

## RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE MEZCLAS BITUMINOSAS

INV E – 747 – 13

### 1 OBJETO

- 1.1** Esta norma de ensayo describe un método para determinar la resistencia a la compresión simple de mezclas bituminosas compactadas en caliente, tanto manufacturadas en plantas asfálticas como elaboradas en el laboratorio.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-747-07.

### 2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1** La resistencia a la compresión simple de probetas preparadas y ensayadas de acuerdo con este método de ensayo se puede aplicar en el diseño de mezclas bituminosas, junto con sus características de densidad y de vacíos.
- 2.1.1** Este método describe, también, los procedimientos de moldeo, curado y ensayo de las probetas evaluadas por medio de la norma INV E-738.
- 2.1.2** Cuando se usa en conjunto con otras propiedades físicas de la mezcla, la resistencia a la compresión simple contribuye a la caracterización de la mezcla y es un factor que ayuda a establecer su aptitud de uso bajo las condiciones de carga y ambiente a las cuales está sometido un material de pavimento de carretera.
- 2.2** En la Sección 401 de las especificaciones para construcción de carreteras de la FHWA de 1996 (modificadas en 2004) se presentan los siguientes valores de guía en relación con la resistencia a la compresión simple de mezclas de concreto asfáltico ensayadas por este método. Los valores se presentan con fines únicamente ilustrativos:

RESISTENCIA	TRÁNSITO PESADO	TRÁNSITO MEDIO	TRÁNSITO LIVIANO
Resistencia mínima a compresión, MPa	2.1	1.7	1.4
Resistencia mínima retenida, %	70	70	70

- 2.3** Mediante este método se pueden ensayar mezclas sobrecalentadas; sin embargo, los resultados de resistencia a la compresión serán mayores que los obtenidos con mezclas recién elaboradas, debido al cambio sufrido por la viscosidad del ligante.

### 3 EQUIPO

- 3.1** *Moldes (Figura 747 - 1)* – Moldes cilíndricos que permitan la fabricación de probetas de 101.6 mm de altura por 101.6 mm de diámetro (4 × 4"). Su diámetro interior deberá estar entre 101.6 y 101.73 mm (4.0 y 4.005") y el espesor nominal de sus paredes y su base será de 6.4 mm (1/4").
- 3.2** *Pistones* – Pistones cilíndricos para la compactación de la mezcla, los cuales deben pasar a través del molde libremente para ejercer la compactación. La diferencia máxima entre el diámetro del molde y el diámetro del pistón debe ser de 1.27 mm (0.05"). Los pistones pueden ser sólidos o ahuecados o tener otro tipo de estructura. Sus extremos deben tener una longitud no menor de 12.7 mm (½") y formar un ángulo recto con las paredes del molde. El pistón inferior deberá tener una altura de 50 ± 4 mm (2 ± 1/8"), mientras el superior debe tener una altura apropiada para el ensayo.
- 3.3** *Especímenes de dimensiones diferentes a 101.6 mm por 101.6 mm (4 × 4")* – Los moldes cilíndricos y pistones para fabricar especímenes de estos tamaños deberán permitir la confección de probetas con las características indicadas en la Sección 5.
- 3.4** *Soportes* – Los soportes para mantener temporalmente los moldes por encima de la base de sustentación del pistón inferior estarán formados por dos varillas de acero de sección cuadrada de 25.4 ± 3.1 mm (1 ± 1/8") y una longitud mínima de 76.2 mm (3").
- 3.5** *Máquina para ensayo* – La máquina para ensayar las probetas puede ser cualquier tipo de prensa que cumpla las condiciones de capacidad de carga y velocidad exigidas por esta norma. Puesto que la velocidad de deformación vertical está especificada en 0.05 mm/min por mm de altura de la probeta (o 0.05 pg/min·pg) y como puede ser necesario ensayar probetas con tamaños desde 50.8 × 50.8 mm (2 × 2") y hasta 203 × 203 mm (8 × 8"), para cumplir el requisito de velocidad se precisa que la máquina pueda dar velocidades de deformación entre 2.5 mm/min (0.1"/min) para las probetas de 50.8 mm (2") hasta 10.2 mm/min (0.4"/min) para las de 203 mm (8"). La máquina deberá estar equipada con dos placas de carga de acero templado; la superior debe estar provista de un apoyo de forma esférica y la inferior será plana para servir

