

ESTABILIDAD Y FLUJO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO EL EQUIPO MARSHALL

INV E – 748 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe el procedimiento para determinar la resistencia a la deformación plástica de especímenes de mezclas asfálticas para pavimentación. Los especímenes, de forma cilíndrica y de 102 mm (4") de diámetro, son sometidos a carga en dirección perpendicular a su eje cilíndrico empleando el aparato Marshall. El procedimiento se puede emplear tanto para el proyecto de mezclas en el laboratorio como para el control en obra de las mismas. El método descrito en esta norma es aplicable solamente a mezclas elaboradas con cemento asfáltico y agregados pétreos con tamaño máximo menor o igual a 25.4 mm (1").
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-748-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** El procedimiento consiste en la fabricación de probetas cilíndricas de mezcla asfáltica, de 102 mm (4") de diámetro y una altura nominal de 63.5 mm (2½"), las cuales se someten a curado en un baño de agua o en un horno, y luego a carga en la prensa Marshall bajo condiciones normalizadas, determinándose su estabilidad y su deformación (flujo).
- 2.2** El ensayo Marshall se puede realizar con dos tipos de equipos: (1) el método tradicional, que emplea un marco de carga con un anillo de carga y un dial para medir la deformación (flujo) de las probetas (Método A), y (2) un registrador de carga-deformación combinado con una celda de carga y un transductor lineal diferencial variable (TLDV) u otro dispositivo de registro automático de la deformación (Método B).

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Las probetas elaboradas de acuerdo con el procedimiento descrito en esta norma se utilizan tanto para determinar la estabilidad y el flujo, como para realizar análisis de densidad y de vacíos, los cuales se aplican tanto en el diseño de las mezclas asfálticas como en la evaluación de la compactación en

el campo. Así mismo, con estas probetas se pueden realizar otros ensayos físicos, como los de resistencia a la tensión indirecta (que se usa para determinar la susceptibilidad al agua de las mezclas compactadas), fatiga, *creep* y módulo resiliente.

Nota 1: Con las mezclas sin compactar se puede determinar la gravedad específica máxima (norma INV E-735).

- 3.2** Si la información obtenida mediante este ensayo se va a emplear en el diseño de la mezcla asfáltica, los resultados de estabilidad y flujo se deberán obtener a partir del promedio de los valores obtenidos con un mínimo de tres especímenes para cada contenido de ligante asfáltico. Salvo indicación en contrario, los incrementos en el contenido de ligante serán de 0.5 % con respecto a la masa de la mezcla, dentro de un rango elegido a partir de la experiencia y de los datos históricos disponibles sobre el diseño de mezclas con los mismos materiales. Por lo general, las mezclas densas en caliente muestran un pico de estabilidad dentro del rango de contenido de asfalto que se ensayen. Los valores de estabilidad, flujo, densidad, vacíos totales y con aire, y vacíos llenos con asfalto se representan gráficamente contra el contenido de ligante de los diferentes juegos de probetas, para determinar el contenido óptimo de asfalto de la mezcla (Ver Anexo A).
- 3.3** Los valores de estabilidad y flujo de especímenes obtenidos a partir de mezclas elaboradas en la planta pueden variar significativamente en relación con los valores de diseño de laboratorio, debido a las diferencias entre los mezclados en planta y en laboratorio, en especial en lo referente a la eficiencia del mezclado y al envejecimiento del asfalto.
- 3.4** Si se presentan diferencias significativas en la estabilidad y el flujo Marshall entre los resultados de juegos consecutivos de ensayos o con respecto a los valores promedio de los datos de probetas elaboradas con la mezcla producida en la planta, ellas se puede deber a un muestreo o a una técnica de ensayo incorrectos, a cambios en la gradación y/o en el contenido de ligante, o a deficiencias en el funcionamiento de la planta. Cuando esto suceda, se deberá detener la producción, encontrar la fuente de error y corregir el problema.
- 3.5** La estabilidad y el flujo Marshall se pueden determinar, también, sobre núcleos extraídos de capas de pavimento, con propósitos de información o de evaluación. Sin embargo, estos resultados no son necesariamente comparables con los obtenidos con las probetas elaboradas en el laboratorio y no se admite su empleo con fines de aceptación o de verificación del cumplimiento de las especificaciones. Una fuente frecuente de error en el ensayo de núcleos obtenidos de pavimentos se presenta cuando su contorno

no es completamente liso o perpendicular a las bases. Estas condiciones crean concentraciones de esfuerzos al aplicar la carga, las cuales se traducen en menores valores de estabilidad.

4 EQUIPO

4.1 *Dispositivo para moldear probetas* – Molde cilíndrico con un collar de extensión y una placa de base plana. Sus formas y dimensiones se muestran en la Figura 748 - 1.

4.2 *Extractor de probetas* – Elemento de acero en forma de disco, con diámetro de 100 mm (3.95") y 12.7 mm (½") de espesor, utilizado para extraer la probeta compactada del molde con la ayuda del collar de extensión. Se requiere un elemento adecuado para transferir la carga a la probeta (gato hidráulico o mecánico), sin deformarla durante el proceso de extracción.

4.3 *Martillos de compactación:*

4.3.1 *Martillos de compactación con mango sostenido manualmente (tipo 1) o fijo (tipo 2)* – De operación manual o mecánica. Consisten en dispositivos de acero con una base plana circular de compactación con una articulación de resorte y un pisón deslizante de 4.54 ± 0.01 kg (10 ± 0.02 lb) de masa total, montado en forma que proporcione una altura de caída de 457.2 ± 1.5 mm (18 ± 0.06 "). Su forma y dimensiones se presentan en la Figura 748 - 2. La Figura 748 - 3 muestra un martillo mecánico típico.

