

# RESISTENCIA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL SOBRE PROBETAS DE 152.4 MILÍMETROS (6 PULGADAS) DE DIÁMETRO

INV E – 800 – 13

## 1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe el procedimiento a seguir para determinar la resistencia a la deformación plástica de probetas cilíndricas de mezclas asfálticas para pavimentación, empleando el aparato Marshall. El procedimiento se puede emplear tanto para el proyecto de mezclas en el laboratorio como para el control de ellas en obra.
- 1.2** El método es aplicable a mezclas elaboradas con cemento asfáltico y agregados pétreos con tamaño máximo nominal menor o igual a 37.5 mm (1 ½").

## 2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** El procedimiento consiste en la fabricación de probetas cilíndricas de 152.4 mm (6") de diámetro y 95.2 mm (3 ¾") de espesor, preparadas como se describe en esta norma, rompiéndolas posteriormente en la prensa Marshall y determinando su estabilidad y su deformación (flujo).
- 2.2** El procedimiento se inicia con la preparación de las probetas de ensayo, para lo cual los materiales propuestos deben cumplir con las especificaciones de granulometría y demás, fijadas para el proyecto. Además, se deberá determinar previamente la gravedad específica bulk de los agregados, así como la gravedad específica del asfalto, y se deberá efectuar un análisis de densidad y vacíos de las probetas compactadas. Para determinar el contenido óptimo de asfalto para una gradación de agregados dada o preparada, se deberá elaborar una serie de probetas con distintos porcentajes de asfalto, de tal manera que al graficar los diferentes valores obtenidos después de haberlas ensayado, se pueda determinar ese valor "óptimo".
- 2.3** La Sección referente al procedimiento de ensayo de esta norma se puede emplear, también, para determinar la estabilidad y el flujo de probetas extraídas de pavimentos construidos o preparadas por otros métodos.

### 3 EQUIPO Y MATERIALES NECESARIOS

---

- 3.1** *Dispositivo para moldear probetas* – Consiste en un molde cilíndrico de acero con un collar de extensión y una placa de base plana. El molde deberá tener un diámetro exterior de 165.1 mm (6.5"), un diámetro interior de 152.4 mm  $\pm$  0.2 mm (6  $\pm$  0.008") y una altura interna aproximada de 114.3 mm (4.5"); la placa de base y el collar de extensión deberán ser intercambiables, es decir ajustables en cualquiera de los dos extremos del molde. Se recomienda disponer, al menos, de tres (3) moldes. Ver Figura 800 - 1.
- 3.2** *Extractor de probetas* – Elemento de acero en forma de disco, con diámetro de 151.1 a 152.1 mm (5.95 a 5.99") 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, de manera que ésta pase suavemente del molde al collar.
- 3.3** *Compactador mecánico* – Con un motor de al menos 250 W (1/3 HP) de potencia, elevador de cadena, marco rígido y un sistema automático de liberación del peso deslizante.
- 3.4** *Martillo de compactación* – Consiste en un dispositivo de acero formado por una base plana circular de 149.4 mm (5.88") de diámetro y un pisón deslizante de  $10\ 210 \pm 10$  g ( $22.5 \pm 0.02$  lb) de peso total, montado en forma que proporcione una altura de caída libre de  $457.2 \pm 2.5$  mm (18  $\pm$  0.1"), como se ilustra en la Figura 800 - 2.
- 3.5** *Pedestal de compactación* – Consiste en una pieza prismática de madera de base cuadrada, de 203.2 mm de lado y 457.2 mm de altura (8  $\times$  8  $\times$  18"), provista en su cara superior de una platina cuadrada de acero de 304.8 mm de lado por 25.4 mm de espesor (12  $\times$  12  $\times$  1"), firmemente sujetada en ella. La madera será roble, pino u otra clase, cuya densidad seca promedio se encuentre entre 0.67 y 0.77 g/cm<sup>3</sup> (42 a 48 lb/pie<sup>3</sup>). El conjunto se fijará firmemente a una base de concreto, debiendo quedar la platina de acero en posición horizontal.

