

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

PARTE: **4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS**

TÍTULO: 05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

CAPÍTULO: 028. *Envejecimiento Acelerado del Cemento Asfáltico en Vasija de Envejecimiento a Presión (PAV)*

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento de prueba para simular el envejecimiento a largo plazo por medio de aire presurizado y temperatura elevada, de los cementos asfálticos a que se refiere la Norma N·CMT·4·05·004, *Calidad de Cementos Asfálticos según su Grado de Desempeño (PG)*.

B. OBJETIVO DE LA PRUEBA

Esta prueba permite simular los cambios reológicos que pueden ocurrir en un cemento asfáltico durante su envejecimiento (oxidación) a largo plazo. No es apropiada para simular la velocidad relativa de envejecimiento.

La prueba consiste en colocar el residuo envejecido de cemento asfáltico, obtenido previamente de la prueba descrita en el Manual M·MMP·4·05·027, *Envejecimiento del Cemento Asfáltico en Horno Rotatorio de Película Delgada (RTFO)*, en bandejas estándar de acero inoxidable y acondicionarlo, dentro de una vasija de presión, a una temperatura y presión especificadas. La alta presión aplicada durante este acondicionamiento está destinada a mejorar la difusión de aire en el cemento asfáltico con un enfoque en el oxígeno como componente reactivo de interés. Posteriormente, el residuo obtenido se somete a un proceso de vacío para extraer todas las burbujas de aire atrapadas, para finalmente realizar las pruebas a las que se refiere la Norma N·CMT·4·05·004, *Calidad de Cementos Asfálticos según su Grado de Desempeño (PG)* para determinar las propiedades del cemento asfáltico tras el envejecimiento acelerado en la vasija de envejecimiento a presión PAV (por sus siglas en inglés, *Pressurized Aging Vessel*).

C. REFERENCIAS

Son referencia de este Manual las normas ASTM D4753-15, *Standard Guide for Evaluating, Selecting, and Specifying Balances and Standard Masses for Use in Soil, Rock, and Construction Materials Testing*, publicada por la ASTM Internacional, en el año 2015, en EUA; ASTM E1137/E1137M-08(2020), *Standard Specification for Industrial Platinum Resistance Thermometers*, publicada por la ASTM Internacional, en el año 2020, en EUA; CGA G-7.1-2018, *Commodity Specification For Air - Seventh Edition* publicada por la Compressed Gas Association, Inc. (CGA), en el año 2018, en EUA; y la IEC 60751:2022, *Industrial Platinum Resistance Thermometers and Platinum Temperature Sensors*, publicada por la International Electrotechnical Commission, en el año 2022, en Ginebra, Suiza.

Además, este Manual se complementa con la Norma N·CMT·4·05·004, *Calidad de Cementos Asfálticos según su Grado de Desempeño (PG)* y el Manual M·MMP·4·05·027, *Envejecimiento del Cemento Asfáltico en Horno Rotatorio de Película Delgada (RTFO)*.

D. EQUIPO

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes.

D.1. EQUIPO PARA ENVEJECIMIENTO ACELERADO EN VASIJAS DE ENVEJECIMIENTO A PRESIÓN PAV

Un sistema de equipamiento que consta de una vasija de presión, hornos, dispositivos de control de presión, dispositivos de control de temperatura, dispositivos de medición de presión y temperatura y un sistema de registro de presión y temperatura, como se ilustra en la Figura 1 de este Manual. Los equipos más recientes incorporan los dispositivos de control de presión y control de temperatura como un solo sistema integrado.

