

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO

MARSHALL

MTC E 504

Este Modo Operativo está basado en las Normas ASTM D 1559, AASHTO T 245 y NLT 159/86, las mismas que se han adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad. Cabe indicar que este Modo Operativo está sujeto a revisión y actualización continua.

Este Modo Operativo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación

1. OBJETIVO

1.1 Describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas para pavimentación. El procedimiento puede emplearse tanto para el proyecto de mezclas en el laboratorio como para el control en obra de las mismas.

2. RESUMEN DEL METODO

2.1 El procedimiento consiste en la fabricación de probetas cilíndricas de 101.6 mm (4") de diámetro y 63.5 mm (2 1/2") de altura, preparadas como se describe en esta norma, rompiéndolas posteriormente en la prensa Marshall y determinando su estabilidad y deformación. Si se desean conocer los porcentajes de vacíos de las mezclas así fabricadas, se determinarán previamente los pesos específicos de los materiales empleados y de las probetas compactadas, antes del ensayo de rotura, de acuerdo con las normas correspondientes.

2.2 El procedimiento se inicia con la preparación de probetas de ensayo, para lo cual los materiales propuestos deben cumplir con las especificaciones de granulometría y demás, fijadas para el proyecto. Además, deberá determinarse previamente el peso específico aparente de los agregados, así como el peso específico del asfalto, y el análisis de densidad-vacíos.

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 valores obtenidos después de ser ensayadas, permitan determinar ese valor "óptimo".

2.3 Cuando se utilizan asfaltos líquidos, se preparan y compactan muestras de prueba con distintos porcentajes de asfalto líquido como en el caso del cemento asfáltico, excepto que la temperatura de compactación se toma con base en la viscosidad del asfalto después del curado o sea cuando ha liberado la cantidad especificada de solventes.

3. APARATOS Y MATERIALES NECESARIOS

a) *Dispositivo para moldear probetas.* Consistente en una placa de base Plana, con su molde y collar de extensión cilíndricos. El molde deberá tener un diámetro interior de 101.6 mm (4") y altura aproximada de 76.2 mm (3"); 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 de tres (3) moldes. (Figura 1). Para facilidad de manejo, es conveniente que el molde este provisto de agarraderas.

b) *Extractor de probetas*. Elemento de acero en forma de disco con diámetro de 100 mm (3.95") y 13.0 mm (1/2") de espesor, utilizado para extraer la probeta compactada del molde, con la ayuda del collar de extensión. Se requiere de un elemento adecuado para transferir suavemente la probeta del molde al collar.

c) *Martillo de compactación*. Consistente en un dispositivo de acero formado por una base plana circular de 98.4 mm (3 7/8") de diámetro y un pisón de 4.53 kg (10 lb) de peso total, montado en forma que proporcione una altura de caída de 457.2 mm (18"), como se describe en la Figura 2. El martillo de compactación puede estar equipado con el protector de dedos.

d) *Pedestal de compactación*. Consistente en una pieza prismática de madera de base cuadrada de 203.2 mm de lado y 457.2 mm de altura (8" x 8" x 18") y provista en su cara superior de una platina cuadrada de acero de 304.8 mm de lado x 25.4 mm de espesor (12" x 12" x 1"), firmemente sujeta en la misma. La madera será roble u otra clase cuya densidad seca sea de 670 a 770 kg/m³ (42 a 48 lb/pie³). El conjunto se fijará firmemente a una base de concreto, debiendo quedar la platina de acero en posición horizontal,

e) *Soporte para molde*. Consistente en un dispositivo con resorte de tensión diseñado para centrar rígidamente el molde de compactación sobre el pedestal. Deberá asegurar el molde completo en su posición durante el proceso de compactación.

Nota 1. En lugar del martillo de operación manual y asociado con los equipos hasta ahora descritos, podrá usarse, un martillo mecánico, el cual haya sido calibrado para ofrecer resultados comparables con los del martillo manual.

f) *Mordaza y medidor de deformación (figuras 3 y 4)*. La mordaza consistirá en dos segmentos cilíndricos, con un radio de curvatura interior de 50.8 mm (2") finamente acabado. El segmento inferior, que terminará en una base plana, irá provisto de dos varillas perpendiculares a la base y que sirven de guía al segmento superior.