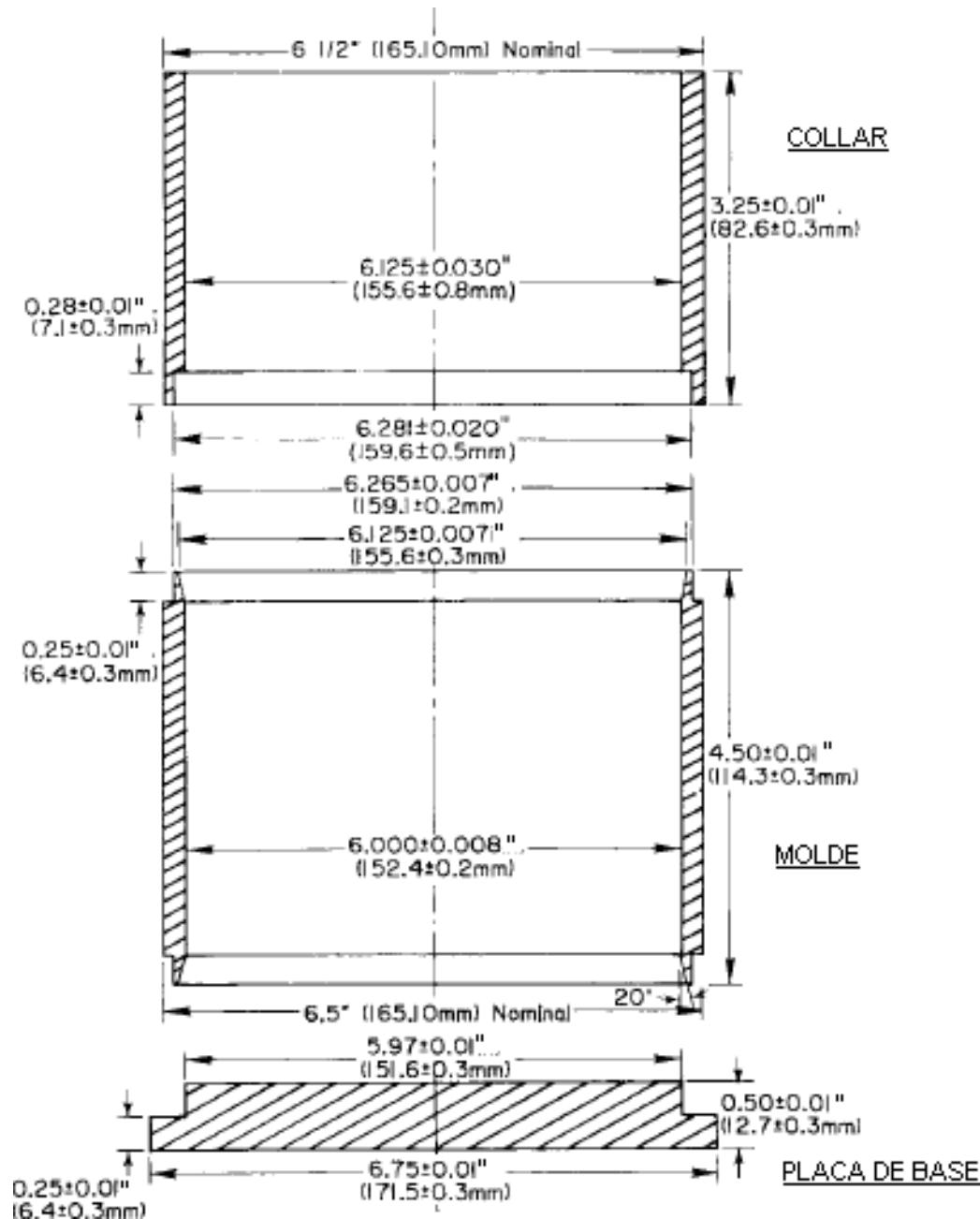


Figura 800 - 1. Molde de compactación

**3.6 Sujetador para el molde** – Consiste en un dispositivo con resorte de tensión, como el mostrado en la Figura 800 - 3, el cual va montado sobre el pedestal de compactación. Su función es centrar y sostener rígidamente en su posición el molde de compactación, el collar y la placa de base sobre el pedestal, durante el proceso de compactación.