Nota 2: Los martillos de manejo manual deben estar equipados con un protector de dedos.

4.3.2 *Martillos de compactación de mango fijo (tipo 3)* – Operados mecánicamente, provistos de un contrapeso ubicado en la parte superior de la máquina que evita el efecto de rebote sobre la muestra y de una base con un dispositivo que le proporciona rotación continua. Su cara de compactación es circular e inclinada. El martillo tiene una masa total de 4.54 ± 0.01 kg (10 ± 0.02 lb) y una altura de caída libre de 457.2 ± 1.5 mm (18 ± 0.06 "). La rotación de la base y la frecuencia de golpeo del martillo deben ser de 18 a 30 rpm y 64 ± 4 golpes/minuto, respectivamente.

Nota 3: Los aparatos del tipo 3 se encuentran en versiones con más de un martillo (Figura 748 - 4). No es recomendable la operación de varios martillos simultáneamente, por cuanto se afecta la densidad del espécimen. Los mejores resultados comparativos se obtienen compactando todos los especímenes con el mismo martillo y sin que haya otros martillos operando.

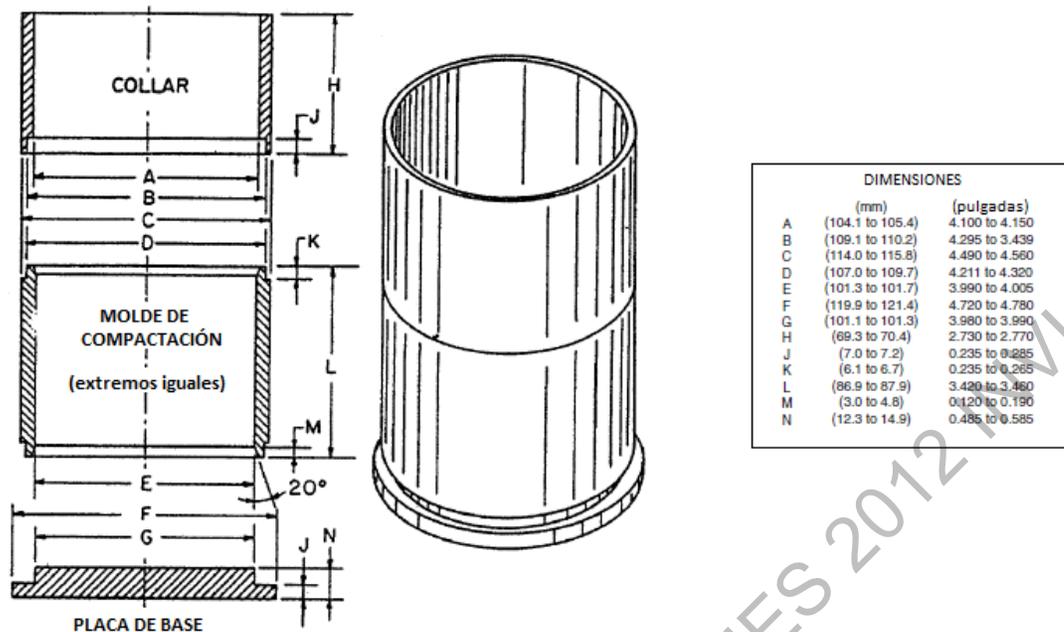


Figura 748 - 1. Molde para probetas Marshall

- 4.4 Pedestal de compactación** – Pieza prismática de madera de base cuadrada, de 203.2 mm de lado y 457.2 mm de altura (8" × 8" × 18"), provista en su cara superior con una platina cuadrada de acero de 304.8 mm de lado y 25.4 mm de espesor (12" × 12" × 1"), firmemente sujeta al pedestal. La madera será roble, pino amarillo u otra clase, con una densidad seca de 670 a 770 kg/m³ (42 a 48 lb/pie³). El conjunto se debe fijar firmemente a una base de concreto mediante soportes en escuadra (Ver Figura 748 - 3). El pedestal se debe instalar de manera que la pieza de madera quede a plomo y con la platina de acero en posición horizontal.
- 4.5 Sujetador para el molde** – Dispositivo con resorte de tensión, diseñado para centrar rígidamente el molde de compactación sobre el pedestal. En los equipos que tienen varios compactadores, los sujetadores no se encuentran necesariamente centrados. El sujetador debe sostener en su posición el molde, el collar y la placa de base durante la compactación de la probeta.
- 4.6 Elementos de calefacción** – Para calentar los agregados, el asfalto, los moldes, los martillos y otros elementos, se requiere un horno o una placa de calefacción provista de control termostático, capaz de mantener la temperatura en un rango de $\pm 3^\circ \text{C}$ ($\pm 5^\circ \text{F}$) en relación con las temperaturas requeridas para la mezcla y la compactación. Sobre la superficie de la placa de calefacción se debe colocar una placa desviadora o un baño de arena, con el fin de minimizar los sobrecalentamientos locales.