The technical drawing illustrates the design of a piston assembly through several views:

- CONJUNTO (Assembly View):** A top-down view of the assembled piston and cylinder head. It shows the central pin (9) connecting the piston head (6) to the skirt (7). Dimensions include a 120° angle, radii R=92.1 and R=18.1, and diameters D=101.50 and D=63.5.
- PISTON SUPERIOR (Top Piston View):** Shows the top surface of the piston head with four cooling fins (8) and a central pin (9). Dimensions include a 120° angle, radii R=38.1 and R=1.5, and a diameter D=101.50.
- CABEZA DEL PISTON (Piston Head View):** A detailed view of the piston head showing the cooling fins (8) and the central pin (9). Dimensions include a 120° angle, radii R=38.1 and R=63.5, and a diameter D=101.50.
- PISTON INFERIOR (Bottom Piston View):** Shows the bottom surface of the piston head with four cooling fins (8) and a central pin (9). Dimensions include a 120° angle, radii R=38.1 and R=1.5, and a diameter D=101.50.
- MOLDE (Mold View):** A circular cross-section of the mold used for casting the piston head. It shows a diameter D=101.6.
- SECCION TRANSVERSAL SUPERIOR PLANA (Superior Plane Transverse Section):** A cross-sectional view of the piston head and skirt. It shows the internal features like the cooling fins (8) and the central pin (9). Dimensions include a total height of 174.6 mm, a skirt thickness of 201.6 mm, and a base diameter of 114.3 mm.
- SECCION TRANSVERSAL INFERIOR PLANA (Inferior Plane Transverse Section):** A cross-sectional view of the piston head and skirt. It shows the internal features like the cooling fins (8) and the central pin (9). Dimensions include a total height of 177.8 mm, a skirt thickness of 201.6 mm, and a base diameter of 114.3 mm.

**Legend:**

- 1 SUPERFICIE INTERIOR RECTIFICADA
- 2 SECCION TRANSVERSAL SUPERIOR PLANA
- 3 ACERO DULCE
- 4 PERNO ROSCADO DE 20 mm Y PASO 2,5 mm
- 5 PLACA SUPERIOR DE LA CABEZA DEL PISTON. ACERO DULCE
- 6 CABEZA DEL PISTON. ACERO DE HERRAMIENTAS CON SU SUPERFICIE ENDURECIDA Y RECTIFICADA
- 7 REBAJE DE LA CABEZA DEL PISTON, DE 63,5 mm DE DIAMETRO Y 1,6 mm DE PROFUNDIDAD
- 8 HEMBRA PARA PERNO ROSCADO DE 20 mm Y PASO 2,5 mm
- 9 TORNILLO DE CABEZA ALLEN EMBUTIDA DE 7 mm Y PASO 1 mm
- 10 ROSCA INTERIOR DE 7 mm, PASO 1 mm Y 8 mm DE PROFUNDIDAD
- 11 ACERO DE HERRAMIENTAS
- 12 TORNILLO DE CABEZA ALLEN EMBUTIDA DE 7 mm Y PASO 1 mm
- 13 REBAJE Y SALIENTE DE 63,6 mm DE DIAMETRO Y 1,6 mm DE PROFUNDIDAD