El movimiento de este segmento se efectuará sin rozamiento apreciable. El medidor de deformación consistirá en un deformímetro de lectura final fija y dividido en centésimas de milímetro, firmemente sujeto al segmento superior y cuyo vástago se apoyará, cuando se realiza el ensayo, en una palanca ajustable acoplada al segmento inferior.

g) *Prensa*. Para la rotura de las probetas se empleará una prensa mecánica con una velocidad uniforme de desplazamiento de 50.8 mm por minuto. Puede tener un motor eléctrico unido al mecanismo del pistón de carga.

h) *Medidor de la estabilidad*. La resistencia de la probeta en el ensayo se medirá con un anillo dinamométrico acoplado a la prensa, de 20 kN (2039 kgf) de capacidad, con una sensibilidad de 50 N (5 kgf) hasta 5 kN (510 kgf) y 100 N (10 kgf) hasta 20 Kn (2039 kgf). Las deformaciones del anillo se medirán con un deformímetro graduado en 0.001 mm.

Nota 2. En lugar de medir la estabilidad con un anillo dinamométrico, se puede emplear cualquier otro dispositivo de medida de carga que cumpla los requisitos indicados anteriormente.

i) *Elementos de calefacción.* Para calentar los agregados, material asfáltico, conjunto de compactación y 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).

j) *Mezcladora.* Es recomendable 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, para evitar el enfriamiento de los materiales, este proceso se realizará sobre una placa de calefacción o estufa, tomando las precauciones necesarias para evitar los sobrecalentamientos locales.