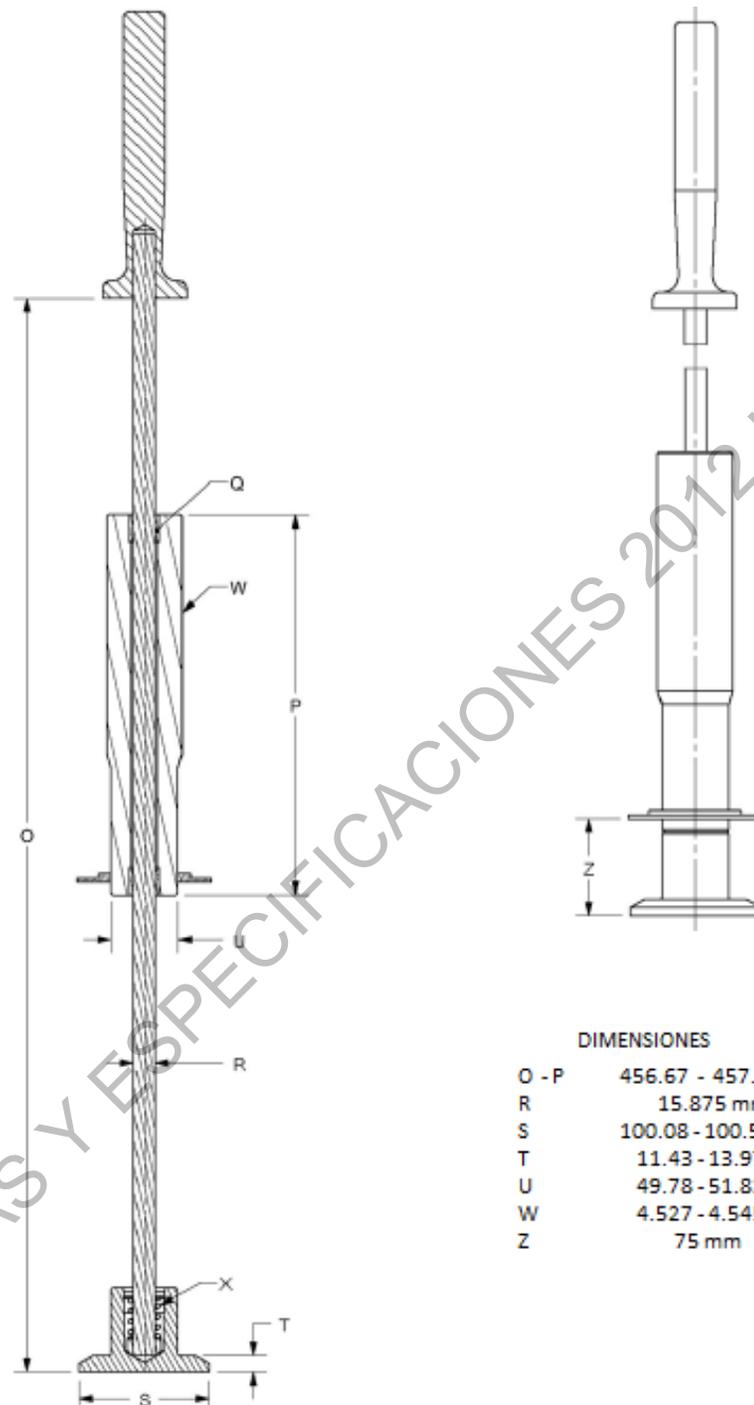


Figura 748 - 2. Martillo de compactación de manejo manual

- 4.7 Mezcladora** – Se recomienda que la operación de mezclado de los materiales se realice con una mezcladora mecánica capaz de producir, en el menor tiempo posible, una mezcla homogénea a la temperatura requerida. Si la operación de mezclado se realiza a mano, este proceso se debe realizar en un

recipiente de suficiente capacidad y sobre una placa de calefacción, para evitar el enfriamiento de los materiales, tomando las precauciones indicadas en el numeral 4.6 para evitar los sobrecalentamientos locales.



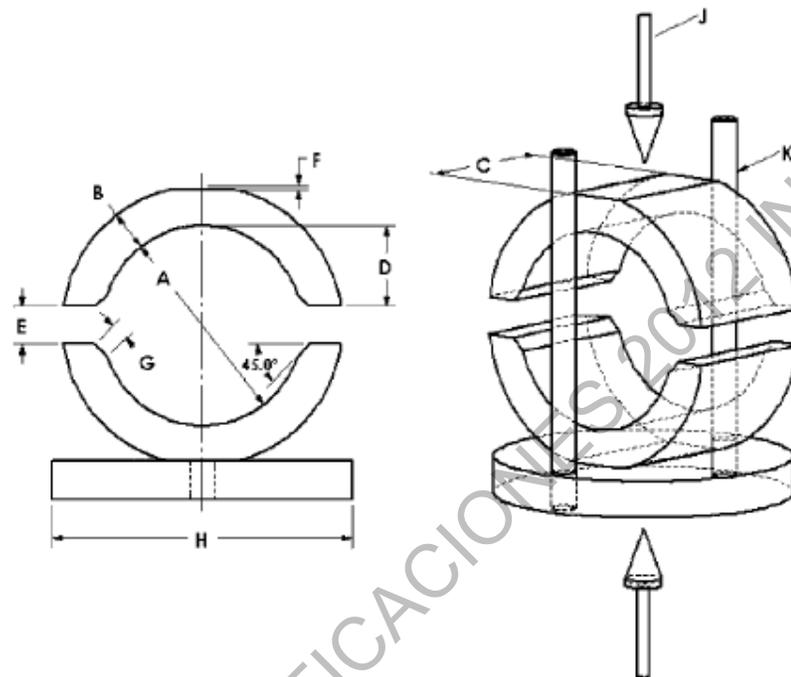
Figura 748 - 3. Martillo mecánico de compactación Marshall



Figura 748 - 4. Compactador Marshall doble

- 4.8 Mordazas (Figura 748 - 5)** – Consisten en dos segmentos cilíndricos de hierro fundido gris, acero fundido o de tubería de acero recocido. La mordaza inferior va montada sobre una base plana, provista de dos varillas perpendiculares a

ella (de 12.5 mm (½") de diámetro o más), que sirven de guía para ensamblarla con la mordaza superior, sin que queden muy apretadas o sueltas. El bisel de las mordazas debe ser el que muestra la Figura 748 - 5, para evitar resultados erróneos.