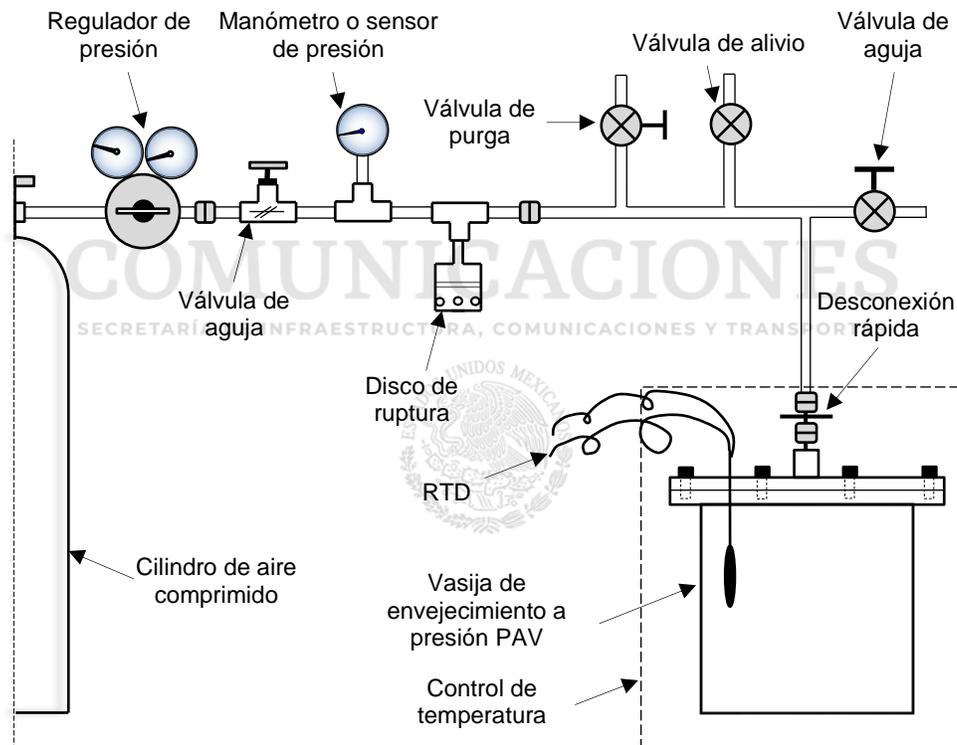


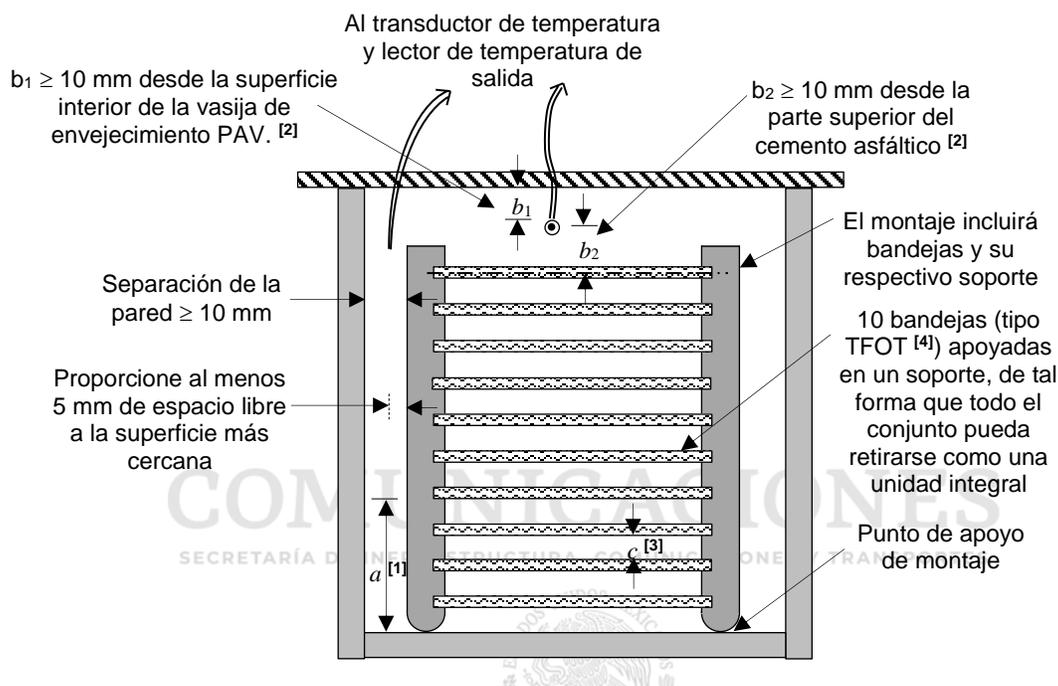
FIGURA 1.- Equipo para envejecimiento acelerado en vasija de envejecimiento a presión PAV

D.1.1. Vasija de envejecimiento a presión PAV

Que podrá ser una unidad separada que se coloque en un horno externo para acondicionar el asfalto o parte integral de un sistema con control de temperatura. De acero inoxidable diseñada para operar a $2,1 \pm 0,1$ MPa a una temperatura de entre 90 y 110°C, con dimensiones interiores adecuadas para contener diez bandejas y su soporte. El soporte para bandejas será capaz de sostener diez bandejas de acero inoxidable en una posición horizontal y bien niveladas, de modo que el espesor de la película de asfalto sea razonablemente uniforme. El soporte estará diseñado para su fácil inserción y extracción desde el interior de la vasija de presión cuando éste y las bandejas cargadas con el cemento asfáltico estén a la temperatura de acondicionamiento. En la Figura 2 se muestra un esquema con dimensiones de una posible configuración de la vasija de presión, las bandejas y su soporte.

D.1.2. Mecanismo de control de presión y temperatura

Debido a que el incremento de presión dentro de la vasija cerrada provoca un incremento de su temperatura, este mecanismo de control de presión también participa dentro del mecanismo de control de temperatura.