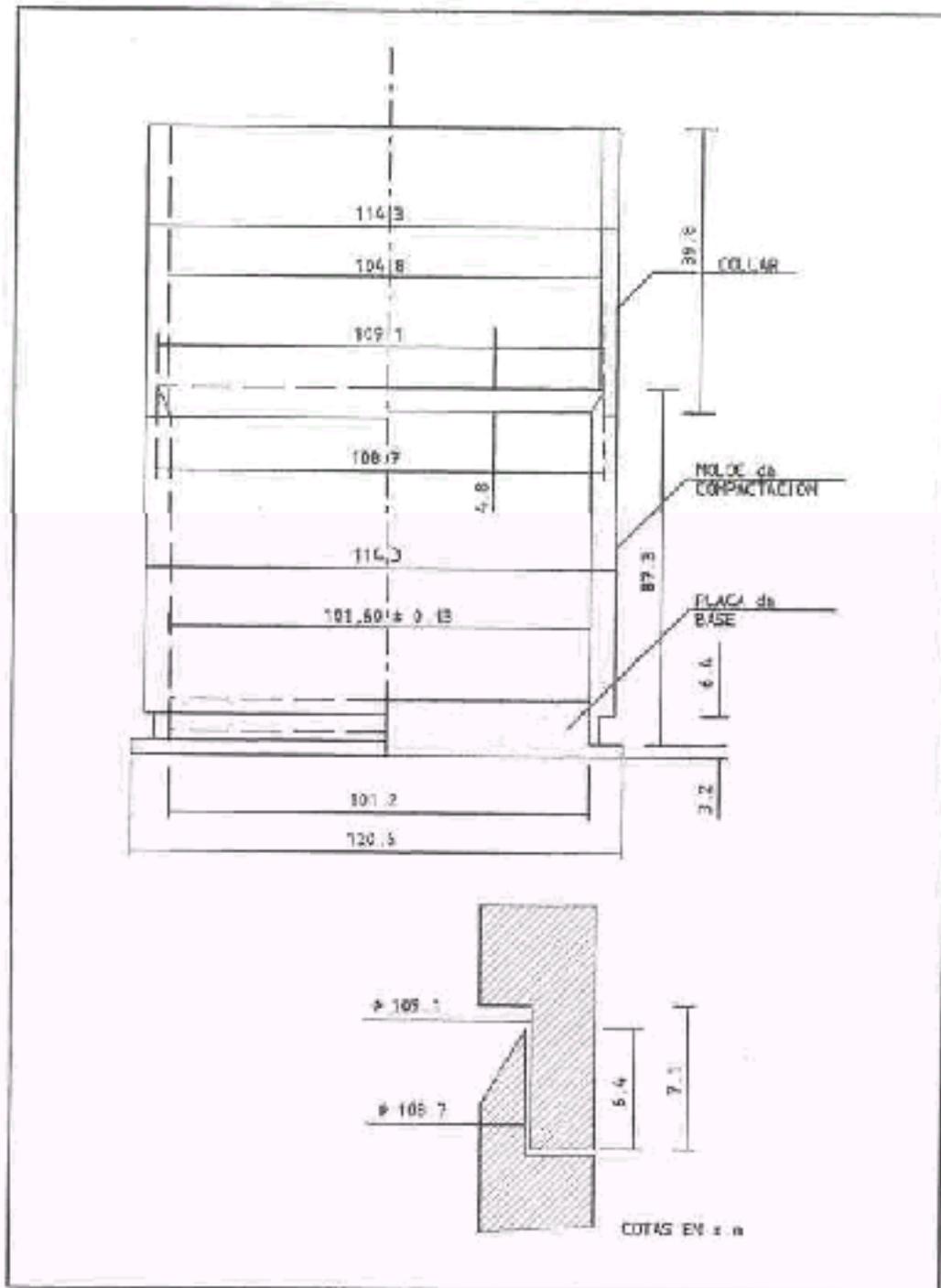
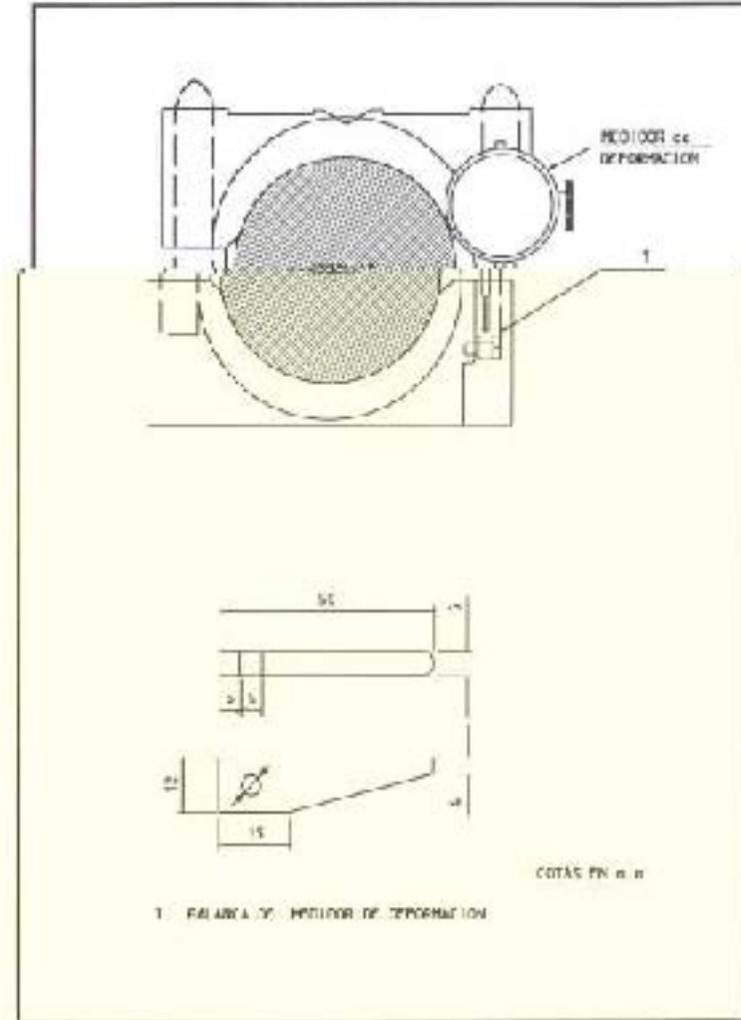
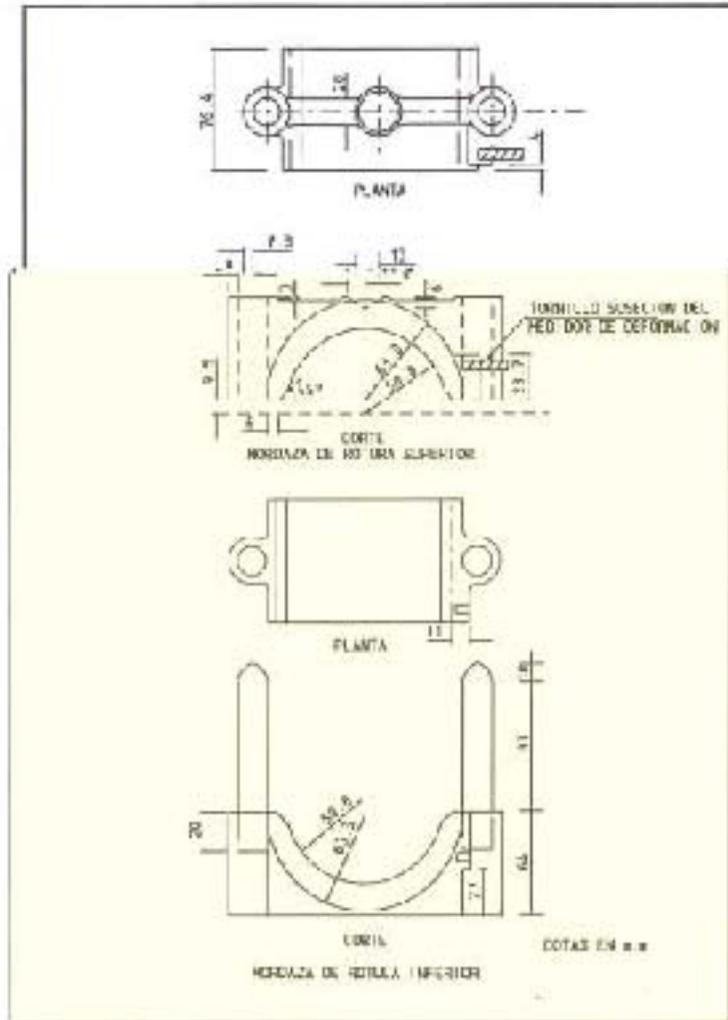


