad de Cementos Asfálticos para Mezclas Asfálticas Espumadas*.

E.2. AGUA

El agua que se utilice para la prueba cumplirá con los requisitos de calidad descritos en la Norma N·CMT·4·05·006, *Calidad de Cementos Asfálticos para Mezclas Asfálticas Espumadas*.

F. PREPARACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO

Se obtiene una muestra de 10 L como mínimo del cemento asfáltico y se calienta en el recipiente de acero en el horno a una temperatura de 100 °C.

G. PREPARACIÓN DE LA UNIDAD DE CEMENTO ASFÁLTICO ESPUMADO

La unidad de cemento asfáltico espumado se prepara para que se tenga el volumen de cemento asfáltico y agua, en la cantidad y por el tiempo necesarios, de acuerdo con lo siguiente:

- G.1. Se conecta la unidad de cemento asfáltico espumado a la red eléctrica y se enciende.
- G.2. Se ajusta el control de temperatura de la unidad a una temperatura previamente establecida que normalmente es entre 160 y 180 °C.
- G.3. Se saca del horno el recipiente de acero con el cemento asfáltico y se vierten 10 L en la vasija de la unidad.
- G.4. Una vez que la temperatura del cemento asfáltico en la vasija supere los 140 °C, se pone en marcha el bombeo del cemento asfáltico para hacerlo circular por el sistema y se continúa circulando hasta alcanzar la temperatura requerida de acuerdo con el tipo de cemento asfáltico que se utilice.
- G.5. Se llena el depósito de agua de la unidad.
- G.6. Se pesa el contenedor de la unidad de 20 L vacío en la balanza y se registra el valor como M_1 en g, después se coloca bajo la salida del cemento asfáltico espumado.
- G.7. Se ajusta la tasa de descarga del cemento asfáltico espumado siguiendo las instrucciones del fabricante del equipo; normalmente se establece una tasa de 100 g vertidos en 5 s.
- G.8. Se descarga el cemento asfáltico espumado en el contenedor durante el tiempo preestablecido, se pesa y se registra este valor como M_2 , en g. Se comprueba que la masa del cemento asfáltico espumado descargado sea de 500 ± 10 g. A continuación, se vacía el cemento asfáltico espumado en el recipiente de residuos. Si la masa del cemento asfáltico espumado vertido en el contenedor es mayor de 500 ± 10 g, se repite el procedimiento, realizando los ajustes necesarios al equipo siguiendo las instrucciones del fabricante.

- G.9.** Se ajusta la tasa de inyección del agua con el caudalímetro siguiendo las instrucciones del fabricante del equipo.
- G.10.** Se descarga agua en el vaso de precipitados durante el período preestablecido. Se transfiere el agua a la probeta y se determina el volumen de agua descargada. Si el volumen de agua no es igual al 5 % del volumen deseado, se repite el procedimiento ajustando el caudalímetro de agua hasta que el caudal de descarga sea el adecuado.
- G.11.** Se revisa que la varilla de medición esté limpia y que el contenedor de 20 L esté vacío; se precalienta el contenedor en el horno durante al menos 5 min a 75 °C.

H. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

- H.1.** Se hace circular el cemento asfáltico contenido en la vasija a través del sistema a 160 °C durante al menos 5 min antes de la prueba.
- H.2.** Se comprueba que se han efectuado los ajustes correctos del temporizador para la descarga del cemento asfáltico espumado, así como del caudalímetro para la inyección de agua. El caudalímetro de agua se ajusta normalmente para inyectar el 2 % de agua por masa de cemento asfáltico para el primer ciclo de prueba.
- H.3.** Se descarga el cemento asfáltico espumado en el contenedor precalentado, durante el tiempo necesario para rociar 500 g de cemento asfáltico.
- H.4.** Se pone en marcha el cronómetro en cuanto comience la descarga de cemento asfáltico espumado.
- H.5.** Utilizando la varilla de medición, se determina con aproximación al entero, la altura máxima que alcanza el cemento asfáltico espumado en el contenedor y se registra como la razón de expansión máxima, h_1 , en número de veces.
- H.6.** Se continúa midiendo el tiempo que tarda la espuma en disiparse hasta la mitad de su volumen máximo en el contenedor. Cuando se alcance este punto, se detiene el cronómetro y se registra el tiempo transcurrido, con una aproximación de 1 s, como la vida media del cemento asfáltico espumado t_1 , en s. A continuación, se vacía el cemento asfáltico espumado en el recipiente para residuos.
- H.7.** Se repiten los pasos indicados en las Fracciones H.3. a H.6. tres veces y se registran, para cada repetición n , los valores h_n y t_n .
- H.8.** Se calculan y registran los valores promedios de los tres pares de resultados de razón de expansión y de la vida media.
- H.9.** Se determina la razón de expansión y la vida media considerando otros porcentajes de agua, siguiendo los pasos indicados en las Fracciones H.3. a H.7. Normalmente estos valores se determinan inyectando 1, 2, 3 y 4 % de agua respecto de la masa de cemento asfáltico.
- H.10.** Se repiten los pasos indicados en las Fracciones H.1. a H.9. con el cemento asfáltico a dos temperaturas superiores. Normalmente las dos temperaturas más altas utilizadas para las pruebas son 170 y 180 °C. En ningún caso se calentará el cemento asfáltico por encima de 190 °C.
- H.11.** Se registran los resultados de la prueba para cada temperatura utilizando el formato mostrado en la Tabla 1 de este Manual.

TABLA 1.- Formato de registro para determinar los valores promedio de razón de expansión y vida media del cemento asfáltico espumado

Influencia del contenido de agua en la razón de expansión y la vida media del cemento asfáltico espumado									
Fecha:				Tipo de cemento asfáltico:					
Nombre del laboratorista:				Tiempo de inyección (s):					
		Cemento asfáltico		Agua		Aire			
Temperatura (°C)									
Presión (MPa [bar])									
Flujo (g/s)									
Agua inyectada		1ª medición		2ª medición		3ª medición		Promedio	
Agua (%)	Caudal (L/h)	h_1	t_1	h_2	t_2	h_3	t_3	h_p	t_p

I. CÁLCULOS Y RESULTADOS

Como resultado de esta prueba, se calcula y reporta lo siguiente:

I.1. MASA DE CEMENTO ASFÁLTICO ESPUMADO

Se calcula la masa del cemento asfáltico espumado vertida en 5 s, a que se refiere la Fracción G.8. de este Manual, utilizando la siguiente expresión:

$$M_{cae} = M_2 - M_1$$

Donde:

M_{cae} = Masa del cemento asfáltico espumado vertida en 5 s, (g)

M_1 = Masa del contenedor vacío, (g)

M_2 = Masa del contenedor con el cemento asfáltico espumado, (g)

I.2. CONTENIDO ÓPTIMO DE AGUA

I.2.1. Se elaboran tres gráficas de contenido óptimo de agua, una por cada temperatura de prueba del cemento asfáltico. En cada gráfica se representan las pendientes de la razón de expansión y la vida media a los diferentes porcentajes de agua inyectada en el cemento asfáltico; las gráficas serán elaboradas considerando la información indicada en las Tablas 2 y 3 de este Manual. En la Figura 2 de este Manual se muestra el ejemplo de la gráfica utilizada para determinar el contenido óptimo de agua inyectada.

TABLA 2.- Datos y requisitos del eje horizontal de la gráfica

Eje horizontal:	Contenido de agua inyectada
Unidad:	Porcentaje (%)
Escala:	1 % = 40 mm

TABLA 3.- Datos y requisitos del eje vertical de la gráfica

Eje vertical:			
Ordenada izquierda:	Razón de expansión	Ordenada derecha:	Vida media
Unidad:	Veces de expansión	Unidad:	Segundos
Escala:	1 vez = 5 mm	Escala:	1 segundo = 2,5 mm