Notas:

- [1] La distancia "a" controla la nivelación de la bandeja. El conjunto se apoyará en 3 o más puntos de apoyo. La distancia "a", medida desde cada punto de apoyo del ensamblaje hasta el fondo de la bandeja (parte superior del estante o punto de apoyo de la bandeja), debe controlarse a $\pm 0,05$ mm.
- [2] Las distancias " b_1 " y " b_2 " serán tales que cualquier parte activa del transductor de temperatura esté a ≥ 10 mm de cualquier superficie adyacente.
- [3] La distancia "c" será ≥ 12 mm.
- [4] Bandejas para horno de película delgada (TFOT, por sus siglas en inglés, *Thin Film Oven Test*)

FIGURA 2.- Esquema que muestra la ubicación de bandejas, su soporte y el sensor de temperatura por resistencia (RTD) dentro de la vasija de envejecimiento PAV

- D.1.2.1. Una válvula de alivio que evite que durante la prueba se exceda la presión de diseño de la vasija y que asegure que durante el procedimiento de acondicionamiento no se excedan los 2,5 MPa de presión.
- D.1.2.2. Un regulador de presión o sistema de regulación capaz de controlar la presión dentro de la vasija a $\pm 0,02$ MPa y con una capacidad adecuada para reducir la presión de la fuente de aire comprimido, de tal forma que la presión dentro de la vasija cargada con las muestras se mantenga a una presión manométrica (relativa) de $2,1 \pm 0,1$ MPa durante el proceso de acondicionamiento.
- D.1.2.3. Una válvula de purga de liberación lenta o un controlador de presión que permita, en un lapso de 8 a 15 min, reducir la presión en la vasija de 2,1 MPa a la presión atmosférica local, al finalizar el procedimiento de acondicionamiento.

D.1.3. Mecanismo de control de temperatura

Que cuente con un dispositivo de control de temperatura digital, que en conjunto con los componentes descritos en el Inciso D.1.4. de este Manual, permita mantener la temperatura durante el procedimiento de acondicionamiento dentro de la vasija de presión a la temperatura establecida $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

- D.1.3.1.** Un dispositivo de calentamiento tal como horno externo de tiro forzado o baño termostático, capaz de alcanzar la temperatura de acondicionamiento durante las dos primeras horas tras haber colocado la vasija de presión, cargada con las muestras sobre las bandejas montadas en su soporte, pero antes de presurizarla para comenzar con el proceso de acondicionamiento. El dispositivo será capaz de mantener la temperatura dentro de la vasija de presión a la temperatura de acondicionamiento $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Si se usa un horno de tiro forzado, éste tendrá dimensiones interiores suficientemente grandes para permitir que el aire forzado circule libremente dentro del mismo y alrededor de la vasija de presión cuando ésta se coloca en su interior. El horno contará con un soporte o estante que sostenga la vasija de presión cargada con las muestras en las bandejas montadas en su soporte en una posición nivelada por encima de la superficie inferior del mismo.
- D.1.3.2.** Una vasija de presión con un sistema integral de control de temperatura que, después de cargar las muestras sobre las bandejas montadas en su soporte, pero antes de presurizarla, sea capaz de restaurar a la temperatura de preacondicionamiento considerando, en su caso, lo establecido en la Fracción E.4. de este Manual, y posteriormente alcanzar, en su interior, la temperatura de acondicionamiento $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ durante las 2 primeras horas posteriores a su presurización.

D.1.4. Mecanismo de medición de temperatura y presión

- D.1.4.1.** Para medir la temperatura dentro de la vasija de presión se requiere de un sensor de temperatura por resistencia (RTD por sus siglas en inglés, *Resistance Temperature Detector*) de platino, con una precisión de $0,1^{\circ}\text{C}$ y fabricado de acuerdo con la norma ASTM E1137/E1137M-08(2020), *Standard Specification for Industrial Platinum Resistance Thermometers* (norma IEC 60751:2022, *Industrial Platinum Resistance Thermometers and Platinum Temperature Sensors*), o similar. El RTD se calibrará como una unidad integral con su respectivo circuito electrónico.
- D.1.4.2.** Dispositivo de registro de temperatura, que puede ser un registrador gráfico de tiras u otro sistema de adquisición de datos capaz de registrar la temperatura durante todo el proceso de acondicionamiento con una precisión de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ en intervalos mínimos de una vez por minuto. Como alternativa, se puede utilizar un dispositivo electrónico capaz de informar solo temperaturas máximas y mínimas alcanzadas, con una precisión de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.
- D.1.4.3.** Un manómetro capaz de medir la presión dentro de la vasija con una precisión de $\pm 0,02$ MPa durante el proceso de acondicionamiento.