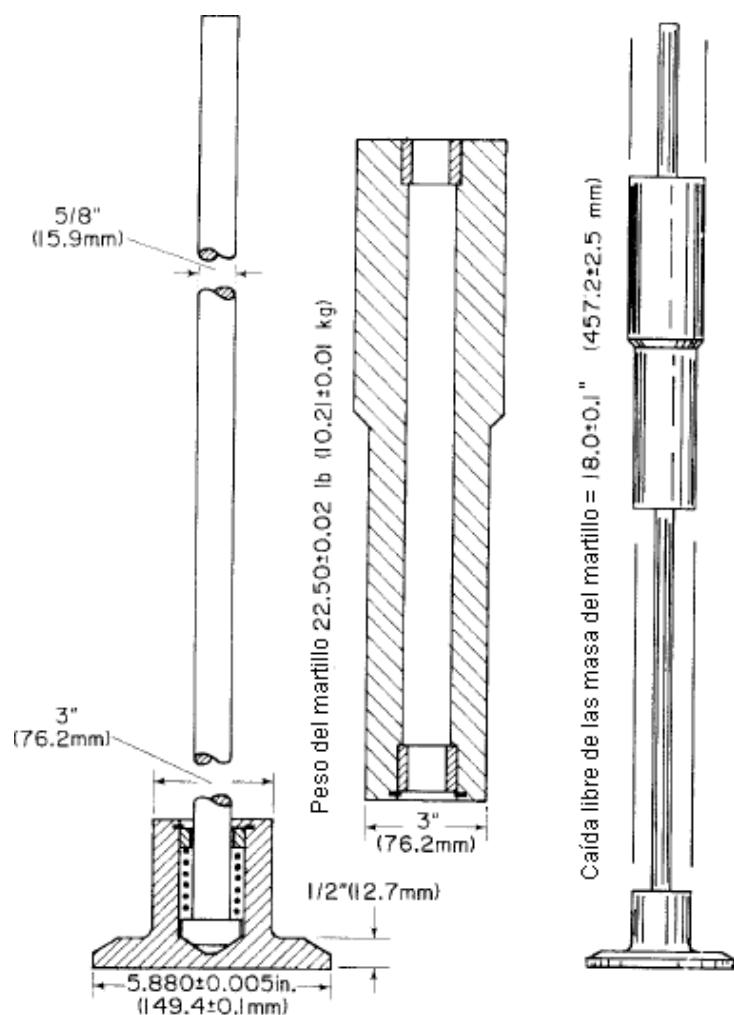


Figura 800 - 2. Martillo de compactación

- 3.7 Mordazas (Figura 800 - 4)** – Las mordazas consisten en dos segmentos cilíndricos de acero, con un radio de curvatura interior de 76.2 mm (3") maquinados con exactitud. La mordaza inferior va montada sobre una base plana, provista de dos varillas perpendiculares a ella, también de acero, las cuales sirven de guía a la mordaza superior. El movimiento de la mordaza superior se debe efectuar sin un rozamiento apreciable. Al colocar entre los dos segmentos un disco metálico de 152.4 mm (6") de diámetro y 100 mm (4") de espesor, los diámetros internos y los espacios entre las mordazas deben estar de acuerdo con lo que muestra la Figura 800 - 4.
- 3.8 Prensa** – Para la rotura de las probetas, se empleará una prensa mecánica o hidráulica como la mostrada en la Figura 800 - 5 o una equivalente, provista de un motor eléctrico capaz de producir una velocidad uniforme de desplazamiento vertical de 50.8 mm por minuto (2"/min.).

- 3.9 Medidor de deformación** – Deformímetro de lectura final fija, con divisiones en 0.25 mm (0.01"). El medidor deberá estar ajustado a cero al ser colocado firmemente en posición sobre las mordazas en el instante de comenzar el ensayo.

*Nota 1: En lugar del medidor de deformación descrito, se puede emplear un dial micrométrico o un registrador de esfuerzo-deformación, graduados en 0.025 mm (0.001")*

