

DETERMINACIÓN DE LOS VACÍOS CON AIRE EFECTIVOS DE MUESTRAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS

INV E – 804 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma se refiere a la determinación de los vacíos con aire efectivos (porosidad efectiva) de mezclas compactadas, mediante el método de sellado al vacío.
- 1.2 Este método se puede emplear tanto sobre muestras de mezclas asfálticas compactadas en el campo como en el laboratorio.
- 1.3 Los resultados de los ensayos realizados mediante este método se pueden emplear para determinar el grado de interconexión de los vacíos con aire en una muestra y se pueden correlacionar con la permeabilidad de muestras de mezclas asfálticas compactadas.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 Una muestra de mezcla asfáltica compactada es sometida a vacío, sellada dentro de una bolsa plástica. Se calcula la densidad de la muestra, SG1, empleando el método del desplazamiento de agua con la muestra sellada. La bolsa se corta mientras la muestra se encuentra sumergida. Puesto que la muestra se encontraba bajo vacío y el aire había sido expulsado de los vacíos, el agua es forzada a llenar todos los vacíos accesibles a ella en la muestra compactada. Conocida la masa de la muestra saturada, se puede calcular una densidad aparente máxima, SG2. La diferencia entre SG2 y SG1 es la medida de la cantidad de agua que ha penetrado en la muestra compactada. Esta diferencia se puede emplear para determinar la fracción del total de vacíos que es accesible al agua, fracción que se denomina porosidad efectiva, o vacíos con aire efectivos.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 Los resultados que brinda este ensayo sirven para determinar el porcentaje total de vacíos con aire que pueden ser llenado con agua a través de la

superficie o de los canales interconectados dentro de una muestra asfáltica compactada. Por lo general, los vacíos con aire efectivos son menores que el porcentaje total de vacíos con aire.

- 3.2** El ensayo descrito en esta norma se puede llevar a cabo sobre probetas cilíndricas de 101.6 mm (4") y 152.4 mm (6") de diámetro y sobre muestras prismáticas.

4 EQUIPO

- 4.1** *Balanza* – Con bastante capacidad y suficiente sensibilidad para permitir el cálculo de la gravedad específica de muestras con, al menos cuatro cifras significativas; es decir, al menos tres cifras decimales. Deberá estar equipada con un dispositivo apropiado para pesar muestras sumergidas en agua. El alambre de suspensión enganchado a la escala debe romper la superficie del agua en un solo punto y deberá tener un diámetro máximo de 3 mm (0.125"). La balanza debe tener una tolerancia básica de $\pm 0.1\%$ y permitir lecturas con aproximación a 0.1 g.

Nota 1: Puesto que no hay más cifras significativas en el cociente (gravedad específica bulk) que las que aparecen tanto en el dividendo (masa de la muestra en el aire) como en el divisor (volumen de la muestra, obtenido mediante la diferencia en masa de la misma en el aire y en el agua), esto significa que la balanza debe tener una sensibilidad capaz de suministrar los valores de masa y volumen cuando menos con cuatro cifras.

- 4.2** *Tanque para agua* – Con dimensiones mínimas (longitud \times ancho \times altura) de 610 \times 460 \times 460 mm (24 \times 18 \times 18") o un recipiente cilíndrico con un diámetro mínimo de 460 mm (18") y una altura mínima de 460 mm (18"), para sumergir completamente las muestras en agua mientras están suspendidas de la balanza. El tanque debe estar equipado con un orificio de desagüe para mantener constante el nivel del agua y un control térmico que permita mantener la temperatura a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$).

Nota 2: Es preferible mantener constante la temperatura del agua empleando un calentador controlado. También, para reducir la posibilidad de que la bolsa toque las paredes del tanque de agua, es aconsejable elevarlo hasta un nivel que permita al operador colocar la muestra en el mecanismo de pesaje sin agacharse y que facilite la colocación de la muestra y de la bolsa dentro del tanque de agua.

- 4.3** *Sujetador amortiguado* – Sin bordes agudos, para el desplazamiento de la muestra dentro del agua.

Nota 3: Se ha encontrado que los sujetadores cubiertos de plástico son apropiados para evitar que las bolsas plásticas se perforan accidentalmente dentro del baño de agua.