Figura 1: Dispositivo para moldear probetas



k) *Tanque para agua*, de 152.4 mm (6") de profundidad mínima y controlado termostáticamente para mantener la temperatura a $60^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$ ($140 \pm 1.8^{\circ} \text{F}$) o $37,8 + 1^{\circ} \text{C}$ ($100^{\circ} \pm 1.8^{\circ} \text{F}$). El tanque deberá tener un falso fondo perforado o estar equipado con un estante para mantener las probetas por lo menos a 50.8 mm (2") sobre el fondo del tanque.

l) *Tamices*. Conjunto de: 50 mm (2"), 37.5 mm (1 1/2"), 25.0 mm (1"), 19.0 mm (3/4") 12.5 mm (1/2 "), 9.5 mm (3/8"), 4.75 mm (No. 4), 2.36 mm (No. 8); 300 mm (No. 50), 75 mm (No. 200).

m) *Cámara de aire* para las mezclas con asfalto líquido, controlada termostáticamente y la cual debe mantener la temperatura del aire a $25^{\circ} + 1^{\circ} \text{C}$. ($77^{\circ} \pm 1.8^{\circ} \text{F}$).

n) *Termómetros blindados*. De 10°C a 232°C (50°F a 450°F) para determinar las temperaturas del asfalto, agregados y mezcla, con sensibilidad de 2.8°C . Para la temperatura del baño de agua se utilizará un termómetro con escala de 20°C a 70°C y (68°F a 158°F) y sensibilidad de 0.2°C (0.4°F).

o) *Balanzas*. Una de cinco (5) kg de capacidad, sensible a un (1) g para pesar agregados y asfalto; otra de dos (2) kg de capacidad, sensible a 0.1 g para las probetas compactadas.

p) Guantes de soldador para manejar equipo caliente; guantes de caucho para sacar las muestras del baño de agua y crayolas para identificar las probetas.

q) Bandejas metálicas, de fondo plano para calentar agregados y cubetas metálicas redondas de 4 litros (1 galón) de capacidad, para mezclar asfalto y agregados, cucharones, recipiente con vertederos, espátulas, papel de filtro, etc.