	mm	in.
A	101.5 to 101.7	3.995 to 4.005
B	21.7 min	0.855 min
C	76.2 min	3.0 min
D	41.15 to 41.40	1.620 to 1.630
E	18.92 to 19.18	0.745 to 0.755
F	2.0 ref	0.08 ref
G	8.89 to 9.09	0.350 to 0.358
H	101.3 min	3.990 min
J	Fuerzas transmitidas a través de una superficie esférica y una plana	
K	Sistema de guía (ni muy apretado ni muy suelto)	

Figura 748 - 5.Mordazas

4.9 Máquina de compresión – Para la rotura de las probetas se empleará una prensa mecánica o hidráulica, capaz de producir una velocidad uniforme de desplazamiento vertical de 50 ± 5 mm/min. (2 ± 0.15 "/min.). En el diseño mostrado en la Figura 748 - 6, la potencia la suministra un motor eléctrico. Se permite el empleo de una máquina de operación mecánica o hidráulica que permita aplicar la carga a la velocidad recién indicada.

4.10 Medidor de la estabilidad – La resistencia de la probeta en el ensayo se medirá con un anillo dinamométrico acoplado a la prensa (Figura 748 - 6), de 20 kN

(5000 lbf) de capacidad nominal, con una sensibilidad mínima de 50 N (10 lbf). Las deformaciones del anillo se miden con un dial graduado en 0.0025 mm (0.0001") o de mayor precisión. El anillo deberá estar unido al marco de carga y a un adaptador que permita transmitir la carga a las mordazas. En lugar del anillo dinamométrico se puede emplear una celda de carga conectada a un registrador de deformación o a un computador, siempre que la celda satisfaga los requisitos de capacidad y sensibilidad indicados.

Nota 4: Se pueden requerir anillos dinamométricos de mayor capacidad, para el ensayo de mezclas de alto módulo.

4.11 Medidor de deformación (flujo) – El medidor de deformación consiste en un deformímetro de lectura final fija, con divisiones en 0.25 mm (0.01") o de mayor precisión (Figura 748 - 7). En el momento del ensayo, el medidor deberá estar firmemente apoyado sobre la mordaza superior y su vástago se apoyará en una de las varillas guías acopladas a la mordaza inferior. Este medidor puede ser reemplazado por un transductor lineal diferencial variable (TLDV) conectado al sistema de registro de deformación o al computador (Figura 748 - 8), el cual deberá tener, al menos, la misma sensibilidad del deformímetro. El transductor debe estar diseñado para medir y registrar el mismo movimiento relativo entre la parte superior de la varilla guía y la mordaza superior.

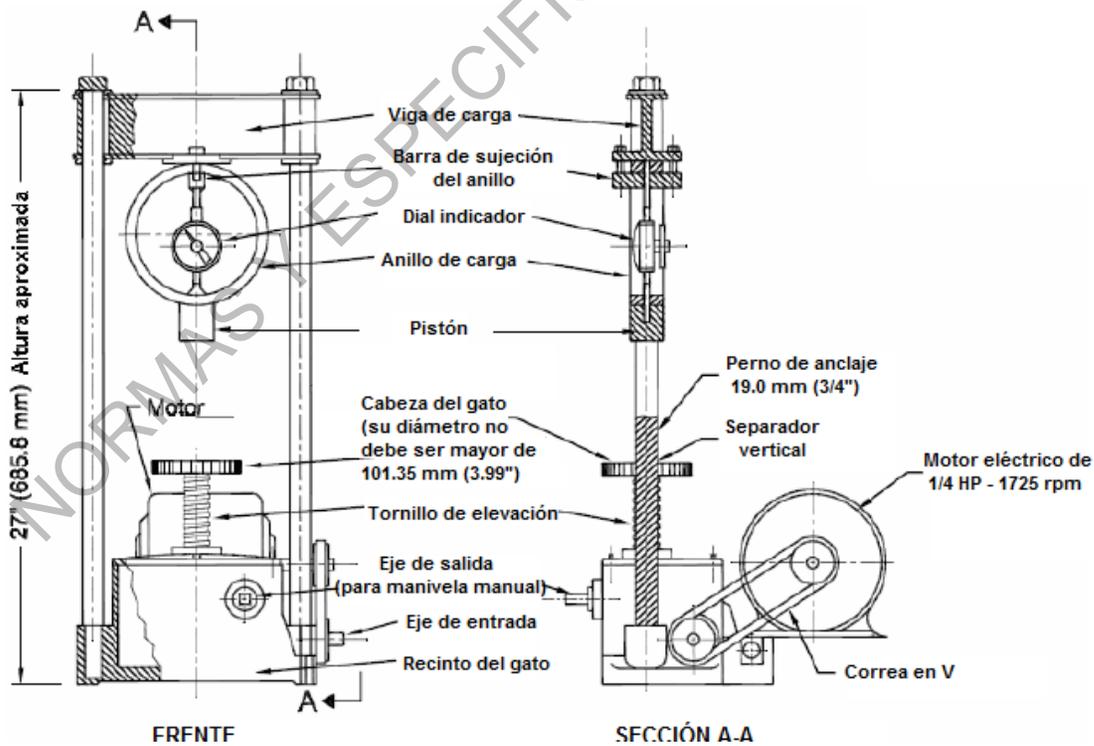


Figura 748 - 6. Máquina de compresión



Figura 748 - 7. Deformímetro para medir el flujo



Figura 748 - 8. Máquina de compresión con TDLV y graficador

4.12 Baño de agua – De la profundidad suficiente para mantener una lámina de agua mínima de 30 mm (1.25") sobre la superficie superior de las probetas compactadas. Debe tener un control termostático que le permita mantener en cualquier punto del tanque la temperatura especificada $\pm 1^\circ \text{C}$ ($\pm 2.0^\circ \text{F}$). El baño deberá tener un falso fondo perforado o estar equipado con un estante para sostener las probetas 50 mm (2") o más por encima fondo del tanque. También, deberá estar equipado con un dispositivo mecánico para la circulación del agua.