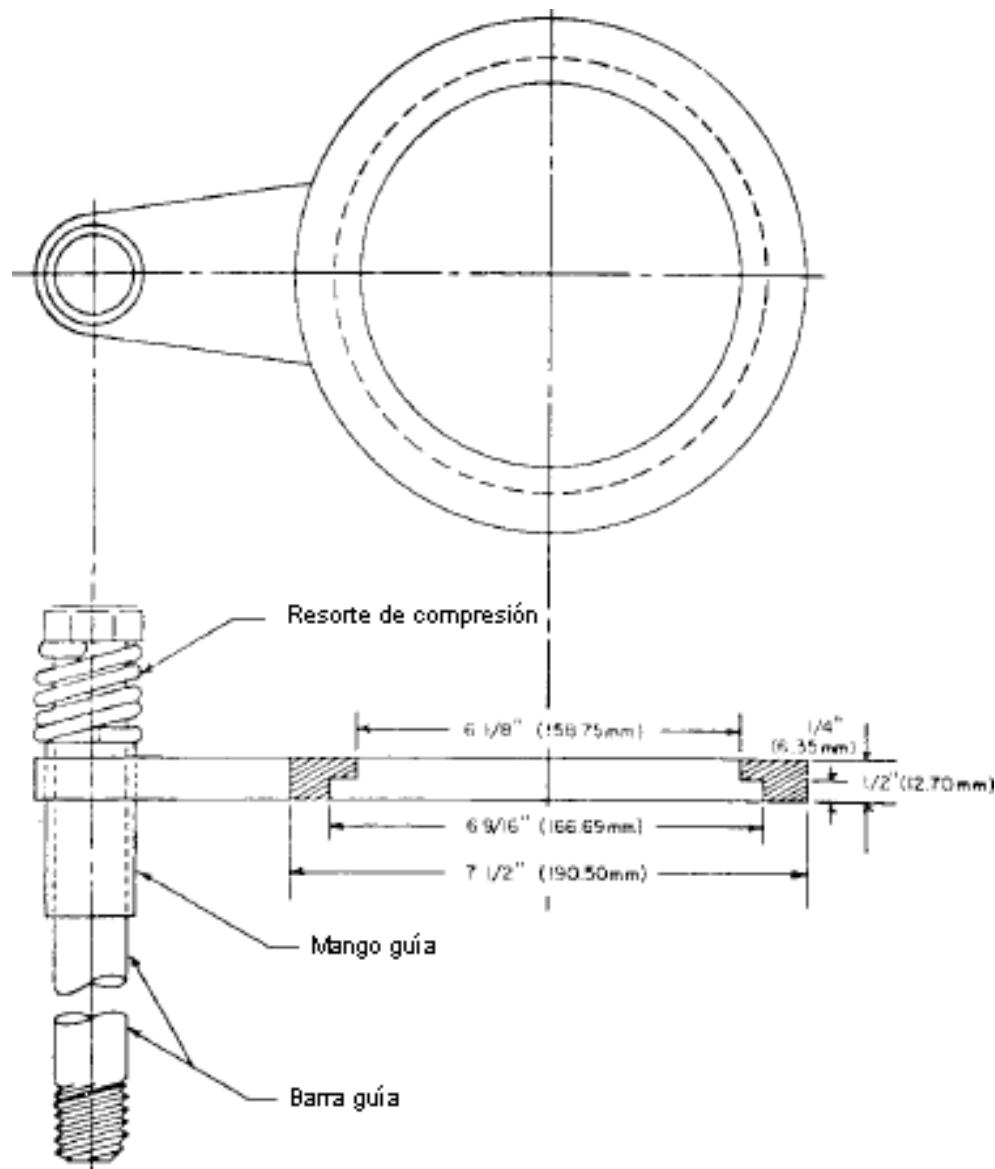


Figura 800 - 3. Sujetador para el molde

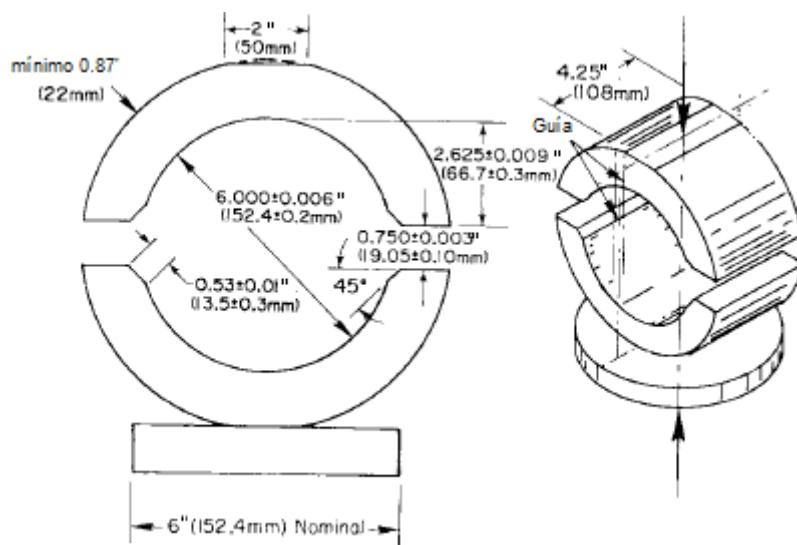


Figura 800 - 4. Mordazas para el ensayo Marshall

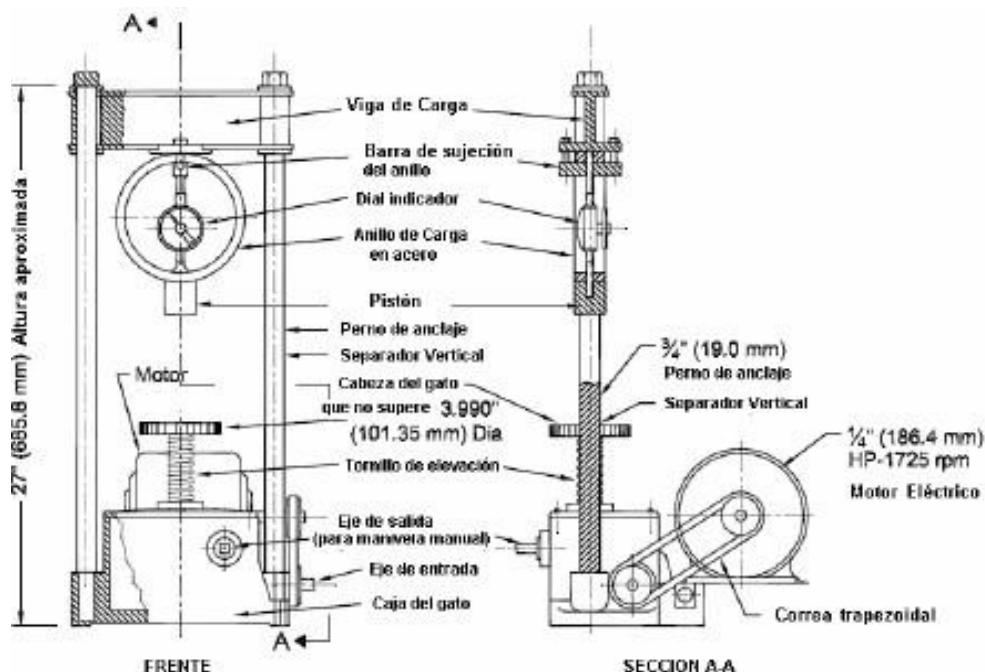


Figura 800 - 5. Máquina para la prueba de compresión

**3.10 Medidor de la estabilidad** – La resistencia de la probeta en el ensayo se medirá con un anillo dinamométrico acoplado a la prensa, de 4536 kgf (10 000 lbf) de capacidad, con una sensibilidad de 4.536 kgf (10 lbf) hasta 453.6 kgf (1000 lbf) y de 11.34 kgf (25 lbf) entre 453.6 y 4536 kgf (1000 y 10 000 lbf). Las

deformaciones del anillo se medirán con un deformímetro graduado en 0.0025 mm (0.0001").

*Nota 2: El ensayo Marshall se puede realizar también empleando un registrador de carga-deformación combinado con una celda de carga y un transductor diferencial lineal variable (TDLV) u otro dispositivo de registro automático de la deformación*

- 3.11 Elementos de calefacción** – Para calentar los agregados, el material asfáltico, el conjunto de compactación y la muestra, se empleará un horno o placa de calefacción, provisto de control termostático, capaz de mantener la temperatura requerida con un error menor de 2.8° C (5° F).
- 3.12 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 el mezclado se realiza a mano, este proceso se debe realizar en un recipiente metálico y colocado sobre una placa de calefacción o estufa, para evitar el enfriamiento de