Dimensiones en mm

Figura 747 - 1. Conjunto de compactación

- 3.6 Horno** – Para el calentamiento de los agregados, material asfáltico y conjunto de compactación, se dispondrá de un horno capaz de alcanzar la temperatura de mezcla especificada para el ligante bituminoso empleado, desde la temperatura ambiente hasta 200° C (392° F) controlable dentro de un rango de  $\pm 3^\circ \text{C}$  ( $\pm 5.0^\circ \text{F}$ ).
- 3.7 Placa de calentamiento** – Una placa pequeña con un reóstato, que suministre suficiente calor por debajo del recipiente de mezclado, con el fin de mantener los agregados y el ligante bituminoso a la temperatura deseada durante la mezcla.
- 3.8 Baño de agua caliente u horno** – Un baño de agua u horno suficientemente grande para calentar tres grupos de moldes de 101.6 mm (4") y los pistones de compactación. Se requiere que el baño disponga de un dispositivo regulador de temperatura (reóstato) con el fin de mantener el baño de agua a la temperatura requerida, justo por debajo del punto de ebullición. El horno debe ser capaz de mantener la temperatura entre 93.3 y 135° C (200 y 275° F).
- 3.9 Baño de aire** – Un baño de aire con control manual o automático de la temperatura y con capacidad suficiente para mantener las probetas a  $25 \pm 0.5^\circ \text{C}$  ( $77 \pm 1.0^\circ \text{F}$ ) hasta el momento del ensayo.
- 3.10 Balanza** – De 2000 g de capacidad y 0.1 g de sensibilidad.
- 3.11 Mezcladora mecánica** – Las mezclas se deberán preparar preferiblemente en una mezcladora mecánica, pudiendo emplearse una de cualquier tipo, siempre que pueda mantener la temperatura especificada de mezcla y proporcionar un mezclado completo y homogéneo, sin segregaciones, en un tiempo máximo de 2 minutos. La forma y la disposición de las paletas deberán reducir al mínimo la adherencia a éstas de parte de la mezcla, que pudiera alterar la correcta proporción de finos y de asfalto de la misma. Si fuera necesario, el mezclado se puede efectuar manualmente, aunque se debe tener en cuenta que, en el caso de las mezclas en caliente, el tiempo necesario para conseguir un cubrimiento correcto puede ser excesivo y, además, los resultados de los ensayos suelen ser menos uniformes que cuando se emplea el mezclado mecánico.
- 3.12 Espátulas** – Una espátula flexible para raspar el recipiente de mezclado y una rígida para golpear y penetrar la muestra suelta dentro del molde.
- 3.13 Termómetros** – De líquido en vidrio, calibrados, de un rango apropiado para las necesidades del ensayo, con las siguientes características generales:

REFERENCIA	ASTM 63C	ASTM 63F
RANGO	-8°C a 32° C	18°F a 89° F
GRADUACIONES	0.1°C	0.2° F
LONGITUD TOTAL	379 ± 5 mm	14 15/16 ± 3/16"
EXACTITUD	± 0.1° C	± 0.2° F
INMERSIÓN	Total	Total

**3.13.1** Se admite el uso de termómetros electrónicos de igual o mayor exactitud como, por ejemplo, los termómetros de resistencia RTD (resistance temperature detectors), PRT (*platinum resistance thermometers*) e IPRT (*industrial platinum resistance thermometers*).

#### 4 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO

- 4.1** El tamaño de cada bachada se debe limitar a la cantidad necesaria para elaborar un espécimen de ensayo.
- 4.2** Se hace una bachada inicial con el único fin de “embadurnar” el tazón de mezclado y las varillas de agitación. Terminada la mezcla, se descarta la bachada y se raspan la superficie interna del tazón y las varillas con la espátula flexible. Sólo se permite usar un trapo o un solvente para limpiar, cuando se vaya cambiar de asfalto en la elaboración de la mezcla.
- 4.3** Se moldea una muestra de ensayo, con el fin de determinar las masas correctas de los materiales para obtener un espécimen con la altura deseada. La muestra usada para “embadurnar” se puede aprovechar para que cumpla también este propósito.
- 4.4** Las muestras de las diferentes fracciones de los agregados se deberán obtener de acuerdo con la norma INV E-201 y reducir a los tamaños de ensayo de acuerdo con la norma INV E-202. Al preparar los agregados para formar las bachadas, cada uno de ellos deberá ser separado en las fracciones deseadas, aplicando la norma INV E-213. En cada caso particular, se deberá indicar cuáles de los siguientes tamices se emplearán para obtener las fracciones deseadas: 50 mm (2"), 37.5 mm (1 ½"), 25.0 mm (1"), 19.0 mm (¾"), 9.5 mm (3/8"), 4.75 mm (No. 4), 2.36 mm (No. 8), 425 µm (No. 40), 75 µm (No. 200). Para combinar las masas apropiadas de agregados de cada fracción con el fin de obtener la gradación deseada, así como para determinar la cantidad requerida de ligante para elaborar cada espécimen, se deberá partir del diseño de la mezcla o de la fórmula de trabajo aceptada. Es preciso obtener una