4. PREPARACION DE PROBETAS

4.1 Número de probetas. 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 peso, entre ellos), de tal manera que los resultados se puedan graficar en curvas que indiquen un valor "Óptimo" definido, con puntos de cada lado de este valor. Como mínimo se prepararan tres probetas para cada contenido y preferiblemente cinco.

4.2 Cantidad de materiales. Un diseño con seis contenidos de asfalto, necesitará entonces por lo menos dieciocho (18) probetas. Para cada probeta se necesitan aproximadamente 1.2 kg de agregados: el mínimo necesario para una serie de muestras de una gradación dada será entonces de 23 kilos (50 lb) y alrededor de 4 lt (1 galón) de cemento asfáltico, asfalto líquido o de alquitrán. Se requiere, además, una cantidad extra de material para análisis granulométricos y determinación de pesos específicos.

4.3 Preparación de los agregados. Los agregados se secarán hasta peso constante entre 105°C y 110°C (221°F y 230°F) y se separarán por tamizado en los tamaños deseados. Se recomiendan las siguientes porciones:

- 25.0 a 19.0 mm (1" a 3/4");
- 19.0 a 9.5 mm (3/4" a 3/8 ");

- 9.5 a 4.75 mm (3/8" a No. 4);
- 4.75 a 2.36 mm (No. 4 a No. 8);
- y pasa 2.36 mm (No. 8).

4.4 Determinación de las temperaturas de mezcla y compactación. La temperatura a la cual se calentará el cemento asfáltico para las mezclas, será la requerida para producir una viscosidad de 170 ± 20 centistokes (1 centistok = $1 \text{ mm}^2 / \text{S}$) (Véase Figura 5) La temperatura a la cual deberá calentarse el cemento asfáltico para que tenga una viscosidad de 280 ± 30 centistokes, será la temperatura de compactación (véase Figura 5).

Para asfaltos líquidos, la temperatura de mezclado, que es la que se debe alcanzar para que tenga una viscosidad de 170 ± 20 centistokes, puede determinarse a partir de la curva de viscosidad - temperatura del tipo y grado del asfalto que va a ser usado en cada caso particular (véase Figura 6).

Del diagrama de composición del asfalto líquido que se va a emplear, se determinará el porcentaje de solvente que contiene en peso, a partir de su viscosidad a $60 \text{ }^\circ\text{C}$ ($140 \text{ }^\circ\text{F}$). Igualmente, se determinará la viscosidad a $60 \text{ }^\circ\text{C}$ ($140 \text{ }^\circ\text{F}$) del asfalto líquido después de que haya perdido el 50% del solvente. La temperatura de compactación será determinada en el diagrama de viscosidad, como la temperatura a la cual deberá calentarse el asfalto líquido para producir una viscosidad de 280 ± 30 centistokes, después de una pérdida del 50% del contenido original del solvente, cuando se trate de mezclas para pavimentación, para mezclas de conservación utilizando asfaltos líquidos, que se van a almacenar, se acepta hasta un 25% de pérdidas de solventes.

Las temperaturas a las cuales deberá calentarse el alquitrán para producir viscosidades específicas Engler de $25s \pm 3s$ y de $40s \pm 5s$, serán, respectivamente, las temperaturas, de mezcla y de compactación.