4.13 Equipo misceláneo:

4.13.1 Bandejas metálicas – De fondo plano, para calentar agregados.

- 4.13.2** *Recipientes con tapa* – Para calentar el cemento asfáltico.
- 4.13.3** *Herramientas para mezclar* – Palustres de acero de punta redondeada, cucharones, espátulas.
- 4.13.4** *Termómetros blindados* – Con rango de 10 a 200° C (50 a 400° F) y sensibilidad de 3° C (5° F), para determinar las temperaturas del asfalto, los agregados y la mezcla. Para medir la temperatura del baño de agua, se utilizará un termómetro con escala de 20 a 70° C, con posibilidad de lectura de 0.2° C (0.4° F).
- 4.13.5** *Balanza* – De 2 kg de capacidad, legible a 0.1 g, para pesar los materiales y las probetas compactadas.
- 4.13.6** *Tamices* – Los necesarios para reproducir en el laboratorio la granulometría exigida por la especificación a los agregados empleados para la mezcla que se va a diseñar.
- 4.13.7** *Guantes* – De soldador para manejar equipo caliente, y de caucho para sacar las muestras del baño de agua.
- 4.13.8** *Crayolas* – Para identificar las probetas.

5 ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS

- 5.1** *Número de probetas* – Para una gradación particular del agregado, original o mezclada, se deberá preparar una serie de probetas con diferentes contenidos de asfalto (con incrementos de 0.5 % en masa entre ellos), de manera que los resultados se puedan graficar en curvas que indiquen un contenido "óptimo" definido, con puntos de cada lado de este valor. Como mínimo, se prepararán tres probetas para cada contenido de asfalto.
- 5.2** *Cantidad de materiales* – Un diseño con seis contenidos de asfalto, necesitará, entonces, por lo menos dieciocho (18) probetas. Para cada probeta se necesitan unos 1200 g de ingredientes; por lo tanto, para una serie de muestras de una gradación dada resulta conveniente disponer de unos 23 kg (50 lb) de agregados y alrededor de 4 litros (1 galón) de cemento asfáltico. Se requiere, además, una cantidad extra de materiales para análisis granulométricos y para la determinación de sus gravedades específicas.

- 5.3 Preparación de los agregados** – Los agregados se deberán secar hasta masa constante a una temperatura entre 105 y 110° C (220 y 230° F) y se separarán por tamizado en fracciones de diferentes tamaños. En general, se recomiendan las porciones que se indican a continuación:

25.0 mm a 19.0 mm	(1" a ¾")
19.0 mm a 9.50 mm	(¾" a 3/8")
9.50 mm a 4.75 mm	(3/8" a No. 4)
4.75 mm a 2.36 mm	(No. 4 a No. 8)
Pasante de 2.36 mm	(No. 8)

- 5.4 Determinación de las temperaturas de mezcla y compactación** – La temperatura a la cual se debe calentar el cemento asfáltico para elaborar las mezclas será la requerida para que presente una viscosidad de 170 ± 20 cP (0.17 ± 0.02 Pa.s). La temperatura a la cual se deberá realizar la compactación de las probetas será la correspondiente a una viscosidad del cemento asfáltico de 280 ± 30 cP (0.28 ± 0.03 Pa.s). Un ejemplo de gráfica viscosidad – temperatura se muestra en la Figura 753 - 1 de la norma INV E-753.

Nota 5: La selección de las temperaturas de mezcla y compactación a las viscosidades mencionadas en el numeral 5.4 puede resultar inaplicable en el caso de los asfaltos modificados. El usuario deberá contactar al fabricante para establecer los rangos convenientes de temperatura de dichos productos.

Nota 6: Si se van a recompactar mezclas recuperadas de pavimentos, ellas se deberán calentar dentro de un horno, en recipientes cubiertos, a una temperatura de $\pm 3^\circ$ C (5° F) la deseada para la compactación. El calentamiento deberá ser solamente el suficiente para alcanzar dicha temperatura. Si no se conoce la temperatura de compactación para una mezcla específica, la experiencia ha demostrado que estas mezclas se deben compactar a una temperatura entre 120 y 135° C (250 y 275° F). Al preparar la mezcla, ella se deberá calentar primero de manera suave para ponerla en condición suelta y, simultáneamente, se deberán remover todas las partículas de agregado que se encuentren partidas. Es de esperar que la estabilidad de las mezclas recalentadas, tomadas de pavimentos existentes, sea mayor que la de la mezcla original, debido al endurecimiento que ha sufrido el ligante. El calentamiento en el laboratorio de la mezcla recuperada del pavimento, afecta de manera mínima el endurecimiento del ligante.

- 5.5 Preparación de las mezclas** – Las mezclas se pueden preparar en las cantidades necesarias para elaborar una probeta o el juego de tres probetas requerido por cada porcentaje de ligante.