muestra representativa del depósito de asfalto, tomada de acuerdo con la norma INV E-701. La temperatura requerida para preparar y compactar las mezclas, dependerá de la relación viscosidad-temperatura del cemento asfáltico a emplear en su elaboración. Salvo indicación en contrario, las temperaturas de mezcla y compactación serán las adecuadas para que la viscosidad del asfalto durante el proceso de mezcla sea de  $170 \pm 20$  cSt ( $85 \pm 10$  sSF) y de  $280 \pm 30$  cSt ( $140 \pm 15$  sSF) durante la compactación. El agregado se deberá calentar por encima de la temperatura determinada para el mezclado, pero no más de  $28^\circ\text{C}$  ( $50^\circ\text{F}$ ) por encima de ella, para permitir el mezclado de sus fracciones en seco antes de añadir el asfalto.

*Nota 1: En ningún caso, la temperatura de mezclado deberá ser superior a  $175^\circ\text{C}$  ( $347^\circ\text{F}$ ).*

- 4.5** Se precalientan la bachada de agregado y el tazón de mezclado en un horno que cumpla los requisitos indicados en el numeral 3.6. La temperatura de calentamiento deberá estar de acuerdo con los requisitos exigidos para el agregado en el numeral 4.4. Se coloca el tazón con el agregado sobre la balanza y se agrega rápidamente la masa prescrita de asfalto sobre el agregado y se mezclan con una acción mínima de aireación. Esto se puede lograr empleando un cucharón de gran tamaño que enrolle la mezcla desde su perímetro hacia el centro, maximizando el contacto entre los ingredientes y minimizando el contacto del asfalto con el tazón. La mezcla se debe completar en un término de 90 a 120 s, tiempo durante el cual la temperatura debe haber disminuido hasta  $3$  a  $5^\circ\text{C}$  ( $5$  a  $9^\circ\text{F}$ ) por encima de la requerida para la compactación. Si la superficie del mesón sobre el cual se coloca el tazón de mezclado es metálica, se deberá emplear algún aislante como papel, para reducir la velocidad de enfriamiento de la mezcla. Si el material se ha enfriado demasiado rápido, se deberá emplear una placa de calentamiento, una estufa u otro elemento apropiado para recalentarlo levemente. En este caso, se deberá tener cuidado de no producir un recalentamiento excesivo de la mezcla que dé lugar a un incremento de la viscosidad de la delgada película de asfalto que rodea el agregado.
- 4.6** Las mezclas asfálticas elaboradas en planta se deberán muestrear como se indica en la norma INV E-731 y reducir a un tamaño ligeramente mayor que el necesario para elaborar el espécimen. Dicha reducción se hará de acuerdo con la norma INV E-776. La masa de la muestra reducida se deberá ajustar al tamaño requerido, removiendo y descartando una pequeña porción de ella, con el cuidado necesario de mantener la gradación deseada. Se coloca la mezcla pesada en un recipiente apropiado y se calienta en el horno hasta alcanzar la temperatura para mezclado indicada en el numeral 4.4, la cual depende del comportamiento reológico del asfalto utilizado. Se mezcla

completamente hasta que la temperatura sea entre 3 y 5° C (5 y 9° F) por encima de la requerida para compactar, lo que garantiza una temperatura correcta de la mezcla en el momento de iniciar la compactación. La compactación puede comenzar de inmediato o, si se desea o requiere, el material se puede colocar en el horno durante un lapso no mayor de 1 hora, para permitir un manejo más eficiente cuando se preparan simultáneamente varias muestras.