4.5 Preparación de las mezclas. En bandejas taradas separadas para cada 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 tal forma que esta resulte con una altura de 63.5 ± 1.27 mm (véase Nota 3). Se calentarán los aireados en una plancha de calentamiento o en el horno a una temperatura de $28 \text{ }^\circ\text{C}$ ($50 \text{ }^\circ\text{F}$) por encima de la temperatura de compactación, cuando son mezclas con cemento asfáltico o alquitranes, a $14 \text{ }^\circ\text{C}$ ($25 \text{ }^\circ\text{F}$) (por encima) para mezclas con asfalto líquido. Se mezclan en seco los agregados y se forma a continuación un cráter en su centro, se añade 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 en el numeral 4.4. A continuación se mezclan los materiales preferiblemente con mezcladora mecánica, o en su defecto, a mano con espátula. De todas formas, este proceso de mezclado deberá realizarse lo más rápidamente posible hasta obtener una mezcla completa y homogénea. El asfalto no deberá permanecer a la temperatura de mezcla por más de una hora

Nota 3. Para conseguir la altura adecuada de las probetas para el ensayo, es conveniente elaborar una probeta de prueba. Para ello, se tomará una cantidad de agregados de 1.2 kg, corrigiéndose luego para la altura debida, con la expresión:



En el sistema Internacional SI:

$$\text{Peso correcto (kg) del agregado} = \frac{63.5 \times \text{peso unitario de Agregado (kg)}}{\text{Altura obtenida de la probeta (mm)}}$$

En el sistema Ingles

$$\text{Peso correcto} = \frac{2.5 \times \text{peso Usado de Agregado}}{\text{Altura Obtenida de la probeta (")}}$$

Para el caso de asfaltos líquidos, una vez que la mezcla esta homogénea, se pesa la bandeja con la mezcla y la espátula usada, con aproximación a 0.2 g y se coloca en un horno con ventilación para el curado, manteniéndola a la temperatura de compactación mas 11 °C (20 °F) para contrarrestar la perdida de calor durante el manipuleo de la mezcla.

El curado se controla verificando el peso cada 10 o 15 minutos, haciendo comparación entre el peso de la mezcla y la perdida de solvente. La mezcla se puede revolver con la espátula durante el curado para acelerar la perdida de solvente. Todos los pesos deben hacerse con aproximación a ± 0.2 g.

4.6 Compactación de las probetas. Simultáneamente con la preparación de la mezcla, el conjunto de collar, placa de base y la cara del martillo de compactación, se limpian y calientan en un baño de agua o en el horno a una temperatura comprendida entre 93 °C y 149 °C (200 °F y 300 °F).

Se monta el conjunto de compactación en la base y se sujeta rígidamente mediante el soporte de fijación. Se coloca un papel de filtro en el fondo del molde antes de colocar la mezcla.

Colóquese toda la mezcla recién fabricada en el molde, golpéese vigorosamente con una espátula o palustre caliente, 15 veces alrededor del perímetro y 10 Sobre el interior. Quitese el collar y alísese la superficie hasta obtener una forma ligeramente redondeada. La temperatura de la mezcla inmediatamente antes de la compactación.

deberá hallarse dentro de los limites de temperatura de compactación establecidos en el numeral 4.4.

Vuélvase a poner el collar y colóquese el conjunto en el soporte y sobre el pedestal de compactación. Aplíquense 35, 50 o 75 golpes según se especifique (si no se indica, úsese 50 golpes; para asfalto liquido aplíquense 75 golpes), de acuerdo con el transito de diseño, empleando para el martillo de compactación una caída libre de 457 mm (18"). Manténgase el eje del martillo perpendicular a la base del molde durante la compactación Retírense la placa de base y el collar e inviértase; vuélvase a montar el molde, y aplíquese el mismo numero de golpes a la cara invertida de la muestra.

Para el caso de asfaltos líquidos, el ensayo no se debe efectuar sino pasadas 16 horas luego de la compactación. Si la muestra debe ser almacenada por mas de 24 horas antes del ensayo, se debe proteger de la exposición al aire mediante sellado en un recipiente cerrado a prueba de aire.