5.5.1 En varias bandejas taradas, separadas para cada fracción de la muestra, se pesan sucesivamente las cantidades de cada porción de agregados, previamente calculadas de acuerdo con la gradación necesaria para la fabricación de una o más probetas, de forma que cada probeta resulte con una altura de 63.5 ± 2.5 mm ($2 \frac{1}{2} \pm 0.1$ ") (aproximadamente 1200, 2400 o 3600 g para 1, 2 o 3 probetas). Los agregados se calientan en una placa de calentamiento o en el horno a una temperatura mayor que la establecida para la mezcla, pero sin

excederla en más de 28° C (50° F). Posteriormente, se transfieren al recipiente de mezclado donde se mezclan en seco durante unos 5 s y, a continuación, se forma un cráter en su centro, dentro del cual se vierte la cantidad requerida de asfalto, debiendo estar ambos materiales en ese instante a temperaturas comprendidas dentro de los límites establecidos para el proceso de mezcla según lo indicado en el numeral 5.4. A continuación, se mezclan los agregados y el asfalto lo más rápidamente posible hasta obtener una mezcla completa y homogénea en un término no mayor de 60 s si la cantidad de mezcla es la necesaria para elaborar una sola probeta o de 120 s si la bachada es múltiple. Se deben evitar pérdidas de material durante el mezclado y el manejo posterior (Figura 748 - 9).



Figura 748 - 9. Adición del asfalto a los agregados y mezcla manual sobre una placa calefactora

5.5.2 Las bachadas sencillas (para una sola probeta) se colocan en un horno ventilado, dentro de recipientes metálicos cerrados, a una temperatura de 8 a 11° C (15 a 20° F) por encima de la establecida para la compactación (Ver numeral 5.4), durante un período comprendido entre 1 y 2 horas.

5.5.3 En el caso de bachadas múltiples, ellas se colocan sobre una superficie limpia y no absorbente. Se hace una mezcla manual y se cuartea para producir las porciones para confeccionar cada una de las probetas, colocando cada una en un recipiente y procediendo luego como se indica en el numeral 5.5.2.

Nota 7: El calentamiento de las mezclas antes de la compactación puede dar lugar a especímenes con propiedades diferentes a las que presentan aquellos que se compactan inmediatamente después de la operación de mezclado (el procedimiento Marshall original no incluía el período de curado)

5.6 Compactación de las Probetas:

5.6.1 Simultáneamente con la preparación de la mezcla, el conjunto de molde, collar, placa de base y la base del martillo de compactación, se limpian y calientan en un baño de agua hirviendo o en el horno o una placa calefactora, a una temperatura comprendida entre 90 y 150° C (200 y 300° F). Se arma el conjunto de moldeo de las probetas y, antes de verter la mezcla, se coloca en el fondo del molde un papel de filtro circular de tamaño ajustado al área interna del molde. A continuación, se coloca toda la porción de mezcla en el molde y se la golpea vigorosamente con una espátula o palustre caliente, 15 veces alrededor del perímetro y 10 sobre el interior (Figura 748 - 10). Se coloca otro papel de filtro sobre la mezcla. La temperatura de la mezcla inmediatamente antes de la compactación deberá hallarse dentro de los límites de temperatura de compactación establecidos en el numeral 5.4.

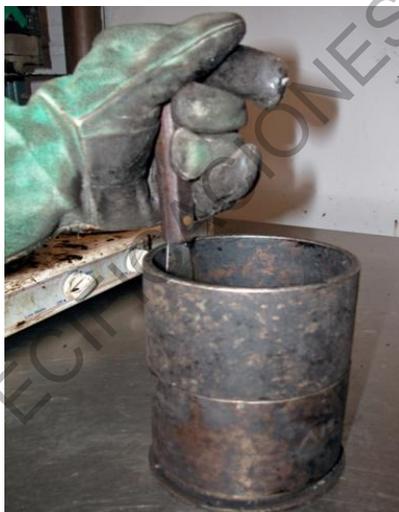


Figura 748 - 10. Golpes con la espátula a la mezcla dentro del molde

5.6.2 Se coloca el conjunto en el sujetador sobre el pedestal de compactación y se aplica el número de golpes especificado, empleando para ello el martillo de compactación. En seguida, se retiran la placa de base y el collar y se colocan en los extremos opuestos del molde; se vuelve a montar éste en el pedestal y se aplica el mismo número de golpes a la cara invertida de la muestra. Después de la compactación, se retiran el collar y la placa de base, y se deja enfriar la muestra al aire hasta que su temperatura sea tal, que no se produzca ningún daño en ella al extraerla del molde. Se pueden utilizar ventiladores de mesa cuando se desee un enfriamiento más rápido, o se puede sumergir el molde en agua fría dentro de una bolsa plástica. Se saca cuidadosamente la probeta del molde con ayuda del extractor (Figura

748 - 11), se identifica con la crayola y se coloca sobre una superficie plana, lisa, donde se deja en reposo durante una noche.

Nota 8: En el momento de utilización, el martillo se debe encontrar limpio y levemente aceitado.

Nota 9: Para facilitar la extracción, el molde con la probeta se puede sumergir brevemente en un baño de agua caliente con el fin de calentar el metal del molde y reducir la distorsión de la muestra.



Figura 748 - 11. Extracción de la probeta

5.6.2.1 Cuando la compactación se realiza manualmente, es necesario que el operador sostenga el martillo verticalmente sobre la muestra, para evitar el rozamiento entre la masa de compactación y la guía del martillo. Cuando se desarrolló el procedimiento Marshall original, no se contempló el uso de equipos mecánicos que impiden el movimiento lateral del martillo durante la compactación.

5.6.3 Cumplido el período de reposo, se determina la gravedad específica bulk de cada probeta mediante alguno de los procedimientos descritos en las normas INV E-733, INV E-734 o INV E-802. Los valores de las gravedades específicas de probetas elaboradas con los mismos ingredientes y en las mismas condiciones se deberán encontrar en un rango de ± 0.020 en relación con su valor promedio. Posteriormente, se mide el espesor de cada espécimen según el procedimiento de la norma INV E-744.