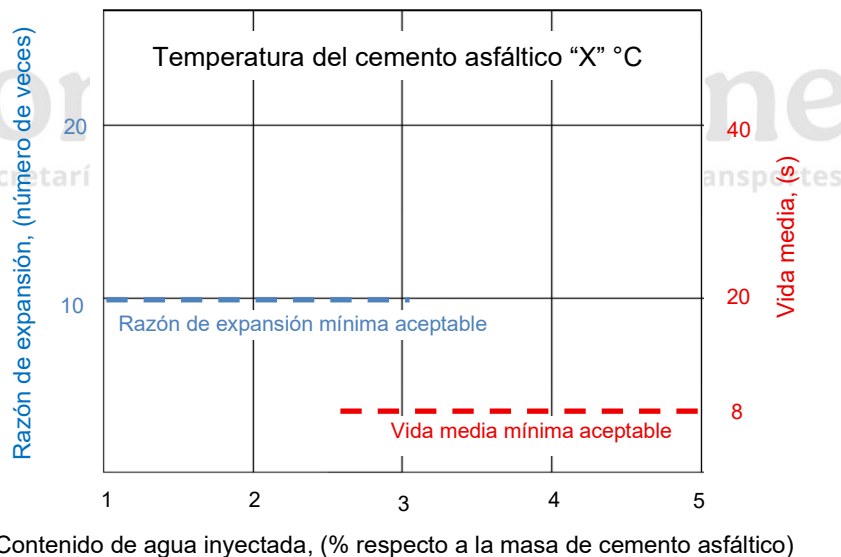


FIGURA 2.- Gráfica para determinar el contenido óptimo de agua inyectada

I.2.2. Una vez trazados los ejes de la gráfica, se realiza lo siguiente:

- I.2.2.1.** Se ubican en la gráfica los valores de razón de expansión obtenidos para cada porcentaje de agua inyectada en cada prueba y se unen los puntos con una línea para obtener la pendiente de razón de expansión.
- I.2.2.2.** Se ubican en la gráfica los valores de vida media obtenidos para cada porcentaje de agua inyectada en cada prueba y se unen los puntos con una línea para obtener la pendiente de vida media.
- I.2.2.3.** Se ubica en la línea de la pendiente de razón de expansión, el valor de razón de expansión mínimo aceptable y se proyecta este punto sobre el eje horizontal de la gráfica para obtener el contenido de agua de la razón de expansión.

- I.2.2.4. Se ubica en la línea de la pendiente de la vida media, el valor de la vida media mínima aceptable y se proyecta este punto sobre el eje horizontal de la gráfica para obtener el contenido de agua de la vida media.
- I.2.2.5. Se determina el contenido óptimo de agua inyectada como la media de los dos contenidos de agua necesarios para cumplir con los requisitos mínimos de razón de expansión y vida media, respectivamente, y se ubica este punto en la gráfica.
- I.2.2.6. Sobre el punto del contenido óptimo de agua inyectada determinado como se indica en el Párrafo anterior, se traza una línea vertical y se ubican los puntos que intersectan esta línea con las líneas de pendiente de razón de expansión y pendiente de vida media. Se determinan los valores de razón de expansión y vida media para el contenido óptimo de agua proyectando estos puntos hacia los ejes verticales de razón de expansión y vida media, respectivamente. En la Figura 3 de este Manual se muestra un ejemplo de la determinación del contenido óptimo de agua inyectada y sus valores de razón de expansión y vida media, donde las líneas de la pendiente de expansión y vida media se muestran en línea continua en color azul y rojo, respectivamente, la línea del contenido óptimo de agua se muestra en línea continua en color verde y las líneas de determinación de la razón de expansión y vida media asociadas al contenido óptimo de agua se muestran en líneas discontinuas en color verde.