los materiales, tomando las precauciones necesarias para evitar los sobrecalentamientos locales. En cualquier caso, la capacidad del recipiente de mezclado deberá ser suficiente para mezclar con holgura los ingredientes necesarios para la elaboración de cada probeta.
- 3.13 Tanque para agua** – De 228.6 mm (9") de profundidad mínima y controlado termostáticamente para mantener la temperatura a  $60 \pm 1^\circ \text{C}$  ( $140 \pm 1.8^\circ \text{F}$ ). El tanque deberá tener un falso fondo perforado o estar equipado con un estante para sostener las probetas a no menos de 50.8 mm (2") sobre el fondo del mismo.
- 3.14 Tamices** – Los necesarios para reproducir en el laboratorio la granulometría exigida por la especificación a los agregados de la mezcla que se va a diseñar.
- 3.15 Termómetros blindados** – De 9.9 a 204° C (50 a 400° F) para determinar las temperaturas del asfalto, agregados y mezcla, con sensibilidad de 2.8° C (5° F). Para la temperatura del baño de agua se utilizará un termómetro con escalada 20 a 70° C (68 a 158° F), con una sensibilidad de 0.2° C (0.4° F).
- 3.16 Balanzas** – Una de diez (10) kg de capacidad, sensible a un (1) g, para pesar agregados y asfalto; otra de cinco (5) kg de capacidad, sensible a 0.1 g, para pesar las probetas compactadas.
- 3.17 Guantes** – De soldador para manejar equipo caliente, y de caucho para sacar las muestras del baño de agua.
- 3.18 Crayolas** – Para identificar las probetas.