D.2. BANDEJAS

De acero inoxidable de forma cilíndrica, con un diámetro interior de 140 ± 1 mm ($5,5 \pm 0,04$ in) y de $9,5 \pm 1,5$ mm ($\frac{3}{8} \pm \frac{1}{16}$ in) de profundidad, con un espesor de metal de aproximadamente 0,6 mm (0,024 in) y fondo plano. Como referencia, estas bandejas se usaban anteriormente en la prueba de horno de película delgada TFOT (*Thin Film Oven Test*).

D.3. BALANZA

Que cumpla con la Clase G2 de la norma ASTM D4753-15, *Standard Guide for Evaluating, Selecting, and Specifying Balances and Standard Masses for Use in Soil, Rock, and Construction Materials Testing*.

D.4. HORNO DE VACÍO

Capaz de mantener una temperatura de hasta 180 ± 5 °C y una presión absoluta de 15 ± 1 kPa, equipado con:

D.4.1. Dispositivo de medición de temperatura

Un sensor de temperatura capaz de medir la temperatura de la cámara del horno de vacío con una precisión de ± 5 °C.

D.4.2. Dispositivo de medición de vacío

Un manómetro de vacío, manómetro de presión absoluta o sistema de medición de vacío digital capaz de medir la presión absoluta en la cámara con una precisión de $\pm 0,5$ kPa (± 1 in Hg).

D.5. SISTEMA DE VACÍO

Capaz de generar y mantener una presión absoluta por abajo de 15 kPa (4,4 in Hg), ajustando en su caso, la diferencia de presión entre la presión atmosférica ambiental y la presión absoluta dentro del horno de vacío de acuerdo con lo indicado en la Fracción H.8. de este Manual. Este sistema de vacío incluirá una bomba de vacío y un aspirador de aire o un sistema de cámara de vacío.

D.6. BALANZA ANALÍTICA

Con capacidad mínima de 200 g y aproximación de al menos 0,1 g.

D.7. CRONÓMETRO O RELOJ

Con aproximación de 1 s.

D.8. RECIPIENTE DE RECOLECCIÓN

Limpio, con tapa, de material inerte con el cemento asfáltico empleado y resistente al calor, de dimensiones tales que la profundidad del residuo del cemento asfáltico envejecido en el PAV, al colocarlo en su interior esté entre 15 y 40 mm.

D.9. HERRAMIENTA DE RECUPERACIÓN

Tipo espátula o cuchara, de material inerte con el cemento asfáltico empleado y tamaño adecuado para emplearse en las bandejas.

D.10. VARILLA

Para agitado, de material inerte con el cemento asfáltico empleado, con extremos redondeados y diámetro de 13 mm (0,50 in) aproximadamente.

D.11. NIVEL

Circular de burbuja (tipo ojo de buey) de tamaño adecuado para nivelar el soporte y las bandejas de la vasija de presión. Alternativamente podría emplearse un nivel de maquinista pequeño, de aproximadamente 150 mm (6 in).

D.12. ENCENDEDOR

Tipo soplete o de uso doméstico, necesario solo en caso de que quedan burbujas en la superficie del residuo del cemento asfáltico después del envejecimiento en la vasija a presión PAV al salir del horno de vacío de acuerdo con lo indicado en el Inciso F.5.4. de este Manual. Alternativamente se podrá emplear un cuchillo previamente calentado para conseguir el mismo objetivo.

D.13. EQUIPO DE SEGURIDAD PERSONAL ESTÁNDAR PARA LABORATORIO

Adecuado para manipular el cemento asfáltico caliente al preparar y acondicionar las muestras, manipular las bandejas dentro de la vasija de presión durante la prueba y retirar el residuo de cemento asfáltico al final de la prueba.

D.14. AIRE EMBOTELLADO COMERCIAL

Que cumpla al menos los requisitos mínimos de la Asociación de Gas Comprimido (CGA por sus siglas en inglés, *Compressed Gas Association*) para aire de grado D y que tenga un punto de rocío máximo de -40°C , como se indica en la publicación *Compressed Gas ASSN, CGA G-7.1-2018, Commodity Specification for Air*.

E. CALIBRACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN DEL EQUIPO**E.1. SENSORES DE TEMPERATURA**

Al menos cada 6 meses verificar la calibración de:

- E.1.1.** El dispositivo termométrico de la vasija de envejecimiento a presión PAV con una aproximación de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ utilizando un dispositivo termométrico calibrado trazable a un estándar nacional. La verificación se realizará cerca de la temperatura de uso dentro de un rango de 90 a 110°C .
- E.1.2.** El dispositivo termométrico utilizado en el horno de vacío, con una aproximación de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ utilizando un dispositivo termométrico calibrado trazable a un estándar nacional. La verificación se realizará a una temperatura que esté dentro de los 10°C de la temperatura de uso.
- E.1.3.** Para lograr una calibración adecuada se podrá usar la siguiente técnica de verificación:
 - E.1.3.1.** Se pone el sensor del dispositivo termométrico calibrado de referencia en contacto directo con el sensor de temperatura montado en la vasija de presión PAV.
 - E.1.3.2.** Se coloca la cubierta sobre la vasija de presión, permitiendo que los cables del dispositivo termométrico calibrado de referencia salgan del recipiente por debajo de la tapa sin asegurarla.
 - E.1.3.3.** Se calienta el recipiente hasta que alcance el equilibrio térmico para que la temperatura sea constante en el rango de temperaturas de operación del equipo (100° o 110°C).
 - E.1.3.4.** Después de alcanzar el equilibrio térmico, se registra simultáneamente la temperatura de los dos dispositivos termométricos a intervalos mínimos de 1 min hasta que las lecturas del diferencial de temperatura entre ambos no difieran en más de $0,1^{\circ}\text{C}$ para 3 lecturas consecutivas.

- E.1.3.5.** Se registra el promedio de las 3 lecturas para cada dispositivo. La diferencia en las lecturas promedio de los 2 dispositivos es el factor de corrección que se aplicará al seleccionar la temperatura de acondicionamiento, para lo cual se coloca una nota en el equipo de envejecimiento acelerado con vasija de presión PAV que contenga la fecha y la corrección que se aplicará al establecer la temperatura de acondicionamiento.
- E.1.3.6.** Si el sensor de temperatura de la vasija de presión PAV lo permite, se ajustará la calibración para que su indicador de temperatura y el medidor de temperatura calibrado de referencia indiquen el mismo valor de temperatura.
- E.1.3.7.** Si el sensor de temperatura en la vasija de presión PAV está orientado en dirección horizontal, se podrá usar un bloque cuadrado de latón con dimensiones aproximadas de 25 mm (1 in) por lado, con agujeros perforados en 2 caras adyacentes para acomodar los sensores y poder acoplar térmicamente los dispositivos termométricos tanto de la vasija del PAV como del dispositivo termométrico calibrado de referencia.

E.2. MANÓMETROS Y SISTEMAS DE MEDICIÓN DE VACÍO

Al menos cada 6 meses se verifica la calibración de:

- E.2.1.** El manómetro que se utilice con el equipo para envejecimiento acelerado o del sistema de medición de presión digital, con una aproximación de $\pm 0,02$ MPa, utilizando un indicador de presión calibrado trazable a un estándar nacional. La verificación se realizará cerca de la presión de uso dentro de un rango de 2 a 2,10 MPa.
- E.2.2.** El vacío de la cámara, el manómetro de presión absoluta o el sistema de medición de vacío digital del horno de vacío para equiparar las lecturas, con una aproximación de $\pm 0,5$ kPa ($\pm 0,2$ in Hg) de presión absoluta utilizando un medidor calibrado, trazable a un estándar nacional. La verificación se realizará cerca de la presión absoluta de uso dentro de un rango de 12,5 a 17,5 kPa.

E.3. NIVELACIÓN

La nivelación de las muestras es importante para el resultado del proceso de acondicionamiento.

- E.3.1.** Se verifica la nivelación del soporte para bandejas, colocándolo en una superficie nivelada y midiendo el nivel en su parte superior preferentemente con un nivel de burbuja circular (nivel de ojo de buey). Alternativamente un nivel de maquinista pequeño, de aproximadamente 150 mm (6 in) podría ser empleado. En este caso, la nivelación será verificada en varios planos horizontales ortogonales entre sí.
- E.3.2.** Se verifica la nivelación del soporte para bandejas, colocado al interior de la vasija de presión. Antes de realizar esta verificación, tanto la vasija de presión como el soporte para bandejas se calentarán a su temperatura normal de operación. La verificación es similar a la descrita el Inciso anterior, excepto que los soportes del horno externo o los soportes de nivelación del equipo para envejecimiento acelerado con vasija a presión PAV se ajustarán de acuerdo con las recomendaciones del fabricante para asegurar su correcta nivelación.

E.4 ESTANDARIZACIÓN

Para aquellos equipos de envejecimiento acelerado con vasija a presión PAV donde la presurización es controlada por el operador, se emplea el siguiente procedimiento para determinar la temperatura óptima a la cual se aplicará presión a la vasija:

- E.4.1.** Con la vasija cargada con las charolas vacías y su soporte, se aumenta la temperatura dentro de la vasija hasta la temperatura de acondicionamiento. Cuando la temperatura dentro de la vasija esté dentro de los 10°C de la temperatura de preacondicionamiento, se aplica una presión de aire de $2,1 \pm 0,1$ MPa y se registra el aumento de temperatura observado.