## 5 ESPECÍMENES DE ENSAYO

**5.1** Los especímenes de ensayo serán cilíndricos, de 101.6 mm (4.0") de diámetro y  $101.6 \pm 2.5$  mm ( $4.0 \pm 0.1$ ") de altura. Se debe tener presente que el tamaño de los especímenes incide sobre los resultados del ensayo de compresión. Se admiten otras dimensiones cilíndricas diferentes de las mencionadas, siempre y cuando:

**5.1.1** La altura de la probeta sea igual a su diámetro  $\pm 2.5$  %.

**5.1.2** El diámetro de la probeta no sea inferior a cuatro veces el tamaño máximo nominal del agregado empleado.

**5.1.3** En ningún caso, el diámetro de la probeta sea inferior a 50.8 mm (2").

**5.1.4** La velocidad de deformación se mantenga constante durante el ensayo de compresión (ver Sección 7).

## 6 MOLDEO Y CURADO DE LOS ESPECÍMENES

**6.1** Empleando un trapo limpio con unas pocas gotas de aceite, se limpian los moldes y los pistones, los cuales se han debido calentar previamente durante 1 hora en un baño de agua justo bajo el punto de ebullición, o durante 2 horas en un horno a una temperatura entre 93.3 y 135° C (200 – 275° F). Tan pronto la mezcla alcance la temperatura de compactación especificada, se transfiere la mitad de ella al molde. Con el pistón inferior en su lugar y el cilindro de moldeo soportado temporalmente por las dos varillas de soporte, se somete la porción de mezcla vertida a 25 puyazos con la espátula rígida caliente, 15 de ellos en la periferia y los otros 10 al azar en la parte central.

*Nota 2: Las muestras de laboratorio preparadas de acuerdo con este método producen resultados diferentes tanto en los valores de resistencia a la compresión como en los de porcentaje de vacíos, cuando éstos se comparan con los obtenidos en muestras recalentadas de campo tomadas en plantas de mezclas asfálticas, debido al efecto producido por un mayor tiempo de curado y a la absorción del ligante asfáltico por parte del agregado.*

- 6.2** Seguidamente, se añade la mitad restante de la mezcla y se aplican en forma similar otros 25 golpes con la espátula. En estas operaciones, la espátula deberá penetrar lo más profundamente posible en la mezcla, habiéndose encontrado ventajoso el empleo de una espátula con bordes redondeados. Finalmente, a la parte superior de la mezcla se le da un acabado ligeramente cónico o esférico, para facilitar el asentamiento del pistón superior.
- 6.3** A continuación, se coloca el pistón superior y, manteniendo todavía las varillas soporte intercaladas, se aplica sobre la mezcla una presión inicial o de asentamiento de 1 MPa (10 kgf/cm<sup>2</sup> o 150 lbf/pg<sup>2</sup>), con el fin de asentar la mezcla contra las paredes del molde. Se retiran las dos varillas de soporte, para permitir la acción del doble émbolo y aplicar la presión total de moldeo de 20.7 MPa (210 kgf/cm<sup>2</sup> o 3000 lb/pg<sup>2</sup>) durante 2 minutos. Cuando los especímenes se van a ensayar de acuerdo con la norma INV E-738 para evaluar la pérdida de resistencia ante la acción del agua, la presión normalizada de moldeo de 20.7 MPa (210 kgf/cm<sup>2</sup> o 3000 lb/pg<sup>2</sup>) se puede aumentar o disminuir, de manera de alcanzar un porcentaje de vacíos con aire o una densidad fijados como objetivo.
- 6.4** Se deja enfriar el espécimen dentro del molde hasta que alcance la temperatura ambiente y se extrae con cualquier dispositivo que permita deslizarlo de una manera suave y uniforme.
- 6.5** Una vez extraído, el espécimen se dejará curar al horno durante un tiempo aproximado de 24 horas a una temperatura de 60° C (140° F), antes de someterlo a ensayo. En caso de que sea necesario almacenar los especímenes durante un lapso superior a estas 24 horas, se deberán proteger de la exposición al aire sellándolos en recipientes herméticos.