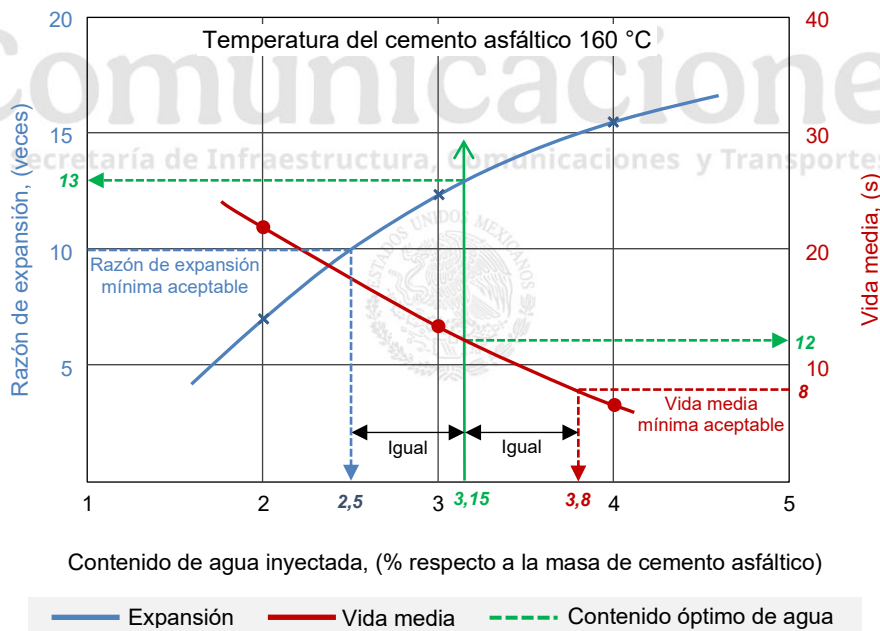


FIGURA 3.- Ejemplo de gráfica para la determinación del contenido óptimo de agua inyectada y sus valores de razón de expansión y vida media

- I.2.2.7. Una vez elaboradas las tres gráficas de razón de expansión y vida media para cada temperatura de cemento asfáltico, y determinados los contenidos óptimos de agua, razón de expansión y vida media, se comparan los resultados de razón de expansión y vida media. La cantidad óptima de agua y temperatura adecuada del cemento asfáltico para producir las mejores condiciones de espumado es la que presente los mayores valores de razón de expansión y vida media.
- I.3. La información que se reporte como resultado de la prueba de determinación de la razón de expansión y la vida media del cemento asfáltico espumado se presenta en un formato de reporte como el que se muestra en la Tabla 4 de este Manual.

TABLA 4.- Reporte de resultados de la prueba de determinación de la razón de expansión y la vida media del cemento asfáltico espumado

Prueba: Razón de expansión y vida media									
Fecha de la prueba:									
Obra:									
Ubicación:									
Tramo:									
Origen del cemento asfáltico:									
Resultados de la prueba									
Tipo de cemento asfáltico utilizado:									
Prueba No.:	1			2			3		
Temperatura, °C									
Agua añadida, %									
Vida media, s									
Razón de expansión, veces									
Prueba No.1 Gráfica de resultados para ___°C 					Prueba No.2 Gráfica de resultados para ___°C 				
Prueba No.3 Gráfica de resultados para ___°C 									
Características del cemento asfáltico espumado									
Característica	Obtenido			Requisito de aceptación					
Temperatura, °C				150 a 180					
Contenido óptimo de agua, %				1 a 5					
Vida media, s				8 mínimo					
Razón de expansión, número de veces				10 mínimo					
Resultado:									
La cantidad óptima de agua para espumar el cemento asfáltico es de ___ % a una temperatura de ___°C.									

I.4. El informe de los resultados incluirá como mínimo los siguientes datos:

- Proyecto u obra y ubicación.
- Tipo o clave de identificación del cemento asfáltico empleado.
- Gráficas para la determinación del contenido óptimo de agua inyectada.
- Reporte de resultados de la prueba que incluya el contenido óptimo de agua inyectada obtenido, la razón de expansión, la vida media y las mediciones del cemento asfáltico espumado.
- Nombre y firma del laboratorista que ejecutó la prueba.
- Fecha de la prueba.
- Observaciones.

J. PRECAUCIONES

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se observarán las siguientes precauciones:

- J.1.** Que el cemento asfáltico no se caliente a más de 190 °C.
- J.2.** Que se compruebe la limpieza de los equipos y dispositivos empleados en la realización de las pruebas.
- J.3.** Que el equipo y dispositivos empleados en la realización de la prueba, el recipiente y demás partes del equipo, estén limpios y en condiciones de operación.
- J.4.** Que el equipo de prueba esté debidamente calibrado y en perfectas condiciones de mantenimiento.
- J.5.** Que se revise la dosis de agua inyectada, debido a que un aumento en la cantidad de agua incrementa la razón de expansión, pero disminuye la vida media del cemento asfáltico espumado.
- J.6.** Que se revise la presión bajo la cual el asfalto es inyectado en la cámara de expansión, ya que bajas presiones, menores a 0,3 MPa (3 bar), afectan negativamente tanto la razón de expansión como la vida media del cemento asfáltico espumado.

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
Km 12+000, Carretera Estatal No. 431
"El Colorado-Galindo", San Fandila,
Pedro Escobedo, 76703, Querétaro
<https://normas.imt.mx>
normas@imt.mx