- E.4.2.** Se repite este procedimiento al menos tres veces con el fin de aprovechar el aumento de temperatura promedio para establecer la temperatura a la cual aplicar presión a la vasija para realizar el procedimiento de acondicionamiento. Esta información se considera para cumplir con lo establecido en el Inciso F.3.4. de este Manual.

F. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

Si se acondiciona el cemento asfáltico para caracterizarlo según su grado de desempeño (PG), se seleccionará la temperatura de acondicionamiento apropiada de acuerdo con lo indicado en la Tabla 2 de la Norma N.CMT.4-05-004, *Calidad de Cementos Asfálticos según su Grado de Desempeño (PG)*.

F.1. PRECALENTAMIENTO DE LA VASIJA DE PRESIÓN PAV

Se coloca el soporte para bandejas dentro de la vasija de presión y posteriormente:

- F.1.1.** Si se utiliza un horno externo, se coloca la vasija de presión en su interior y se precalienta a la temperatura de acondicionamiento seleccionada. En este caso se podrá precalentar la vasija de presión de 10 a 15°C por arriba de la temperatura de acondicionamiento para reducir la caída de la temperatura de la vasija a presión PAV durante el proceso de carga y así al finalizar la carga minimizar el tiempo requerido para estabilizar el sistema y volver a alcanzar la temperatura requerida.
- F.1.2.** Si se utiliza una vasija de presión PAV con un sistema de control de temperatura integrado, se selecciona una temperatura de acondicionamiento y se siguen las instrucciones del fabricante para precalentarla.

F.2. OBTENCIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DEL CEMENTO ASFÁLTICO EN LAS BANDEJAS

- F.2.1.** Para esta prueba se emplea el residuo del cemento asfáltico obtenido en la prueba de horno rotatorio de película delgada (RTFO por sus siglas en inglés, *Rolling Thin-Film Oven Test*) mediante lo establecido en el Manual M-MMP-4-05-027, *Envejecimiento del Cemento Asfáltico en Horno Rotatorio de Película Delgada (RTFO)*. En este caso, el residuo caliente de cemento asfáltico, que se encuentra en los contenedores de vidrio al finalizar la prueba, se combina en un solo recipiente de recolección donde se mezcla para posteriormente transferirlo a las bandejas de la vasija a presión PAV de acuerdo con lo indicado en el Inciso siguiente.

Alternativamente, se podría dejar que el residuo caliente de cemento asfáltico resultado de la prueba del horno rotatorio de película delgada (RTFO) colectado en el recipiente de recolección se enfríe a temperatura ambiente donde se tapaná y almacenará a temperatura ambiente hasta que, en una fecha posterior, se acondicione nuevamente para realizar esta prueba. En tal caso, el residuo de cemento asfáltico se calienta hasta que esté lo suficientemente fluido para revolverlo y posteriormente verterlo en las bandejas.

- F.2.2.** Cada bandeja se coloca en una balanza donde se le adicionan $50 \pm 0,5$ g del cemento asfáltico por envejecer. Durante el vertido del material se hace una distribución uniforme sobre toda la superficie de la charola con el fin de generar una película de cemento asfáltico de aproximadamente 3,2 mm de espesor.
- F.2.3.** Si la vasija es precalentada en un horno a una temperatura diferente a la temperatura de acondicionamiento deseada, como se indica en el Inciso F.1.1. de este Manual, se reiniciará el control de temperatura en el horno a la temperatura de acondicionamiento.

F.3. ACONDICIONAMIENTO DEL CEMENTO ASFÁLTICO EN LA VASIJA DE PRESION PAV

Se realizan las operaciones descritas en los Incisos F.3.1. y F.3.2. tan rápido como sea posible para evitar el enfriamiento de la vasija de presión y del soporte para bandejas.

- F.3.1.** El soporte para bandejas, acondicionado a la temperatura de prueba, se retira del interior de la vasija de presión u otro horno separado del sistema para envejecimiento acelerado con vasija a presión PAV ajustado a la temperatura de acondicionamiento.
- F.3.2.** Las bandejas con el cemento asfáltico por envejecer se montan en su respectivo soporte y se coloca dentro de la vasija a presión y se cierra. No es necesario llenar con bandejas vacías las ranuras no utilizadas en el soporte para bandejas.
- F.3.3.** Si se usa un horno externo, se coloca la vasija de presión PAV cargada y cerrada en su interior. Se conecta la línea del transductor de temperatura y la línea de suministro de presión de aire a las conexiones externas de la vasija de presión PAV según lo requiera el diseño de la vasija y la configuración del horno.
- F.3.4.** Para vasijas a presión PAV colocadas en un horno externo, esperar hasta que la temperatura dentro de la vasija de presión alcance la temperatura determinada de acuerdo con lo indicado en la Fracción F.1. de este Manual, y posteriormente se aplicará una presión de aire de $2,1 \pm 0,1$ MPa para llegar a la temperatura de acondicionamiento. A partir de ese momento se comienza a cronometrar el ciclo de acondicionamiento. Si se utiliza una vasija de presión con control de temperatura integrado, seguir las instrucciones del fabricante con respecto a la temperatura de precalentamiento deseada para presurizarla a $2,1 \pm 0,1$ MPa y comenzar a cronometrar el ciclo de acondicionamiento. Para aquellas vasijas de presión que funcionan como una unidad separada del horno o aquellas vasijas de presión con un sistema de control de temperatura integrado donde la presurización es controlada por el operador, se considerará lo indicado en la Fracción E.4. de este Manual para determinar la temperatura de preacondicionamiento a la cual se aplicará la presurización para llegar a la temperatura deseada de acondicionamiento.