## **7 PROCEDIMIENTO**

---

- 7.1** Antes de someterlos a ensayo, se permite que los especímenes reposen durante 2 o más horas a temperatura ambiente una vez retirados del horno. En seguida, se determina su gravedad específica bulk, de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma INV E-733.
- 7.2** Se introducen los especímenes en un baño de aire regulado a  $25 \pm 1^\circ \text{C}$  ( $77 \pm 1.8^\circ \text{F}$ ) durante un tiempo mínimo de 4 horas.
- 7.3** Se coloca un espécimen en el centro de la placa de carga de la máquina de ensayo y se somete a compresión axial sin soporte lateral, con una velocidad



de deformación vertical constante de 0.05 mm/min por mm de altura de la probeta. Para las probetas normalizadas de 101.6 mm de diámetro (4"), este valor representa una velocidad de deformación de 5.08 mm/min. (0.2"/min).

- 7.4** La gravedad específica máxima de la mezcla se deberá determinar mediante las normas INV E-735 o INV E-803.
- 7.5** El porcentaje de vacíos con aire de cada espécimen se deberá calcular de acuerdo con la norma INV E-736.

## 8 INFORME

---

- 8.1** Se deberá presentar la siguiente información:

- 8.1.1** Gravedad específica bulk, gravedad específica máxima, densidad y porcentaje de vacíos con aire de los especímenes de ensayo
- 8.1.2** Resistencia a la compresión simple de cada probeta en kPa (lb/pg<sup>2</sup>), la cual se determina dividiendo la carga máxima obtenida en el ensayo por el área de su sección transversal original (81.1 cm<sup>2</sup> para las probetas de 101.6 mm (4") de diámetro). Se deberá preparar un mínimo de tres probetas por cada incremento de asfalto y el valor medio de las tres resistencias obtenidas se tomará como resistencia a la compresión simple para dicho incremento.
- 8.1.3** Altura y diámetro nominales de cada espécimen, cm (pg.)

## 9 PRECISIÓN Y SESGO

---

- 9.1** *Precisión de un solo operador* – La desviación típica de un resultado de ensayo para un solo operador (considerando como ensayo el promedio de 3 resultados de resistencia a compresión sobre especímenes con el mismo contenido de asfalto) es de 145 kPa (1.5 kgf/cm<sup>2</sup> ó 21 lb/pg<sup>2</sup>) (nota 3). Por lo tanto, los valores de dos resultados de ensayo correctamente realizados por el mismo operador, en el mismo laboratorio y con el mismo material, no deberían diferir en más de 407 kPa (4.2 kgf/cm<sup>2</sup> o 59 lb/pg<sup>2</sup>) y la diferencia entre el valor más alto y el más bajo de las medidas individuales utilizadas en el cálculo del promedio, no debe exceder de 841 kPa (8.6 kgf/cm<sup>2</sup> o 122 lb/pg<sup>2</sup>).

*Nota 3: Los números representan respectivamente el 1s y 2s, que son los límites descritos en la norma ASTM C-670.*

- 9.2** *Precisión entre varios laboratorios* – La desviación típica del resultado de un ensayo realizado en varios laboratorios es 372 kPa (3.8 kgf/cm<sup>2</sup> o 54 lb/pulg<sup>2</sup>) (nota 3). Por tanto, los valores de dos resultados de ensayos correctamente realizados en diferentes laboratorios sobre muestras del mismo material, no deberían diferir en más de 1055 kPa (10.8 kgf/cm<sup>2</sup> o 153 lb/pg<sup>2</sup>).
- 9.3** *Sesgo* – Este método de ensayo no presenta sesgo, debido a que los valores de resistencia a la compresión simple de mezclas asfálticas se han definido solo en los términos de esta práctica.

## **10 NORMAS DE REFERENCIA**

---

ASTM D 1074 – 09