- 4.4** *Cámara de vacío* – Con una bomba de 0.93 kW (1.25 hp) capaz de evacuar una cámara sellada y hermética con un vacío de 6 mm Hg (6 Torr) a nivel del mar. La cámara debe tener el tamaño suficiente para permitir el sellado de muestras de 150 mm (6") de ancho por 350 mm (14") de largo y 150 mm (6") de espesor. El dispositivo debe sellar automáticamente la bolsa plástica y expulsar de nuevo el aire dentro de la cámara de manera controlada, para asegurar un contacto apropiado del plástico a la muestra que se ensaya. Los tiempos de operación del escape del aire y del vacío deben ser calibrados en la fábrica antes del uso inicial de la cámara. El sistema de expulsión de aire debe ser calibrado para llevar la cámara a la presión atmosférica en un lapso de 80 a 125 segundos luego de completar la operación de vacío. El sistema de vacío debe estar provisto de un seguro para controlar la apertura de la puerta de la cámara.
- 4.5** *Manómetro indicador de vacío* – Independiente del dispositivo de sellado al vacío, que pueda ser colocado directamente dentro de la cámara para verificar el comportamiento del vacío y la condición del sellado de la puerta de la cámara de la unidad. El manómetro debe ser capaz de leer una presión por debajo de 3 mm Hg (3 Torr) y ser legible a 1 mm Hg (1 Torr).
- 4.6** *Bolsas plásticas* – Para usar con la cámara de vacío. Pueden ser de dos tamaños. Las bolsas pequeñas deben tener una abertura de 235 mm (9.25") como mínimo y de 260 mm (10.25") como máximo, mientras que la abertura de las bolsas grandes se debe encontrar entre 375 mm (14.75") y 394 mm (15.5"). Las bolsas deben ser de un material plástico que no se adhiera a la película de asfalto, resistente a las perforaciones, capaz de soportar temperaturas hasta de 70° C (158° F), impermeable al agua y que no contenga canales de aire que permitan la evacuación del aire de ellas. Las bolsas deben tener un espesor entre 0.127 mm (0.005") y 0.178 mm (0.007"). Con cada despacho, el fabricante deberá informar la gravedad específica aparente de las bolsas, la cual deberá ser tomada en cuenta en los cálculos que la requieran.
- 4.7** *Placa para el deslizamiento de la muestra* – Para emplear dentro de la cámara, con el fin de reducir la fricción sobre las bolsas plásticas.
- 4.8** *Cuchillo para cortar bolsas* – O tijeras.
- 4.9** *Termómetro* – Con marcaciones cada 1° C (2° F).

5 VERIFICACIÓN

5.1 Verificación del sistema:

- 5.1.1 Se debe verificar la calibración del vacío del aparato una vez cada 3 meses, luego de reparaciones importantes y después de cada envío o traslado.
- 5.1.2 La verificación se debe realizar con un manómetro de vacío que pueda ser ubicado dentro de la cámara y leer el ajuste de vacío del dispositivo de sellado.
- 5.1.3 Se coloca el manómetro dentro de la cámara y se registra el ajuste. El manómetro debe indicar una presión de 6.0 mm Hg (6 Torr) o menos. No se debe usar la unidad, si la lectura del manómetro es mayor de 6 mm Hg (6 Torr).
- 5.1.4 El manómetro de vacío usado para la verificación se debe calibrar cada tres años.

Nota 4: Los manómetros en línea, aunque son capaces de indicar el comportamiento de vacío de la bomba, no son apropiados para uso dentro de las cámaras de vacío y no miden apropiadamente los niveles de vacío.

6 MUESTREO

- 6.1 Las muestras de prueba pueden ser preparadas en el laboratorio o tomadas de pavimentos.

6.2 Muestras de ensayo:

- 6.2.1 Se recomienda: (1) que el diámetro de las muestras cilíndricas moldeadas en el laboratorio o provenientes de núcleos, o la longitud de los lados de muestras aserradas sea, cuando menos, cuatro veces el tamaño máximo del agregado; y (2) que el espesor de las muestras sea, como mínimo, una y media veces el tamaño máximo del agregado. Las muestras de pavimentos se deben tomar con equipos para la toma de núcleos o mediante el aserrado de bloques.
- 6.2.2 Se debe tener cuidado, con el fin de evitar la distorsión, el pandeo o el agrietamiento de las muestras durante y después de su remoción del pavimento o del molde. Las muestras se deben almacenar en un lugar seguro y fresco.