- 3.19 Equipo misceláneo** – Bandejas metálicas de fondo plano para calentar agregados, y cubetas metálicas cilíndricas calentar el asfalto; pala de acero tipo jardín (cuando la mezcla se efectúe manualmente), cucharones, recipientes, espátulas, papel de filtro, etc.

## 4 PREPARACIÓN DE PROBETAS

### 4.1 Número de probetas:

- 4.1.1** Para una gradación particular del agregado, original o mezclada, se preparará 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 valor "óptimo" definido, con puntos a cada lado de este valor. Como mínimo, se prepararán tres probetas para cada contenido de asfalto.

### 4.2 Cantidad de materiales:

- 4.2.1** Un diseño con seis contenidos de asfalto necesitará, entonces, por lo menos dieciocho (18) probetas. Para cada probeta se necesitan aproximadamente 4050 g de ingredientes; por lo tanto, para una serie de muestras de una gradación dada resulta conveniente disponer de unos 77 kg (171 lb) de agregados y alrededor de 5 litros de cemento asfáltico. Se requiere, además, una cantidad extra de materiales para efectuar análisis granulométricos y para la determinación de las gravedades específicas.

### 4.3 Preparación de los agregados:

- 4.3.1** Los agregados se deberán secar hasta masa constante a una temperatura  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ) y se separarán por tamizado en los tamaños deseados. En general, se recomiendan las porciones que se indican a continuación, aunque las fracciones definitivas dependerán de los tamaños disponibles en la planta de producción:

50.0 mm a 37.5 mm (2" a 1 ½")  
 37.5 mm a 25.0 mm (1 ½" a 1")  
 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 2.6 mm (No. 8)

**4.4 Determinación de las temperaturas de mezcla y de compactación:**

- 4.4.1** La temperatura a la cual se debe calentar el cemento asfáltico para las mezclas, será la requerida para producir una viscosidad de  $0.17 \pm 0.02$  Pa·s. La temperatura a la cual se debe calentar el cemento asfáltico para que tenga una viscosidad de  $0.28 \pm 0.03$  Pa·s será la temperatura de compactación.

*Nota 3: El criterio mencionado de selección de las temperaturas de mezcla y de compactación puede aplicar o no cuando se emplean asfaltos modificados. En este caso, el usuario deberá contactar al fabricante del ligante, quien deberá indicarle los rangos adecuados de temperatura para la mezcla y la compactación.*

**4.5 Preparación de las mezclas:**

- 4.5.1** En bandejas taradas, separadas para cada fracción de la muestra, se pesarán sucesivamente las cantidades de cada porción de agregados, previamente calculadas de acuerdo con la gradación necesaria para la fabricación de cada probeta, de forma que ésta resulte con una altura de  $95.2 \pm 2.54$  mm ( $3.75 \pm 0.10$  ") (en total se requieren, aproximadamente, 4050 g). Los agregados se deberán calentar en una plancha de calentamiento o en el horno a una temperatura que no exceda en más de  $28^\circ\text{C}$  ( $50^\circ\text{F}$ ) la temperatura de mezcla indicada en el numeral anterior. En seguida, los agregados se transfieren al recipiente de mezclado donde se mezclan en seco y se forma a continuación un cráter en su centro, dentro del cual se vierte la cantidad requerida de asfalto, debiendo encontrarse ambos materiales en ese instante a temperaturas comprendidas dentro de los límites establecidos para el proceso de mezcla en el numeral 4.4. A continuación, se mezclan los materiales lo más rápidamente posible hasta obtener una mezcla completa y homogénea. Si la mezcla contiene agregados absorbentes, se deberá colocar durante 4 horas en un recipiente cubierto, dentro de un horno mantenido a la temperatura de mezcla.