Nota 4. Cuando el ensayo se realice con mezclas anteriormente fabricadas y frías, se comenzará calentando en estufa, a una temperatura de unos 30 C (54 °F) inferior a la especificada para la mezcla, la cantidad necesaria para obtener por cuarteo las porciones precisas para la fabricación de cada probeta.

Estas porciones se calentarán entonces a la temperatura especificada para la compactación durante 1 hora, realizándose luego la compactación de la forma general. 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 al tipo de ligante empleado. No deberá emplearse una mezcla que haya sido recalentada mas de una vez.

Después de la compactación, retírese la base y déjese enfriar la muestra al aire hasta que no se produzca ninguna deformación cuando se la saque del molde. Pueden utilizarse ventiladores de mesa cuando se desee un enfriamiento más rápido, pero en ningún caso agua, a menos que se coloque la muestra en una bolsa plástica. Sáquese la muestra del molde por medio de un gato u otro dispositivo apropiado, luego colóquese en una superficie plana, lisa. Generalmente se dejan enfriar las muestras durante la noche.

5. ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO

5.1 Colóquense las muestras preparadas con cemento asfáltico o con alquitrán a la temperatura especificada para inmersión en un baño de agua durante 30 o 40 minutos o en el horno durante 2 horas. Manténgase en el baño o el horno a $60^{\circ} + 1^{\circ}\text{C}$ ($140^{\circ} + 1.8^{\circ}\text{F}$) para las muestras de cemento asfáltico y a $37.80^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Colóquense las muestras preparadas con asfalto líquido a la temperatura especificada en la cámara aire por un mínimo de 2 horas. Manténgase la temperatura de la cámara a $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ($77^{\circ} + 1.8^{\circ}\text{F}$).

Límpiese perfectamente las barras guías y las superficies interiores del molde de ensayo antes de la ejecución de este, y lubríquense las barras guías de tal manera que el segmento superior de la mordaza se deslice libremente. La temperatura del molde de ensayo deberá mantenerse entre 21.1°C y 37.8°C (70°F y 100°F) empleando un baño de agua cuando sea necesario.

Retírese la probeta del baño de agua, horno o cámara de aire y colóquese centrada en el segmento inferior de la mordaza; se monta el segmento superior con el medidor de deformación y el conjunto se sitúa centrado en la prensa.

Colóquese el medidor de flujo, en su posición de uso sobre una de las barras - guía y ajústese a cero, mientras se mantiene firmemente contra el segmento superior de la mordaza.

Manténgase el vástago del medidor de flujo firmemente en contacto con el segmento superior de la mordaza mientras se aplica la carga durante el ensayo.

5.2 Aplíquese entonces la carga sobre la probeta con una prensa o gato de carga con cabeza de diámetro mínimo de 50.8 mm (2") a una razón 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. Anótese este valor máximo de carga y, si es del caso, hágase la conversión. El valor total en newtons (libras) que se necesite para producir la falla de la muestra se registrar como su valor de estabilidad Marshall.

Como se dijo antes, mientras se efectúa el ensayo de estabilidad deberá mantenerse el medidor de flujo firmemente en posición sobre la barra - guía; libérese cuando comience a decrecer la carga y anotar la lectura. Este será el valor del "flujo" para la muestra, expresado en 0.25 mm (1/100"). Por ejemplo, si la muestra se deformó 3.8 mm (0.15") el valor del flujo será de 15. Este valor expresa la disminución de diámetro que sufre la probeta entre la carga cero y el instante de la rotura. El procedimiento completo, a partir de la sacada de la probeta del baño de agua, deberá realizarse en un periodo no mayor de 30 segundos.

6. INFORME

El informe contendrá la siguiente información (véase Figura 7).

- Tipo de muestra ensayada (muestra de laboratorio o núcleo tomado de un pavimento).
- Valor promedio de la máxima carga en newtons (lbf) de por lo menos tres especímenes, corregido cuando se requiera (véase Tabla 1).
- Valor promedio del flujo, en 0.25 mm (0.01") de tres especímenes.
- Temperatura de ensayo.

7. REFERENCIAS NORMATIVAS

AASHTO	T 245
ASTM	D 1559
NLT	159/86