- 6.2.3** Las muestras deben estar libres de materiales extraños, tales como riegos de liga, riegos de imprimación, material de la base, suelo, papel, etc. Si alguno de estos materiales es evidente a la vista, deberá ser retirado. Riegos de liga e imprimación o superficies irregulares que puedan aparecer en la bolsa plástica y que no pertenezcan a la muestra se deben remover de ésta aserrando sus caras superior o inferior, o ambas, según corresponda.
- 6.2.4** Las muestras de ensayo se pueden separar de otras capas de pavimento mediante aserrado u otros medios apropiados.
- 6.2.5** Se debe usar un cepillo o una lija suave para romper las salientesafiladas que se presenten alrededor de los bordes superior e inferiorde la muestra.

7 PROCEDIMIENTO

- 7.1** Se ajusta la cámara de vacío para que opere a una presión de 6 mm Hg (6 Torr) por un mínimo de 5 minutos.

7.2 *Masa de la muestra sin sellar:*

- 7.2.1** *Muestras preparadas en el laboratorio* – Se determina la masa de la muestra luego de que se ha enfriado a temperatura ambiente. Se designa esta masa como A.
- 7.2.2** *Muestras que contienen humedad* – Se seca la muestra hasta masa constante y se designa esta masa como A. Se define la masa constante como aquella que presenta una variación inferior a 0.5 % entre intervalos de secado consecutivos de 15 minutos.

Nota 5: Para una determinación precisa de la porosidad, la muestra no se debe secar en el horno a temperaturas por encima de 30° C (85° F), pues se deteriora su integridad. El método de secado por vacío para el secado de muestras (Norma INV E-710) es ideal para este método de ensayo.

7.3 *Masa de la muestra sellada:*

- 7.3.1** Se elige un tamaño apropiado de bolsa, de acuerdo con el tamaño de la muestra. Para todas las muestras de 100 mm (4") de diámetro y para las que tengan 150 mm (6") de diámetro y un espesor menor de 50mm (2"), se utiliza la bolsa de menor abertura especificada en el

numeral 4.6. Para muestras de 150 mm (6") con espesor mayor de 50 mm (2"), se deben utilizar las bolsas de mayor abertura. Para muestras que pesen más de 5500 g (12.1 lb) o que tengan formas irregulares, se deben seguir las recomendaciones del fabricante en relación con el tamaño y la configuración apropiados de las bolsas.

Nota 6: Las bolsas se deben proteger durante el almacenamiento. El manejo brusco y el almacenamiento en proximidad de objetos angulosos como herramientas y agregados, pueden dañar las bolsas plásticas. Es necesario remitirse a las recomendaciones del fabricante para el manejo y el almacenamiento seguro de ellas.

- 7.3.2** Se verifica que la bolsa no tenga orificios ni irregularidades, se determina su masa y se coloca dentro de la cámara de vacío en la parte superior de la placa para el deslizamiento de la muestra.
- 7.3.3** Se abre cuidadosamente la bolsa y se coloca la muestra asfáltica compactada dentro de ella, con el cuidado suficiente para prevenir cualquier deterioro en la bolsa. Se debe evitar la caída o el impacto de la bolsa y seguir las recomendaciones del fabricante para el manejo de ellas y de las muestras.
- 7.3.4** Se permite que mediante vacío se remueva todo el aire de la cámara y de la bolsa plástica. La cámara sellará automáticamente la bolsa luego de que se ha completado el vacío.
- 7.3.5** Se expulsa el aire dentro de la cámara hasta que se abra la puerta, lo que indica que se alcanzó la presión atmosférica dentro de aquella. Se puede usar el seguro de la puerta de la cámara, para evitar su apertura automática luego de terminar la prueba.
- 7.3.6** Se retira la muestra sellada de la cámara de vacío, tratándola con el mayor cuidado para prevenir la rotura de la bolsa. Se hala suavemente la bolsa y si ella se separa con facilidad de la muestra significa que está rota, caso en el cual se deberá repetir el proceso de sellado con una nueva bolsa.
- 7.3.7** Se determina la masa de la muestra sellada al aire sumando la masa A y la masa de la bolsa obtenida en el numeral 7.3.2. Se designa esta masa como B.
- 7.3.8** Se coloca la muestra sellada en el tanque de agua y se determina su masa sumergida a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$). Se designa esta masa como E. La bolsa no debe asomar por encima de la superficie del agua ni debe

tocar los lados o el fondo del tanque. Se debe verificar que la temperatura del agua sea $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$).