**4.6 Compactación de las probetas:**

- 4.6.1** 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 o en el horno a una temperatura comprendida entre  $93.3$  y  $148.9^\circ\text{C}$  ( $200$  y  $300^\circ\text{F}$ ). Se arma el conjunto del dispositivo para moldear las probetas y se coloca un papel de filtro en el fondo del molde antes de colocar la mezcla. A continuación, se coloca dentro del molde aproximadamente la mitad

de la mezcla recién fabricada y se la golpea vigorosamente con una espátula o palustre caliente, 15 veces alrededor del perímetro y 10 sobre el interior. En seguida, se coloca la otra mitad de la mezcla dentro del molde y se repite el procedimiento recién descrito. Se quita el collar y se alisa la superficie de la mezcla hasta obtener una forma ligeramente redondeada. Se coloca otro papel filtro sobre la superficie de la mezcla. La temperatura de la mezcla inmediatamente antes de la compactación se deberá hallar dentro de los límites de temperatura de compactación establecidos en el numeral 4.4. Se vuelve a poner el collar y se coloca el conjunto en el sujetador sobre el pedestal de compactación y se aplican 75 o 112 golpes según se especifique de acuerdo con el tránsito de diseño, empleando para ello el martillo de compactación operado mecánicamente con una caída libre de 457.2 mm (18"), manteniendo el eje del martillo perpendicular a la base del molde durante la compactación. Se retiran la placa de base y el collar, 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.

*Nota 4: Se ha determinado que la aplicación de 75 y 112 golpes a una muestra que dé lugar a una probeta de 152.4 mm (6") mediante el procedimiento descrito en esta norma de ensayo, produce densidades equivalentes, respectivamente, a las obtenidas con 50 y 75 golpes aplicados a una muestra de 101.6 mm (4") de diámetro, según la norma de ensayo INV E-748.*

*Nota 5: Cuando las probetas se fabriquen con mezclas tomadas en obra, el proceso general de compactación será el mismo que se describe en este procedimiento cuidando, igualmente, que la temperatura de compactación sea la adecuada. No se deberá emplear una mezcla que haya sido recalentada.*

- 4.6.2** Despues de la compactación, se deja enfriar al aire el molde con sus aditamentos y con la muestra compactada, antes de que ésta sea extraída del molde, para prevenir que ella sufra alguna deformación. Se pueden utilizar ventiladores de mesa cuando se deseé un enfriamiento más rápido, pero en ningún caso agua. Luego del enfriamiento, se retira la placa de base y se saca cuidadosamente la probeta del molde con ayuda del extractor, se la identifica con la crayola, se mide su espesor y se coloca sobre una superficie plana y lisa, donde se deja en reposo durante una noche, lapso después del cual se pesa, se mide su espesor y se somete al ensayo de estabilidad y flujo.