Si la temperatura dentro de la vasija no ha alcanzado la temperatura deseada para aplicar presión dentro de las 2 h posteriores a la colocación de las bandejas en su soporte, se interrumpirá el procedimiento y se desecharán las muestras de cemento asfáltico.

- F.3.5.** Se mantiene la temperatura y la presión del aire dentro de la vasija de presión durante $20 \text{ h} \pm 10 \text{ min}$.
- F.3.6.** Se declarará como inválido el proceso de acondicionamiento y se desechará el material en los siguientes casos:
 - F.3.6.1.** Si la temperatura indicada por el dispositivo de registro de temperatura varía por encima o por debajo de la temperatura de acondicionamiento establecida en $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ por más de 60 min durante el período de 20 h de acondicionamiento.
 - F.3.6.2.** Si la temperatura indicada por el dispositivo de registro de temperatura varía en más de 5°C de la temperatura de envejecimiento establecida durante un total de 10 min.
 - F.3.6.3.** Si la presión al final del período de acondicionamiento está fuera del rango especificado en el Inciso F.3.4. de este Manual.
 - F.3.6.4.** Si la temperatura máxima o mínima registrada durante el período de 20 h varía en más de $\pm 0,5^\circ\text{C}$ con respecto a la temperatura de acondicionamiento establecida cuando se utiliza un dispositivo capaz de registrar únicamente las temperaturas mínimas y máximas.

F.4. REDUCCIÓN DE LA PRESIÓN DENTRO DEL PAV

Al final del período de acondicionamiento de 20 h, iniciar la reducción lenta de la presión interna del PAV, utilizando la válvula de purga de presión de aire. La válvula de purga se ajustará a una apertura que requiera de 8 a 15 min para igualar la presiones interna y externa en la vasija a presión PAV, evitando así el burbujeo excesivo y la formación de espuma en el cemento asfáltico. Alternativamente, el controlador de presión se puede programar para liberar la presión lentamente durante 15 min. No se incluirá como parte del período de acondicionamiento de 20 h, la liberación de presión y el tiempo necesario para igualar la presión interna y externa.

F.5. DESGASIFICACIÓN AL VACÍO DE LAS MUESTRAS ENVEJECIDAS

F.5.1. Se precalienta el horno de vacío a $170 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

F.5.2. Se retira de la vasija de presión PAV el soporte con las bandejas. Se retiran las bandejas de su soporte y se colocan posteriormente en un horno ajustado a $168 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 15 ± 1 min.

F.5.3. Se retiran las bandejas del horno y se raspa el residuo caliente de todas las bandejas que contengan la misma muestra de cemento asfáltico, depositándolo en un solo recipiente de recolección mediante el uso de una herramienta de recuperación.

Después de raspar la última bandeja de una misma muestra en un recipiente de recolección y si se van a llenar recipientes adicionales con bandejas que contengan muestras de cemento asfáltico diferente, se colocará temporalmente en el horno ajustado a 168°C con el fin de que no pierda temperatura. Después de que se hayan preparado todos los recipientes, se transferirán al horno de vacío dentro de un lapso de 1 min.

F.5.4. Una vez colocado el último recipiente de recolección en el horno de vacío se calienta el material a $170 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 15 ± 1 min. Posteriormente se abre la válvula del sistema de vacío lo más rápido posible para reducir la presión absoluta a $15 \pm 2,5$ kPa durante 30 ± 1 min; finalmente se libera el vacío y se retira el recipiente del horno. Si quedan burbujas en la superficie del material, se removerán haciéndole pasar la flama caliente de un encendedor o un cuchillo caliente.