7.3.9 Mientras la muestra y la bolsa están completamente sumergidas, se corta una abertura en ésta con ayuda del cuchillo o de las tijeras. Debido a este corte, el agua es forzada hacia los vacíos de la muestra accesibles a ella.

7.3.10 Se deja la muestra sumergida en el agua durante un periodo de, por lo menos, 4 minutos, después del cual se determina su masa y se designa con la letra C. La bolsa no debe asomar por fuera de la superficie del agua ni debe tocar los lados o el fondo del tanque.

8 CÁLCULOS

8.1 Se calcula la gravedad específica de la muestra con la expresión:

$$\text{Gravedad Específica Bulk} = \text{SG1} = \frac{A}{\frac{B - A}{F_T}} \quad [804.1]$$

Donde: A: Masa de la muestra seca al aire, g;

B: Masa de la muestra seca sellada, g;

E: Masa de la muestra sellada sumergida en agua, g;

F_T : Gravedad específica aparente del material plástico de la bolsa a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$), cuando está sellada, la cual debe ser suministrada por el fabricante.

8.2 Se calcula la gravedad específica aparente de la muestra (gravedad específica con la bolsa abierta), con la expresión:

$$\text{Gravedad Específica Aparente} = \text{SG2} = \frac{A}{\frac{B - A}{F_{T1}}} \quad [804.2]$$

Donde: C: Masa de la muestra sin sellar bajo agua, g;

F_{T1} : Gravedad específica aparente del material plástico de la bolsa a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$), cuando está abierta bajo el agua, la cual debe ser suministrada por el fabricante.

- 8.3** Se determina el contenido efectivo de vacíos con aire (porosidad efectiva), con la expresión:

$$\text{Contenido efectivo de vacíos con aire (\%)} = \frac{SG2 - SG1}{SG2} \times 100 \quad [804.3]$$

9 INFORME

- 9.1** Se debe informar lo siguiente:

- 9.1.1** Gravedades específicas aparentes de las bolsas plásticas, con cuatro cifras significativas.
- 9.1.2** Gravedad específica bulk de la muestra compactada a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$), con cuatro cifras significativas.
- 9.1.3** Gravedad específica aparente de la muestra compactada a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$), con cuatro cifras significativas.
- 9.1.4** Contenido efectivo de vacíos con aire en porcentaje (porosidad efectiva), con tres cifras significativas.

10 PRECISIÓN Y SESGO

- 10.1** *Precisión* – Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados de los ensayos realizados de acuerdo con este método son los siguientes:

TIPO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s)	RANGO ACEPTABLE DE DOS RESULTADOS (d2s)
Precisión de un solo operador	0.35 %	1 %

10.1.1 Esta estimación se basa en 15 mezclas diferentes, con diferentes composiciones de agregados, granulometrías, tipos y contenidos de asfalto. Seis de las mezclas se compactaron en el laboratorio (4 en el compactador giratorio y 2 por el método Marshall) y nueve fueron mezclas en plantas. Todas las pruebas las realizó el mismo operador, utilizando el mismo equipo de vacío. Cada una de las quince muestras se ensayó por triplicado. Las muestras se secaron entre ensayos consecutivos con un ventilador, para que presentaran una condición de superficie seca; sin embargo, se empleó su masa seca original para el cálculo de las gravedades específicas.

10.1.2 La desviación estándar que aparece en la columna 2 fue la que se encontró adecuada para las condiciones de ensayo descritas en la columna 1 de la tabla.

10.1.3 El valor mostrado en la columna 3 es el límite que no se debe exceder al establecer la diferencia entre los resultados de dos ensayos bien ejecutados. Cuando se evalúan más de dos ensayos, el rango indicado en esta columna se puede incrementar.

10.2 *Sesgo* – No se presenta información en relación con el sesgo de este procedimiento de ensayo, puesto que no se dispone de un valor de referencia que pueda ser aceptado.

11 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D7063/D7063M – 11