6 ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO

6.1 El ensayo de estabilidad y flujo se deberá realizar dentro de las 24 horas siguientes a la compactación de las probetas. Se colocan las probetas en un

baño de agua durante 30 a 40 minutos o en el horno durante un término de 120 a 130 minutos, manteniendo el baño o el horno a $60 \pm 1^\circ \text{C}$ ($140 \pm 2^\circ \text{F}$).

Nota 10: La variación de la temperatura afecta los resultados del ensayo. Se puede emplear una probeta falsa con una termocupla para vigilar la temperatura.

- 6.2** Se limpian perfectamente las barras guías y las superficies interiores de las mordazas de ensayo antes de montar las probetas. Se lubrican las barras guías de manera que la mordaza superior se deslice libremente sobre ellas. La temperatura de las mordazas se deberá mantener entre 20 y 40°C (70 a 100°F). Si se usa un baño de agua para ello, el agua se deberá remover totalmente del interior de las mordazas en el momento de extraélas del baño para realizar el ensayo.
- 6.3** Se retira una probeta del baño de agua (se debe secar cualquier exceso de agua con una toalla) u horno y se coloca centrada en la mordaza inferior; se monta la mordaza superior con el medidor de deformación y el conjunto se sitúa centrado en la prensa. Se coloca el medidor de flujo en posición (cuando se usa), se ajusta a cero, y se mantiene su vástago firmemente contra la mordaza superior mientras se aplica la carga de ensayo.
- 6.4** A continuación, se aplica la carga sobre la probeta con la prensa (Figura 748 - 12) a una tasa de deformación constante de $50 \pm 5 \text{ mm/min}$ ($2.00 \pm 0.15"/\text{min}$) hasta que ocurra la falla, es decir cuando se advierte que se alcanza la máxima carga y luego comienza decrecer. El procedimiento completo, desde la remoción de la probeta del baño de agua u horno hasta su falla, no deberá demorar más de 30 segundos.
- 6.5** Si se emplea el Método A (Ver numeral 2.2), el flujo será la deformación registrada por el dial de deformación en el instante de la falla. Cuando se emplee el Método B, se detiene el ensayo en el instante en que la celda de carga indica que la velocidad progresiva de carga, la cual se ha dirigido con una tasa de deformación constante, ha comenzado a decrecer. En este caso, el flujo Marshall es la deformación total de la probeta desde el punto donde la tangente proyectada de la parte lineal de la curva corta el eje "x" (deformación) hasta el punto donde la curva se comienza a volver horizontal. Como se muestra en la Figura 748 - 13, la determinación del flujo suele corresponder al pico de estabilidad; sin embargo, como una alternativa cuando la condición de falla no se puede establecer con precisión, el flujo se puede elegir como el punto sobre la curva que está 1.5 mm ($6 \times 10^{-2} \text{ pg.}$) a la derecha de la tangente mencionada. El valor del flujo se acostumbra expresar en milímetros o en $1/100$ pulgada (un flujo de $0.12''$ se reporta como 12). La estabilidad Marshall será la carga correspondiente al flujo. Este procedimiento

puede requerir 2 personas para adelantar el ensayo y anotar los resultados, dependiendo del tipo de equipo y de la manera como estén dispuestos los diales indicadores.



Figura 748 - 12. Aplicación de carga a la probeta Marshall

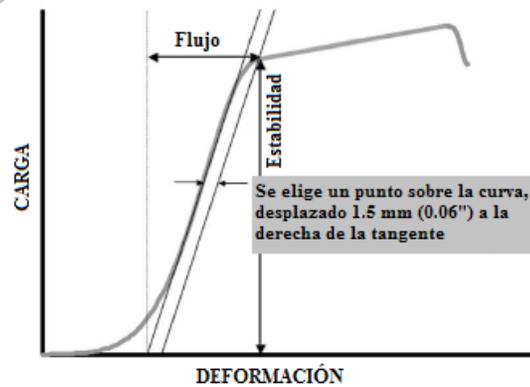
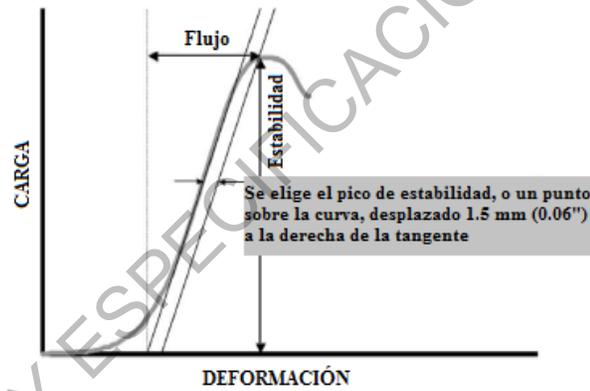


Figura 748 - 13. Determinación del flujo para dos tipos de falla de la probeta

- 6.6 El procedimiento descrito en los numerales 6.2 a 6.5 se debe repetir con todas las probetas.

7 CÁLCULOS

- 7.1 Si el espesor de la probeta es diferente de 63.5 mm (2 ½"), el valor de estabilidad obtenido en el ensayo se deberá corregir, multiplicándolo por el factor que corresponda de la Tabla 748 - 1. Los resultados obtenidos a través de la aplicación de factores muy altos o bajos se deben usar con precaución. Este procedimiento también aplica con las estabilidades determinadas sobre núcleos extraídos de pavimentos.