F.6. USO POSTERIOR DEL RESIDUO DEL CEMENTO ASFÁLTICO ENVEJECIDO EN LA VASIJA DE PRESIÓN PAV

Si las pruebas para determinar las propiedades del residuo de PAV ya sin aire no se realizan de inmediato, se permitirá tapar y almacenar las muestras en sus recipientes de recuperación a temperatura ambiente para pruebas futuras. También es aceptable raspar el residuo envejecido de las bandejas de PAV en los recipientes que se utilizarán para su desgasificación, permitiendo que la muestra se enfríe en ese momento y otro día, quitarle el aire conforme a lo establecido en la Fracción anterior, para continuar con las pruebas.

G. RESULTADOS

Se reporta como resultado de la prueba lo siguiente:

G.1. Cuando no se realice inmediatamente la caracterización del cemento asfáltico, los residuos envejecidos con la vasija a presión PAV, se entregan los recipientes de recuperación a los que se refiere la Fracción F.6. de este Manual debidamente identificados. Si el residuo se ocupa inmediatamente, se indica la identificación de la muestra de la que provienen.

G.2. Temperatura de acondicionamiento, con aproximación de $0,5^{\circ}\text{C}$.

G.3. Temperatura máxima y mínima registrada durante el periodo de acondicionamiento, con aproximación de $0,1^{\circ}\text{C}$.

- G.4.** Si el dispositivo de registro de temperatura así lo permite, el tiempo total durante el acondicionamiento en que la temperatura estuvo fuera del rango especificado, con aproximación de 1 min.
- G.5.** Tiempo total de acondicionamiento, en horas y minutos.

H. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

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

- H.1.** Realizar la prueba en un lugar cerrado, con ventilación indirecta, limpio y libre de corrientes de aire, de cambios de temperatura y de partículas que provoquen la contaminación de las muestras de prueba.
- H.2.** Verificar que los equipos estén calibrados de acuerdo con las instrucciones del fabricante y considerando lo indicado en la Cláusula E. de este Manual.
- H.3.** Realizar la prueba bajo las condiciones de temperatura y presión que se indican.
- H.4.** Verificar antes de cada prueba que las bandejas no se encuentren dañadas o presenten deformaciones prominentes, ya que las bandejas presentan una tendencia a deformarse o doblarse con el uso.
- H.5.** No se retirarán los sensores y accesorios durante la calibración del dispositivo termométrico del equipo para envejecimiento acelerado con vasija de presión PAV, a que se refiere el Inciso E.1.1. de este Manual, para evitar daños al equipo.
- H.6.** Si las pruebas para determinar las propiedades del residuo envejecido del cemento asfáltico sin aire no se realizan de inmediato, de acuerdo con lo que se indica en la Fracción F.6. de este Manual, al usar posteriormente la muestra de residuo del cemento asfáltico envejecido se tendrá que recalentar nuevamente a $168 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante un máximo de 30 min y agitarla para garantizar su homogeneidad.
- H.7.** Realizar la prueba a la temperatura de acondicionamiento indicada, ya que las temperaturas superiores a aproximadamente 115°C pueden provocar cambios en las propiedades del residuo de cemento asfáltico envejecido que son inconsistentes con los resultados obtenidos cuando se evitan esas temperaturas elevadas.
- H.8.** Ajustar la diferencia de presión entre la presión atmosférica ambiental y la presión absoluta dentro del horno de vacío. Tomando como base que, al nivel del mar, donde la presión atmosférica es igual a 101,3 kPa (29,9 in Hg), para obtener una presión absoluta dentro del horno igual a 15,0 kPa (4,4 in Hg), el manómetro de vacío marcará 86,3 kPa (25,5 in Hg). Un ajuste, para diferentes altitudes, que aplica sobre la lectura del manómetro de vacío es restar 0,85 in Hg por cada 250 msnm de altitud. Por ejemplo, para mantener una presión absoluta dentro del horno igual 15,0 kPa (4,4 in Hg) a una altitud de 1 000 msnm, donde la presión atmosférica ambiental es de 26,5 in Hg, la lectura del manómetro de vacío indicará 22,1 in Hg, valor que se determinó mediante la siguiente expresión:

$$P_{ALT} = P_{snm} - \left[\left(\frac{ALT}{250} \right) \times 0,85 \right] = 25,5 - \left[\left(\frac{1\ 000}{250} \right) \times 0,85 \right] = 22,1 \text{ (in Hg)}$$

Donde:

P_{ALT} = Lectura del manómetro de vacío requerida para obtener una presión absoluta dentro del horno igual a 4,4 in Hg, cuando la prueba se realiza a una altitud definida ALT , (mm Hg)

P_{smm} = Lectura del manómetro de vacío requerida para obtener una presión absoluta dentro del horno de vacío igual a 4,4 in Hg, cuando la prueba se realiza sobre el nivel del mar, (mm Hg)

ALT = Altitud a la cual se realizará la prueba, (msnm)

$0,85$ = Ajuste que se aplica por cada incremento de altitud de 250 msnm, (adimensional)

COMUNICACIONES

SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



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