## 5 ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO

- 5.1 Se colocan las probetas en un baño de agua durante 45 a 60 minutos o en el horno durante 3 horas, manteniendo el baño o el horno a  $60 \pm 1^\circ \text{C}$  ( $140 \pm 1.8^\circ \text{F}$ ). Se limpian perfectamente las barras guías y las superficies interiores de las mordazas de ensayo antes de la ejecución de éste, y se lubrican las barras guías de manera que la mordaza superior se deslice libremente. La temperatura de las mordazas se deberá mantener entre  $21.1 \text{ y } 37.8^\circ \text{C}$  ( $70 \text{ a } 100^\circ \text{F}$ ), empleando un baño de agua cuando sea necesario.
- 5.2 Se retira una probeta del baño de agua u horno y se coloca centrada en la mordaza inferior; se monta la mordaza superior con el medidor de flujo (cuando éste se usa) y se sitúa el conjunto centrado en la prensa. Si se usa un medidor de flujo, se ajusta a cero y se mantiene su vástago firmemente contra la mordaza superior mientras se aplica la carga de ensayo.
- 5.3 Empleando la prensa, se aplica carga sobre la probeta compactada a una rata de deformación constante de 50.8 mm (2") por minuto, hasta que ocurra la falla; es decir, cuando se alcanza la máxima carga y luego disminuye, según se lea en el dial respectivo. Se anota el valor máximo de carga registrado en la máquina de ensayo o, si es el caso, la lectura de deformación del dial indicador, la cual se convierte a carga, multiplicándola por la constante del anillo dinamométrico. El valor total de carga necesaria para producir la falla de la muestra se registrará como su valor de estabilidad Marshall. Si el espesor de la probeta es diferente de 95.2 mm (3.75"), el valor registrado de estabilidad Marshall deberá ser corregido, multiplicándolo por el factor que corresponda de la Tabla 800 - 1. Se anota la lectura que marcó el medidor de flujo en el instante de alcanzar la carga máxima. Este será el valor del "flujo" para la probeta, expresado en milímetros con aproximación a 0.25 mm, el cual indica la disminución de diámetro que sufrió la probeta entre la carga cero y el instante de la rotura. Si el dial se encuentra en unidades inglesas, la lectura se hará en centésimas de pulgada con aproximación a la centésima. El procedimiento completo, desde la remoción de la probeta del baño de agua hasta su falla, se deberá efectuar en un período no mayor de 30 segundos. Cuando se emplee el equipo de ensayo descrito en la nota 2, 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 rata 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 de la norma INV E-748, la determinación del flujo suele corresponder

748.13 de la norma INV E-748, 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 ( $6 \times 10-2$  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.

- 5.4** El procedimiento indicado en los numerales 5.2 y 5.3 para una probeta, se deberá repetir con todas las probetas elaboradas, según se indicó en el numeral 4.1.
- 5.5** Cuando se ensayan núcleos de un pavimento construido, ellos se someterán a todo el procedimiento descrito en la presente Sección.

Tabla 800 - 1. Factores de corrección de la estabilidad Marshall

ESPESOR APROXIMADO DE LA PROBETA		VOLUMEN DE LA PROBETA (cm <sup>3</sup> )	FACTOR DE CORRECCIÓN
mm	pulgadas		
88.9	3 1/2	1608 a 1636	1.12
90.5	3 9/16	1637 a 1665	1.09
92.1	3 5/8	1666 a 1694	1.06
93.7	3 11/16	1695 a 1723	1.03
95.2	3 3/4	1734 a 1752	1.00
96.8	3 13/16	1753 a 1781	0.97
98.4	3 7/8	1782 a 1810	0.95
100.0	3 15/16	1811 a 1839	0.92
101.6	4	1840 a 1868	0.90

## 6 INFORME

- 6.1** El informe contendrá la siguiente información:

- 6.1.1** Tipo de muestra ensayada (muestra de laboratorio o núcleo tomado de un pavimento).
- 6.1.2** Espesor de cada probeta, en milímetros con aproximación a la décima (pulgadas con aproximación a 1/16").

- 6.1.3** Valor promedio de la máxima carga en Newton (lbf) de las probetas elaboradas con el mismo porcentaje de asfalto, corregidos previamente cuando se requiera (ver Tabla 800 - 1).
- 6.1.4** Valor promedio del flujo, en 0.25 mm (0.01") de las mismas probetas.
- 6.1.5** Temperatura de ensayo.

## 7 PRECISIÓN Y SESGO

- 7.1** *Precisión* – Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los valores de estabilidad y flujo obtenidos por este método se presentan en la Tabla 800 - 2. Ellos se obtuvieron ensayando por triplicado, en 12 laboratorios, una mezcla elaborada con un agregado de 37.5 mm (1 ½") de tamaño máximo nominal. Los valores promedio de estabilidad y flujo fueron, respectivamente, 5878 lbf y 0.186".

Tabla 800 - 2. Aceptabilidad de los resultados de ensayos de estabilidad y flujo

ENSAYO Y TIPO DE ÍNDICE	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (% DE LA MEDIA)	RANGO ACEPTABLE ENTRE DOS RESULTADOS DE ENSAYO (% DE LA MEDIA)
<i>Precisión de un solo operador: Estabilidad, lbf Flujo, 0.01"</i>	12.3 16.7	34.8 47.2
<i>Precisión multilaboratorio: Estabilidad, lbf Flujo, 0.01"</i>	15.3 23.7	43.3 67.0

## 8 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 5581 – 07a