Tabla 748 - 1. Factor de corrección de la estabilidad medida

VOLUMEN DE LA PROBETA cm ³	ESPESOR DE LA PROBETA		FACTOR DE CORRECCIÓN
	mm	pg.	
200 a 213	25.4	1.00	5.56
214 a 225	27.0	1.06	5.00
226 a 237	28.6	1.12	4.55
238 a 250	30.2	1.19	4.17
251 a 264	31.8	1.25	3.85
265 a 276	33.3	1.31	3.57
277 a 289	34.9	1.38	3.33
290 a 301	36.5	1.44	3.03
302 a 316	38.1	1.50	2.78
317 a 328	39.7	1.56	2.50
329 a 340	41.3	1.62	2.27
341 a 353	42.9	1.69	2.08
354 a 367	44.4	1.75	1.92
368 a 379	46.0	1.81	1.79
380 a 392	47.6	1.88	1.67
393 a 405	49.2	1.94	1.56
406 a 420	50.8	2.00	1.47
421 a 431	52.4	2.06	1.39
432 a 443	54.0	2.12	1.32
444 a 456	55.6	2.19	1.25
457 a 470	57.2	2.25	1.19
471 a 482	58.7	2.31	1.14
483 a 495	60.3	2.38	1.09
496 a 508	61.9	2.44	1.04
509 a 522	63.5	2.50	1.00

VOLUMEN DE LA PROBETA cm ³	ESPESOR DE LA PROBETA		FACTOR DE CORRECCIÓN
	mm	pg.	
523 a 535	65.1	2.56	0.96
536 a 546	66.7	2.62	0.93
547 a 559	68.3	2.69	0.89
560 a 573	69.8	2.75	0.86
574 a 585	71.4	2.81	0.83
586 a 598	73.0	2.88	0.81
599 a 610	74.6	2.94	0.78
611 a 626	76.2	3.00	0.76

8 INFORME

8.1 El informe contendrá la siguiente información:

- 8.1.1** Tipo de muestra ensayada (muestra de laboratorio o de planta, o núcleo tomado de un pavimento).
- 8.1.2** Naturaleza de la mezcla asfáltica (tipo de agregados y granulometría, tipo de ligante).
- 8.1.3** Temperaturas de mezcla, compactación y ensayo, aproximadas a 0.2° C (0.4° F).
- 8.1.4** Valores individuales y promedio de las gravedades específicas bulk de las probetas elaboradas con el mismo contenido de asfalto.
- 8.1.5** Altura de cada probeta en milímetros o pulgadas, redondeada a 0.25 mm (0.01").
- 8.1.6** Valores individuales y promedio de las estabilidades Marshall corregidas, de las probetas elaboradas con el mismo contenido de asfalto, redondeados a 50 N (10 lbf).
- 8.1.7** Valores individuales y promedio de los flujos Marshall en mm o 1/100 pulgadas, así como el método utilizado para medirlo (pico de la curva o a partir de la paralela a la tangente de la curva deformación-carga).

9 PRECISIÓN

- 9.1 *Estabilidad Marshall* – Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados del ensayo de estabilidad Marshall efectuado de acuerdo con este método de ensayo, se muestran a continuación. Se considera como resultado de un ensayo, el promedio de las estabildades de 3 especímenes. El elevado rango aceptable de 2 resultados obtenidos en diferentes laboratorios, indica que este ensayo no se debe realizar para programas de aceptación de materiales que comparen los resultados de varios laboratorios.

ENSAYO Y TIPO DE ÍNDICE	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (% DEL PROMEDIO) (1s %)	RANGO ACEPTABLE ENTRE 2 RESULTADOS (% DEL PROMEDIO) (d2s %)
Precisión un solo operador	6	16
Precisión entre laboratorios	16	43

- 9.2 *Flujo Marshall* – Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados del ensayo de flujo Marshall efectuado de acuerdo con este método de ensayo, se muestran a continuación. Se considera como resultado de un ensayo, el promedio de los flujos de 3 especímenes. El elevado rango aceptable de 2 resultados obtenidos en diferentes laboratorios, indica que este ensayo no se debe realizar para programas de aceptación de materiales que comparen los resultados de varios laboratorios.

ENSAYO Y TIPO DE ÍNDICE	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (% DEL PROMEDIO) (1s %)	RANGO ACEPTABLE ENTRE 2 RESULTADOS (% DEL PROMEDIO) (d2s %)
Precisión un solo operador	9	26
Precisión entre laboratorios	20	58

- 9.3** Las precisiones mencionadas en los numerales 9.1 y 9.2 se basan en los ensayos sobre especímenes compactados con martillos de manejo mecánico y manual. Así mismo, representan mezclas de gradación densa y diferentes contenidos de asfalto, elaboradas con calizas y gravas, empleando el método pico para determinar la estabilidad y el flujo. Los datos utilizados provienen de los resultados de ensayos realizados entre 313 y 436 laboratorios, sobre probetas de 102 mm (4") de diámetro, compactadas con 75 golpes por cara y con un contenido de 3 a 5 % de vacíos con aire.

10 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 6926 – 10

ASTM D 6927 – 06

ANEXO A (Aplicación obligatoria)

DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

- A.1** El diseño completo de una mezcla asfáltica en caliente por el método Marshall, del cual forma parte el procedimiento descrito en la presente norma, se deberá realizar de conformidad con las instrucciones de la versión más reciente del documento MS- 2 del ASPHALT INSTITUTE, "*Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types*", con la excepción de que la selección del contenido óptimo de asfalto no se efectuará de acuerdo con los criterios de este documento, sino con los que establezca el Artículo de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías, aplicable a la mezcla que se está diseñando.